



## استخراج شاخص رطوبت سطحی خاک (TVDI) با استفاده از نمودار پراکندگی دما/ پوشش گیاهی و تصاویر مودیس

صلاح شاه مردادی، حمیدرضا غفاریان مالمیری، محمد امینی

دریافت: ۲۷ مهر ۱۳۹۹ / پذیرش: ۲۶ آذر ۱۳۹۹

دسترسی اینترنتی: ۱ فروردین ۱۴۰۰

### چکیده

هدف از انجام این تحقیق برآورد رطوبت سطحی خاک، با شاخص خشکی دما و پوشش گیاهی (TVDI)، به روش مثلثی جنوب استان آذربایجان غربی با استفاده از شاخص دمای سطح زمین (LST) و شاخص پوشش گیاهی (NDVI)، طی سالهای ۲۰۱۰، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۸، است.

**مواد و روش‌ها** مطالعه حاضر با استفاده از تصاویر سری زمانی سنجنده مودیس، شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی (NDVI) و شاخص تغییرات دمای سطح زمین (LST)، برای برآورد شاخص رطوبت سطحی (شاخص خشکی دما و پوشش گیاهی، TVDI)، در سه بازه زمانی شامل؛ بازه زمانی اول ۱۱ دی ۱۳۸۸ تا ۹ دی ۱۳۸۹، بازه زمانی دوم ۱۱ دی ۱۳۹۲ تا ۹ دی ۱۳۹۳ و بازه زمانی سوم ۱۱ دی ۱۳۹۶ تا ۹ دی ۱۳۹۷ انجام شد. در هر بازه زمانی ۱۲ تصویر در روز ۱۱ ماه هرماه مورداستفاده قرار گرفت. همچنین برآورد رطوبت سطحی به دو روش یکی برقرار کردن رابطه رگرسیونی و برداشتن حداقل دما و روش دوم برقرار کردن رابطه رگرسیونی و پایین پیکسل‌ها انجام شد. برای ارزیابی دقت این دو روش از همبستگی رگرسیونی بین نتایج حاصل از این روش‌ها با نمونه زمینی رطوبت سطحی خاک مربوط به جهاد کشاورزی (۳۰ نقطه) در عمق ۵ تا ۱۵ سانتی‌متر استفاده شد.

**پیشینه و هدف** رطوبت خاک به‌عنوان یک پارامتر مهم در کنترل بسیاری از فرآیندهای سیستم آب و هوایی، یکی از پارامترهای بنیادی محیط‌زیست و تأثیر مستقیم آن بر زندگی گیاهی، جانوری و میکروپوشش‌شناسی‌ها، اهمیت آن در چرخه جهانی آب، انرژی و کربن، تبادلات انرژی بین هوا و خاک، چرخه آبی طبیعت (به‌ویژه در توزیع باران بین رواناب سطحی و نفوذ) و مدیریت منابع آب و خاک شناخته می‌شود. رطوبت خاک در فرآیندهای تعاملی بین جو و زمین و تغییرات جهانی اقلیم نقش مهمی ایفا می‌کند. روش‌های مثلثی و دوزنقه‌ای با ترکیب داده‌های حرارتی و مرئی، از جمله روش‌های پرکاربرد در تعیین میزان رطوبت سطحی خاک می‌باشند.

صلاح شاه مردادی<sup>۱</sup>، حمیدرضا غفاریان<sup>۲</sup>، محمد امینی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجنش‌زدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی،

دانشکده علوم انسانی، دانشگاه یزد، ایران

۲. استادیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه یزد، ایران

۳. دانشجوی دکتری سنجنش‌زدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده

سنجنش‌زدور، دانشگاه شهید بهشتی، ایران

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: [salah.shahmoradi@gmail.com](mailto:salah.shahmoradi@gmail.com)

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.1.3.4>

است. در سال ۱۳۹۶ میزان پوشش گیاهی تا حد ۰/۸۹ می‌رسد. اما در سال‌های دیگر مورد مطالعه تا ۰/۷ بوده است. در این سال، بیشترین میزان رطوبت مربوط به اردیبهشت‌ماه و کمترین آن در مردادماه قرار دارد. حداکثر رطوبت در طول این سال در غرب و کمترین مقدار آن جنوب است. نتایج شاخص خشکی دما و پوشش گیاهی (TVDI) برای سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۶ با استفاده از روش دوم نتایج کلی این روش شبیه به روش اول است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از میزان دقت دو تا روش، دقت روش اول بهتر و در کل ساده‌تر از روش دوم است. در سال ۱۳۹۶ در اردیبهشت‌ماه با توجه به روش اول مقدار  $R^2=0/66$  و با توجه به روش دوم مقدار  $R^2=0/41$  است.

**نتیجه‌گیری** برآورد رطوبت خاک سطحی برای مدیریت بهینه منابع آب و خاک ضروری است. رطوبت خاک سطحی، متغیری مهم در چرخه آبی طبیعت است که نقش مهمی در تعادل جهانی آب و انرژی به‌واسطه تأثیر بر فرآیندهای هیدرولوژیک، اکولوژیک و هواشناسی دارد. بررسی دو تا روش مورد استفاده حاکی از آن است که روش اول که به‌طور کلی در این تحقیق نیز مورد استفاده قرار گرفته بود با توجه به نتایج دقت تصاویر نسبت به داده‌های زمینی دقت بالاتری برخوردار است. در سال ۱۳۸۸ اردیبهشت‌ماه و مردادماه با توجه به روش اول مقدار  $R^2$  به ترتیب ۰/۶۱ و ۰/۵۷ است. در سال ۱۳۸۸ مقدار  $R^2$  با توجه به داده‌های زمینی و استفاده از روش دوم در اردیبهشت‌ماه و مردادماه به ترتیب ۰/۴۳ و ۰/۴۷ است. همچنین، در سال ۱۳۹۶ مقدار  $R^2$  با استفاده از روش اول در اردیبهشت‌ماه ۰/۶۶ است. در سال ۱۳۹۶ مقدار  $R^2$  با استفاده از روش دوم در اردیبهشت‌ماه ۰/۴۱ است. نتایج به‌دست‌آمده از مدل برآورد شاخص رطوبتی سطحی خاک در این پژوهش نشان داد که این مدل قادر به برآورد مقدار رطوبت خاک در پهنه‌های وسیع جغرافیایی با دقت قابل قبول است.

**واژه‌های کلیدی:** سنجش‌ازدور، رطوبت سطحی خاک، دمای سطح زمین (LST)، شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI)، غرب کشور ایران

علت انتخاب کردن این سه سال به دلیل تفاوت بارندگی زیاد در بعضی ماه‌های سال‌های مورد مطالعه است. این تحقیق که با استفاده از تصاویر مودیس برای بررسی میزان رطوبت سطحی خاک، در جنوب استان آذربایجان غربی در بخشی از منطقه غرب ایران با استفاده از روش مثلثی به دو صورت متفاوت انجام شد.

**نتایج و بحث** نمودار مثلث تبخیری متشکل از شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین از ۱۱ دی‌ماه ۱۳۸۸ تا ۹ دی‌ماه ۱۳۸۹ تغییرات دمای زیادی رخ داده است. همین تغییراتی دمای سطح زمین باعث شده است، که نمودارها تغییرات زیادی داشته باشند. در سال ۱۳۸۸ طبق نمودار، حداکثر دما مردادماه و حداقل آن دی‌ماه و حداکثر پوشش گیاهی در اردیبهشت‌ماه و حداقل آن آذرماه بوده است. در سال ۱۳۹۲، حداکثر دما در مردادماه و حداقل آن دی‌ماه و حداکثر پوشش گیاهی در اردیبهشت‌ماه و حداقل آن دی‌ماه و همچنین این سال نسبت به سال ۱۳۸۸ نسبتاً گرم‌تر و خشک‌تر بوده است. نمودار مثلث تبخیری در سال ۱۳۹۸ نسبت به دو سال دیگر مورد مطالعه هم میزان بارش بیشتر بوده و هم میزان پوشش گیاهی و با توجه به گراف‌ها در این سال حداکثر دما در تیرماه و حداقل آن دی‌ماه و حداکثر پوشش گیاهی در اردیبهشت‌ماه و حداقل آن در دی‌ماه است. میزان رطوبت سطحی خاک در سال ۱۳۸۸ برای منطقه غرب کشور ایران که حداکثر میزان رطوبت در اردیبهشت‌ماه و حداقل آن در مردادماه است. در بیشتر نقشه‌های شاخص رطوبتی در سال ۱۳۸۸، حداکثر رطوبت در غرب و حداقل آن در جنوب منطقه است. نتایج نقشه‌های شاخص رطوبتی در سال ۱۳۹۲ در این سال نسبت به سال‌های دیگر مورد مطالعه نسبتاً خشک‌تر بوده است. سال ۱۳۹۲ از بارش و پوشش گیاهی کمی برخوردار است. تغییرات رطوبت در این سال نسبت به سال ۱۳۸۸ کمتر است. حداکثر و حداقل رطوبت در سال ۱۳۹۲ بین ۰ تا ۰/۶ است. حداکثر رطوبت خردادماه و حداقل آن مردادماه است. نقشه‌های شاخص رطوبتی TVDI سال ۱۳۹۶ در این سال نسبت به دو سال دیگر مورد مطالعه میزان شاخص رطوبتی بیشتر داشته است. در سال ۱۳۹۶ بارش زیاد باعث شده، که پوشش گیاهی افزایش و دمای سطح زمین کاهش یافته و این مسئله باعث افزایش میزان شاخص رطوبتی نسبت به سال ۱۳۸۸ و ۱۳۹۲ شده

لطفاً به این مقاله استناد کنید: شاه مردادی، ص.، غفاریان مالگیری، ح. ر.، امینی، م. ۱۴۰۰. استخراج شاخص رطوبت سطحی خاک (TVDI) با استفاده از نمودار پراکندگی دما/ پوشش گیاهی و تصاویر مودیس. نشریه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۲(۱): ۳۸-۶۲.

## مقدمه

رطوبت خاک به عنوان یک پارامتر مهم در کنترل بسیاری از فرآیندهای سیستم آب و هوایی، یکی از پارامترهای بنیادی محیط زیست و تأثیر مستقیم آن بر زندگی گیاهی، جانوری و میکروارگانیسم‌ها، اهمیت آن در چرخه جهانی آب، انرژی و کربن، تبادلات انرژی بین هوا و خاک، چرخه آبی طبیعت (به ویژه در توزیع باران بین رواناب سطحی و نفوذ) و مدیریت منابع آب و خاک شناخته می‌شود (۱۵). توزیع مکانی و تغییرات زمانی رطوبت خاک، یکی از اجزای بسیار مهم در مدل‌های آب و هوایی، اکولوژی و هیدرولوژی در مقیاس جهانی، منطقه ای و محلی محسوب می‌شود (۱۱ و ۱۷). رطوبت خاک یک متغیر بسیار مهم در سیستم آب و هوا است؛ زیرا بسیاری از فرآیندها را در سیستم آب و هوای کنترل می‌کند. این ارتباط برای چرخه جهانی آب، انرژی و کربن مهم است. همچنین رطوبت خاک یکی از پارامترهای بنیادی محیط زیست است که بر زندگی گیاهی، جانوری و میکروارگانیسم‌ها مستقیماً تأثیرگذار بوده و نقش عمده‌ی در تبادلات انرژی بین هوا و خاک ایفا می‌کند (۷). به همین دلیل توزیع مکانی و تغییرات زمانی آن، یکی دیگر از اجزای بسیار مهم در مدل‌های آب و هوایی، اکولوژی و هیدرولوژی در مقیاس جهانی، منطقه‌ای و محلی محسوب می‌شود (۲). از طرفی رطوبت خاک، به ویژه رطوبت خاک سطحی نقش بسیار مهمی در مدیریت منابع آب و خاک دارد (۱۲). رطوبت خاک، همچنین نقش مهمی در چرخه آبی طبیعت، به ویژه در توزیع باران بین رواناب سطحی و نفوذ، که فرآیند مهمی بعد از فرآیندهای هیدرولوژیک و ژئومورفولوژیک است، ایفا می‌کند (۱۰). داده‌های رطوبت خاک اهمیت شایانی در کاربردهای گوناگون همچون هیدرولوژی، کشاورزی اقلیم‌شناسی و هواشناسی علوم خاک، اکولوژی و زراعت جنگلداری و مهندسی منابع آب تبادل جریان انرژی و آب بین سطح زمین و اتمسفر دارد (۳، ۱۴ و ۲۳). برآورد دقیق رطوبت خاک فاکتوری کلیدی در این مطالعات است. تغییرات در عواملی همچون بافت خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و روش‌های آبیاری، باعث تغییرپذیری زیاد زمانی- مکانی

رطوبت خاک می‌شود (۲۵). رطوبت خاک را با روش‌های مختلفی می‌توان اندازه‌گیری کرد. به طور کلی این روش‌ها را می‌توان به دودسته مستقیم و غیرمستقیم تقسیم‌بندی نمود. در روش اندازه‌گیری مستقیم رطوبت خاک به روش وزنی و از طریق خشک‌کردن نمونه در دستگاه اتوو با درجه حرارت ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد تعیین می‌شود. در روش‌های غیرمستقیم با استفاده از دستگاه‌های مختلف، میزان رطوبت خاک تعیین می‌شود. مهم‌ترین این روش‌ها عبارت‌اند از؛ نوترومتر، بلوک گچی، تانسیومتر، TDR و پرتوگاما است. روش‌های زمینی، روش‌هایی هزینه‌بر و نیازمند به نیروی انسانی زیادی می‌باشند. فناوری سنجش‌ازدور ابزاری اقتصادی و امیدوارکننده برای به دست آوردن پارامترهای سطح زمین است. سنجش‌ازدور قابلیت نظارت بر رطوبت خاک در مناطق بزرگ را در فواصل زمانی منظم دارد. تکنیک‌های سنجش‌ازدور برای برآورد رطوبت خاک شامل روش‌های نوری، مادون‌قرمز حرارتی و ماکروویو فعال و غیرفعال هستند که هرکدام نقاط ضعف و قوت خود را دارند. در روش‌های نوری ارتباط بازتاب از سطح خاک با مقدار رطوبت خاک بررسی می‌شود که در این میان تأثیر سایر عوامل بر بازتاب خاک باعث ایجاد خطا در مقادیر رطوبت برآورد شده می‌گردد (۱۸).

روش‌های سنجش‌ازدور مبتنی بر امواج ماکروویو تکنیک‌هایی مؤثر برای برآورد رطوبت خاک هستند، لیکن با توجه به محدودیت دسترسی به اطلاعات رادار، در این پژوهش تمرکز بر محدوده مادون‌قرمز حرارتی است (۶). در این روش، میزان گسیل گرما از سطح زمین با طول‌موج‌های ۳/۵ تا ۱۴ میکرومتر اندازه‌گیری می‌شود (۵). تخمین رطوبت خاک با این روش، نیاز به برآورد دمای سطحی خاک و شاخص گیاهی دارد. شاخص پوشش گیاهی ( Normalized difference vegetation index) و دمای سطحی زمین ( Land surface temperature) وابستگی پیچیده‌ای بر روی رطوبت خاک دارند. به عبارت دیگر، تغییرات روزانه دما، همبستگی بالایی با مقدار رطوبت دارد (۱۹ و ۲۳). مطالعات متعددی در زمینه بررسی رطوبت خاک با استفاده از تکنیک سنجش‌ازدور

پارامتر وجود دارد و ضریب تعیین ارزیابی نتایج آن‌ها ۰/۷۵ بود. وانگ و همکاران (۲۱) با استفاده از داده‌های دو سنجنده  $ETM^+$  و  $TM$  و دو شاخص NDVI و TVDI تغییرات رطوبت سطح خاک را به مدت ۱۸ سال پایش کردند. نتایج نشان داد که رابطه خطی مستقیمی بین TVDI و رطوبت سطحی خاک وجود دارد. وانگ و کو (۲۳) نیز با استفاده از دو سنجنده فعال و غیرفعال و اندازه‌گیری دمای روشنایی (Brightness temperature)، به‌اندازه‌گیری رطوبت خاک در کشور چین پرداختند. نتایج نشان داد که امواج ماکروویو قابلیت بالایی در برآورد رطوبت خاک دارد. افزایش تقاضا برای مصرف آب به دلیل نیاز به تولید مواد غذایی بیشتر، بر لزوم برنامه‌ریزی صحیح و کارآمد در زمینه کشاورزی بیش‌ازپیش به وجود می‌آید. با گرم شدن هوا افزایش خشکی در فصول گرم و خشک، به‌ویژه در مناطقی مثل کشور ایران خطر آتش‌سوزی و نابودی جنگل‌ها پیش می‌آید. باید به مسئله آب و جنگل‌ها اهمیت بیشتری داده شود. در تحقیقات گذشته بیشتر برای به دست آوردن شاخص TVDI از شاخص دمای سطح زمین و پوشش گیاهی استفاده شده است (۱۹). آن‌ها برای به دست آوردن این شاخص یک رابطه رگرسیونی بالا و پایین پیکسل‌های تشکیل‌شده، اما در این تحقیق به‌جای برقراری رابطه رگرسیونی پایین حداقل دما در نظر گرفته می‌شود.

مطالعه حاضر با استفاده از تصاویر سری زمانی سنجنده MODIS، شاخص NDVI و شاخص LST، برای برآورد شاخص رطوبت سطحی (TVDI)، در سه بازه زمانی شامل بازه زمانی اول از تاریخ ۱۳۸۸/۱۰/۱۱ تا تاریخ ۱۳۸۹/۱۰/۱۰ (۲۰۱۰/۰۱/۰۱ تا ۲۰۱۰/۱۲/۳۱) و بازه زمانی دوم از تاریخ ۱۳۹۲/۱۰/۱۱ تا تاریخ ۱۳۹۳/۱۰/۱۰ (۲۰۱۴/۰۱/۰۱ تا ۲۰۱۴/۱۲/۳۱) و بازه زمانی سوم از تاریخ ۱۳۹۶/۱۰/۱۱ تا تاریخ ۱۳۹۷/۱۰/۱۰ (۲۰۱۸/۰۱/۰۱ تا ۲۰۱۸/۱۲/۳۱) است. در هر بازه زمانی ۱۲ تصویر در روز ۱۵م هرماه مورد استفاده قرار گرفته شد. همچنین برآورد رطوبت سطحی به دو روش یکی برقرار کردن رابطه رگرسیونی بالا و برداشتن حداقل دما و روش دوم برقرار کردن رابطه رگرسیونی بالا و پایین پیکسل‌ها

انجام‌شده است (۱۶، ۱۷ و ۲۰). شرمبک و همکاران (۲۰) در منطقه نیمه گرمسیری برزیل رطوبت خاک برای محصولات سویا با استفاده از داده‌ای سنجنده MODIS موردبررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که پارامتر دما و پوشش گیاهی (Temperature vegetation dryness index) نشان داد که این مدل قادر به تعیین زمان و فراوانی وقایع تنش آبی در فصول زراعی است. پاتل و همکاران (۱۷) به ارزیابی سنجنده MODIS، با استفاده دمای سطح زمین و پوشش گیاهی برای به دست آوردن رطوبت سطحی پرداختند. این مطالعه که در مناطق مرطوب هند و در طول ۸ روز انجام‌شده و به این نتیجه رسیدند، که بین TVDI و رطوبت خاک به‌ویژه هنگامی که پوشش گیاهی پراکنده است، رابطه قابل‌توجه قوی و منفی وجود دارد. وانگ و همکاران (۲۲) به ارزیابی وضعیت رطوبت خاک در چین با داده‌های سنجنده‌های AVHRR استفاده‌شده بود. نتایج این پژوهش نشان داد بین TVDI و رطوبت اندازه‌گیری شده خاک، رابطه خطی منفی معنی‌داری وجود دارد و می‌توان با داده‌های ماهواره‌ای رطوبت خاک را اندازه‌گیری نمود (۹). ماداکو و همکاران (۱۳) به بررسی و مقایسه شاخص TVDI و شاخص توپوگرافی رطوبت (Topographic wetness index)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پرداختند. بدین‌منظور آن‌ها از مدل رقومی ارتفاعی (Digital elevation model) استفاده کردند. نتایج نشان داد که رابطه مثبت معنادار بین TVDI و TWI وجود دارد.

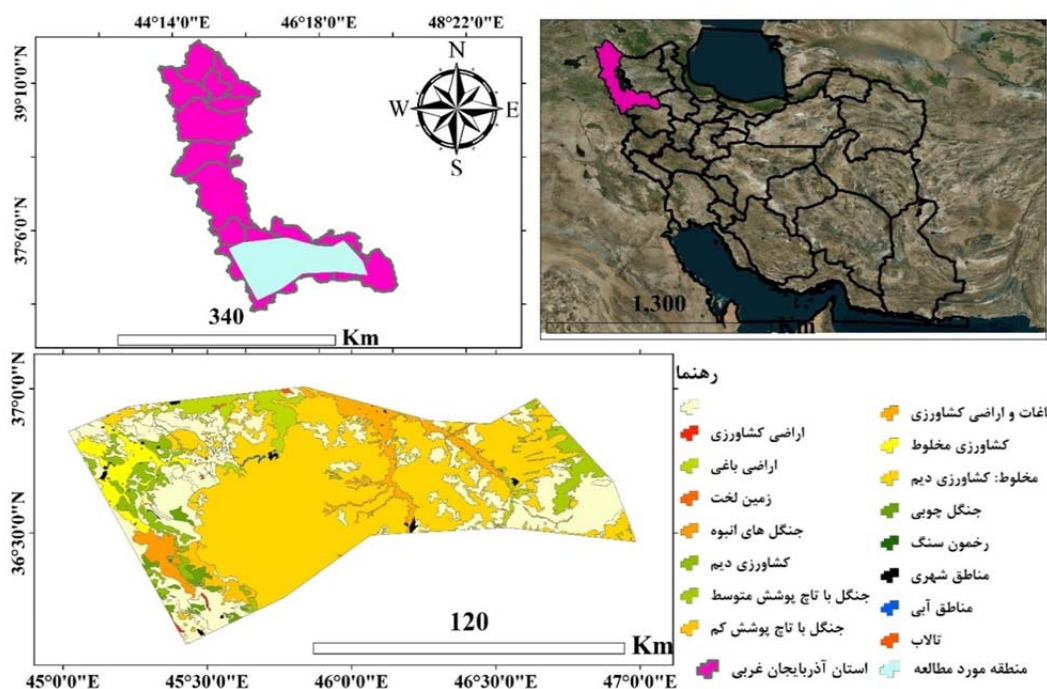
ژئو و همکاران (۸) تلفیق شاخص‌های TVDI و RWSI با استفاده از تصاویر ماهواره لندست موردبررسی قرار دادند. نتایج نشان داد، که بین شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین رابطه منفی برقرار است. همچنین از شاخص RWSI برای نظارت بر شرایط خشک‌سالی متوسط مناسب است. الخیر و همکاران (۱) با استفاده از داده‌های MODIS و مدل SEBS رطوبت خاک را در حوضه رودخانه البلیخ سوریه با این روش محاسبه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که همبستگی بالایی بین مقادیر اندازه‌گیری شده رطوبت خاک و مقادیر برآورد شده این

مشرق به استان آذربایجان شرقی و استان زنجان محدود می-شود. آذربایجان غربی (با احتساب دریاچه ارومیه) ۴۳۶۶۰ کیلومترمربع وسعت دارد که ۲/۶۵ درصد مساحت کل کشور را تشکیل می‌دهد. از این مقدار، حدود یک میلیون هکتار آن زمین های قابل بهره‌برداری است. محدوده مطالعاتی در جنوب استان آذربایجان غربی به وسعت ۹۳۲۱ کیلومترمربع و در محدوده جغرافیایی ۵۸' ۳۵° تا ۶۶' ۳۶° عرض شمالی و ۰۳' ۴۵° تا ۲۳' ۴۶° طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). این منطقه دارای زمین‌های هموارتری نسبت به مناطق دیگر استان است و دارای کشاورزی و جنگل‌های انبوه است. به‌طورکلی متوسط بارندگی سالیانه در استان، ۲۰۰-۴۰۰ میلی‌متر است که با توجه به متوسط بارندگی در سایر نقاط ایران که حدود ۲۸۰ میلی‌متر است در شرایط بهتری قرار گرفته است.

انجام شد. برای ارزیابی دقت این دو روش فقط در ماه‌های که داده‌ی زمینی وجود دارد باهم مقایسه می‌شوند. در این مطالعه علت انتخاب کردن این سه سال به دلیل تفاوت بارندگی زیاد در بعضی ماه‌های سال‌های مورد مطالعه است. این مطالعه در جنوب استان آذربایجان غربی که بخشی از منطقه غرب کشور ایران، انجام شده است. شغل اصلی مردمان این منطقه کشاورزی یا به زبانی ساده‌تر وابسته به زمین است. به همین دلیل آگاهی از میزان آب و رطوبت موجود در خاک و گیاه می‌تواند نقش اساسی در کشاورزی این منطقه داشته باشد.

### منطقه مورد مطالعه

استان آذربایجان غربی واقع در شمال غربی ایران، از شمال به کشورهای جمهوری آذربایجان و ترکیه، از غرب به کشورهای ترکیه و عراق از جنوب به استان کردستان و از



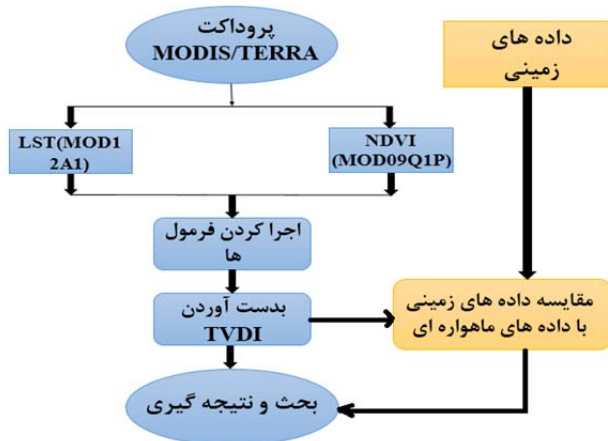
شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه، کاربری اراضی منطقه

Fig. 1. The position of the study area, land use

## مواد و روش‌ها

### داده‌های مورد استفاده

سنجنده MODIS یکی از پنج سنجنده مستقر بر روی ماهواره (Terra) است که در ۱۸ دسامبر سال ۱۹۹۹ به فضا پرتاب گردید. در سال ۲۰۰۲ ماهواره Aqua با سنجنده مودیس نیز پرتاب شد. سنجنده MODIS دارای ۳۶ باند، در محدوده ۰/۴ تا ۱۴/۴ میکرومتر طیف الکترومغناطیس است که ۲۰ باند آن در محدوده مرئی و ۱۶ باند آن در ناحیه حرارتی است. توان تفکیک مکانی برای باندهای ۱ و ۲، ۲۵۰ متر و ۳ تا ۷، ۵۰۰ متر و ۸ تا ۳۶، ۱۰۰۰ متر است. این سنجنده هر یک یا دو روز، کل کره زمین را تحت پوشش خود دارد؛ بنابراین دارای قدرت تفکیک زمانی بالایی است. جدول ۱، داده‌های مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد. در این تحقیق از پروداکت‌های آماده‌ای دمای سطح زمین و پوشش گیاهی برای به دست آوردن رطوبت استفاده شده است.



شکل ۲. فلوجارت مراحل اجرای تحقیق

Fig. 2. Flowchart of research implementation steps

جدول ۱. داده‌های مورد استفاده

Table 1. Date used

روز	ماه	سال	سنجنده	ماهواره
۱۵	هر ۱۲ ماه	۲۰۱۰	MODIS	Terra
۱۵	هر ۱۲ ماه	۲۰۱۴	MODIS	Terra
۱۵	هر ۱۲ ماه	۲۰۱۸	MODIS	Terra

### داده‌های زمینی

در این تحقیق از داده‌های زمینی میزان رطوبت خاک وزارت جهاد کشاورزی در منطقه مورد مطالعه برای دو ماه مختلف از سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴ و ۲۰۱۸ که معادل سال‌های شمسی بازه اول دی‌ماه ۱۳۸۸ تا دی‌ماه ۱۳۸۹، بازه دوم دی‌ماه ۱۳۹۲ تا دی‌ماه ۱۳۹۳، بازه سوم دی‌ماه ۱۳۹۶ تا دی‌ماه ۱۳۹۷ استفاده شد. این داده‌ها شامل رطوبت سطحی خاک از ۵ تا ۱۵ سانتی‌متری خاک در ماه‌های اردیبهشت‌ماه و شهریورماه برای شامل ۳۰ نقطه در نقاط مختلف منطقه مورد مطالعه قرار دارد.

تخمین رطوبت خاک (TVDI)، با استفاده از نمودار شاخص‌های دما/ پوشش گیاهی

رطوبت خاک یکی از پارامترهای کلیدی در مطالعات منابع آب و آبخیزداری است. اندازه‌گیری میدانی این پارامتر در مقیاس کلان کاری بسیار مشکل، زمان‌بر و پرهزینه است. از این رو، در سال‌های اخیر روش‌های نوین متعددی مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای برای برآورد و مدل‌سازی رطوبت خاک توسعه داده شده‌اند. بر اساس مثلث تبخیری پارامترهای به دست می‌آید، که متشکل از A و B و دمای min است. A و B از رابطه معادله خط به دست می‌آیند، و مقدار حداقل دما در مثلث تبخیری کمترین دما را برداشت شده است. استفاده از روش دمای سطح زمین / شاخص پوشش گیاهی برای برآورد شاخص رطوبتی (TVDI)، که در آن براساس تغییرات دمای سطح و دمای سطح زمین نیز تابعی از میزان رطوبت و پوشش گیاهی است. در خاک خشک، دمای خاک از دمای جو اطرافش بیشتر است. با افزایش میزان گیاهان موجود در یک

به صورت یک مثلث پراکندگی است که بسته به شرایط آب و هوایی و پوشش گیاهی متغیر است. پارامتر صحیح مدل نیاز به وضعیت آب و هوای منطقه برای مشخص کردن لبه های مثلث تبخیری دارد. به خصوص هنگام استفاده از تصاویر با وضوح فضایی کم (پیکسل ۱۰۰۰ متر و یا بیشتر). این شاخص از رابطه ۱ به دست آمد.

$$TVDI = \frac{T_s - T_{smin}}{T_{smax} - T_{smin}} \quad [1]$$

در این رابطه؛  $T_s$  دمای سطح زمین و همچنین  $T_{smax}$  از رابطه ۲ به دست می آید و  $T_{smin}$  دمای حداقل سطح زمین است.

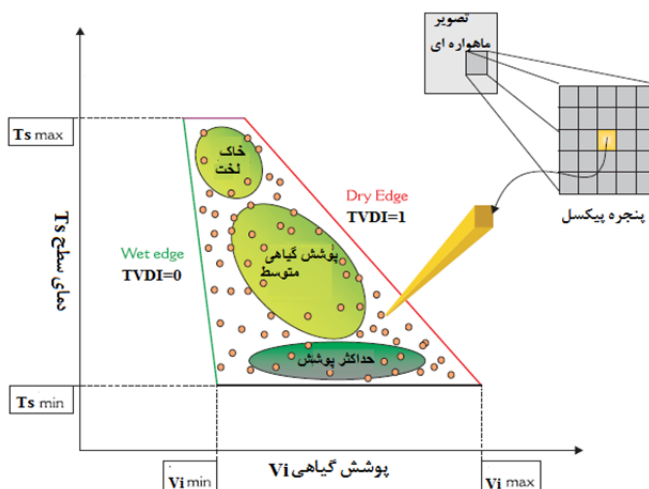
$$T_s \max = (a + b) \times NDVI \quad [2]$$

در این رابطه؛ NDVI شاخص پوشش گیاهی است که از رابطه ۳ به دست محاسبه شد. همچنین مقادیر  $a$  و  $b$  از طریق رابطه خط بین دما و پوشش گیاهی به دست آمد.

$$NDVI = \frac{R - NIR}{R + NIR} \quad [3]$$

در این رابطه؛ NIR باند مادون قرمز نزدیک و R باند قرمز است. که در ماهواره مودیس باند ۱ قرمز و باند ۲ مادون قرمز نزدیک است.

پیکسل زمینی، میزان دمای سطح زمین کم می شود؛ زیرا برگ گیاهان گرما را برای تعرق جذب می کنند و این باعث ایجاد رابطه شیب دار معکوسی بین دمای سطح زمین ( $T_s$ ) و شاخص نسبت پوشش گیاهی ( $F_V$ ) می شود (۴). بخش لبه خشک در فضای  $T_s$  و  $F_V$  در شکل ۳، نشان داده شده است. اگر میزان رطوبت خاک بر اثر بارندگی بیشتر شود، میزان زیادی از نور خورشید صرف تبخیر آب موجود در خاک می شود و در نتیجه دمای سطح زمین و دمای برگ درختان تفاوت چندانی نخواهند داشت. این باعث ایجاد رابطه ای نسبتاً صاف و بدون شیب تند بین  $T_s$  و  $F_V$  می شود، که همان لبه مرطوب در شکل ۳، است. در واقع، در نمودار پراکندگی دما/پوشش گیاهی، پیکسل های تصویر با میزان تابش یکسان خورشید، با هر شرایط پوشش گیاهی و میزان رطوبت، در فضایی مانند شکل ۳، قرار می گیرد که لبه های آن حالات خشک و اشباع خاک است (۲۶). خاک هایی با پوشش گیاهی صفر تا انبوه، با یک میزان رطوبت خاص، با شیب منحصر به فردی در این نمودار قرار می گیرند. یعنی برای هر خط با شیب مشخص، می توان میزان رطوبت خاصی را در نظر گرفت. یکی از شاخص های تعریف شده با استفاده از نمودار پراکندگی دما/پوشش گیاهی، شاخص TVDI است (۱۷). شاخص رطوبتی TVDI که بر اساس تصاویر شاخص پوشش گیاهی NDVI و دمای سطح زمین LST است، که آن



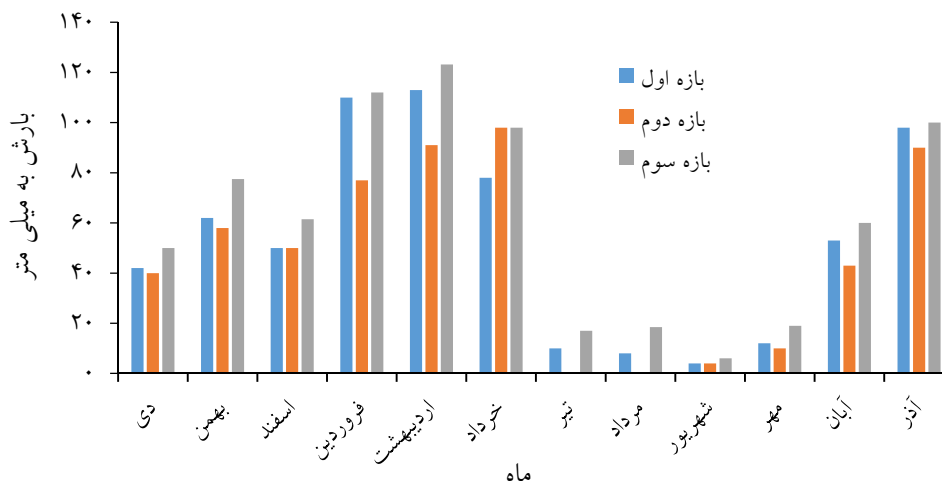
شکل ۳. نحوه توزیع پیکسل های تصویر در نمودار پراکندگی دما/پوشش گیاهی

Fig. 3. Distribution of image pixels in temperature / vegetation scatter plot

## بحث و نتایج

۱۳۹۶ تا دی‌ماه ۱۳۹۷ برای منطقه مورد مطالعه در شکل ۴ آورده شده است. بیشترین میزان بارندگی در بازه سوم و کمترین میزان بارندگی در بازه دوم بوده است.

میانگین بارندگی ماهانه بازه اول دی‌ماه ۱۳۸۸ تا دی‌ماه ۱۳۸۹، بازه دوم دی‌ماه ۱۳۹۲ تا دی‌ماه ۱۳۹۳، بازه سوم دی‌ماه



شکل ۴. میانگین بارندگی ماهانه برای سه بازه زمانی ۱۳۸۸-۱۳۸۹، ۱۳۹۲-۱۳۹۳، ۱۳۹۶-۱۳۹۷

Fig. 4. Minimum monthly rainfall for the three time periods of 1388 - 1389, 1392 - 1393, 1396 - 1397

برابر با  $26/985$  بوده است. که نسبت به سال ۱۳۸۸ افزایش داشته و سال ۱۳۹۶ در ماه اول میزان  $a$  برابر با  $12/903$  و  $b$  برابر با  $8/293$  است. با توجه به عددهای ضرایب خط می‌توان به این نتیجه رسید که بازه ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ نسبت به دو دوره دیگر مرطوب‌تر بوده است.

در این تحقیق در سه بازه زمانی ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ (سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴ و ۲۰۱۸) تفاوت در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. در ماه اول سال ۱۳۸۸ میزان  $a$  برابر با  $15/806$  و  $b$  برابر با  $24/014$  است. ولی در سال ۱۳۹۲ در ماه اول  $a$  برابر با  $20/172$  و  $b$



جدول ۲. پارامترهای a (ضریب)، b (شیب خط) و  $T_s$  min (حداقل دما)، برای به دست آوردن TVDI با استفاده از روش اول

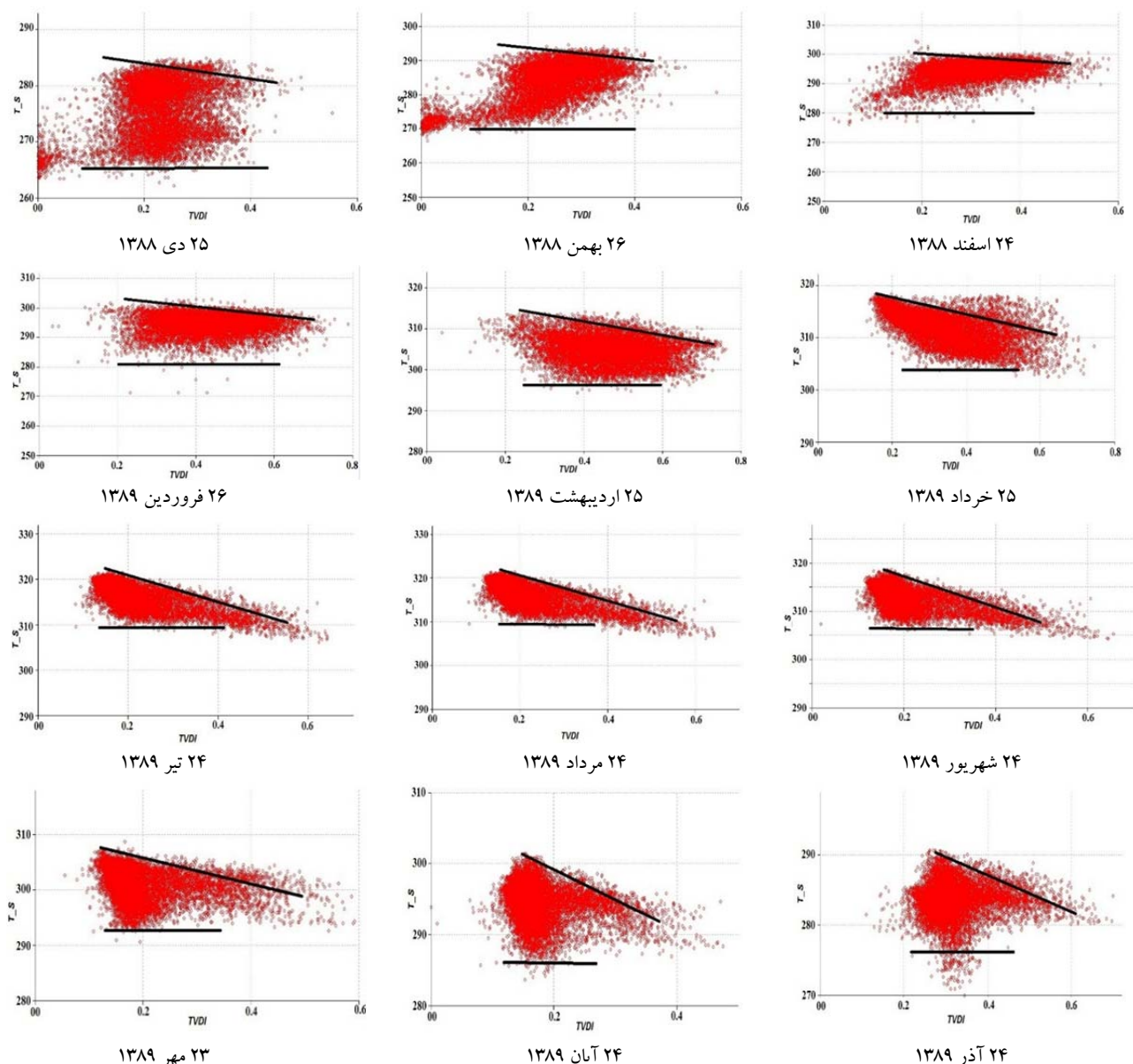
Table 2. Parameters a (coefficient), b (line slope) and  $T_s$  min (minimum temperature), for bad TVDI using the first method

سال	ماه	روز	$R^2$	لبه خشک $T_s$ max	لبه مرطوب $T_s$ min
1388	10	25	0.80	$T_s \max = -15.806 + 24.014(\text{NDVI})$	0
1388	11	26	0.82	$T_s \max = -27.965 + 26.974(\text{NDVI})$	1
1388	12	24	0.75	$T_s \max = -12.646 + 31.294(\text{NDVI})$	8
1389	1	26	0.88	$T_s \max = -12.17 + 32.464(\text{NDVI})$	12
1389	2	25	0.87	$T_s \max = -14.351 + 48.056(\text{NDVI})$	23
1389	3	25	0.70	$T_s \max = -10.957 + 24.014(\text{NDVI})$	31
1389	4	24	0.90	$T_s \max = -15.111 + 51.066(\text{NDVI})$	36
1389	5	24	0.92	$T_s \max = -17.66 + 24.014(\text{NDVI})$	36
1389	6	24	0.95	$T_s \max = -21.41 + 50.034(\text{NDVI})$	33
1389	7	23	0.88	$T_s \max = -14.707 + 36.753(\text{NDVI})$	20
1389	8	24	0.97	$T_s \max = -25.141 + 31.035(\text{NDVI})$	13
1389	9	24	0.83	$T_s \max = -28.648 + 20.768(\text{NDVI})$	3
سال	ماه	روز	$R^2$	لبه خشک $T_s$ max	لبه مرطوب $T_s$ min
1392	10	25	0.72	$T_s \max = -20.172 + 26.985(\text{NDVI})$	0
1392	11	26	0.88	$T_s \max = -19.172 + 27.985(\text{NDVI})$	1
1392	12	24	0.90	$T_s \max = -21.172 + 29.985(\text{NDVI})$	8
1393	1	26	0.93	$T_s \max = -18.73 + 37.961(\text{NDVI})$	17
1393	2	25	0.98	$T_s \max = -16.526 + 47.224(\text{NDVI})$	25
1393	3	25	0.85	$T_s \max = -12.552 + 49.852(\text{NDVI})$	34
1393	4	24	0.79	$T_s \max = -22.133 + 50.04(\text{NDVI})$	34
1393	5	24	0.92	$T_s \max = -20.561 + 53.159(\text{NDVI})$	37
1393	6	24	0.90	$T_s \max = -38.324 + 18.294(\text{NDVI})$	25
1393	7	23	0.94	$T_s \max = -17.333 + 35.503(\text{NDVI})$	21
1393	8	24	0.80	$T_s \max = -7.392 + 18.552(\text{NDVI})$	6
1393	9	24	0.83	$T_s \max = -7.583 + 14.647(\text{NDVI})$	1
سال	ماه	روز	$R^2$	لبه خشک $T_s$ max	لبه مرطوب $T_s$ min
1396	10	25	0.87	$T_s \max = -12.903 + 8.293(\text{NDVI})$	0
1396	11	26	0.89	$T_s \max = -10.526 + 18.053(\text{NDVI})$	1
1396	12	24	0.93	$T_s \max = -9.842 + 33.925(\text{NDVI})$	15
1397	1	26	0.82	$T_s \max = -16.318 + 38.044(\text{NDVI})$	21
1397	2	25	0.79	$T_s \max = -8.621 + 50.785(\text{NDVI})$	21
1397	3	25	0.97	$T_s \max = -28.565 + 24.014(\text{NDVI})$	35
1397	4	24	0.90	$T_s \max = -15.111 + 57.339(\text{NDVI})$	35
1397	5	24	0.88	$T_s \max = -21.303 + 49.982(\text{NDVI})$	34
1397	6	24	0.88	$T_s \max = -23.986 + 45.862(\text{NDVI})$	28
1397	7	23	0.96	$T_s \max = -24.078 + 38.913(\text{NDVI})$	20
1397	8	24	0.91	$T_s \max = -12.637 + 18.869(\text{NDVI})$	3
1397	9	24	0.90	$T_s \max = -14.815 + 14.37(\text{NDVI})$	1

جدول ۳. پارامترهای a (ضریب)، b (شیب خط) و  $T_s$  min (حداقل دما)، برای به دست آوردن TVDI با استفاده از روش دوم

Table 3. Parameters a (coefficient), b (line slope) and  $T_s$  min (minimum temperature), to obtain TVDI using the second method

سال	ماه	روز	$R^2$	لبه خشک $T_s$ max	$R^2$	لبه مرطوب $T_s$ min
1389	2	25	0.83	$T_s \max = -14.351 + 48.056(\text{NDVI})$	0.95	$T_s \min = 14.415 + 2.951(\text{NDVI})$
1389	5	24	0.90	$T_s \max = -17.66 + 24.014(\text{NDVI})$	0.93	$T_s \min = 34.283 + 9.230(\text{NDVI})$
1393	2	25	0.88	$T_s \max = -16.526 + 47.224(\text{NDVI})$	0.91	$T_s \min = 21.413 + 8.596(\text{NDVI})$
1393	5	24	0.95	$T_s \max = -20.561 + 53.159(\text{NDVI})$	0.88	$T_s \min = 34.138 + 5.758(\text{NDVI})$
1397	2	25	0.84	$T_s \max = -8.621 + 50.785(\text{NDVI})$	0.80	$T_s \min = 16.332 + 14.694(\text{NDVI})$
1397	5	24	0.92	$T_s \max = -21.303 + 49.982(\text{NDVI})$	0.84	$T_s \min = 31.931 + 6.896(\text{NDVI})$

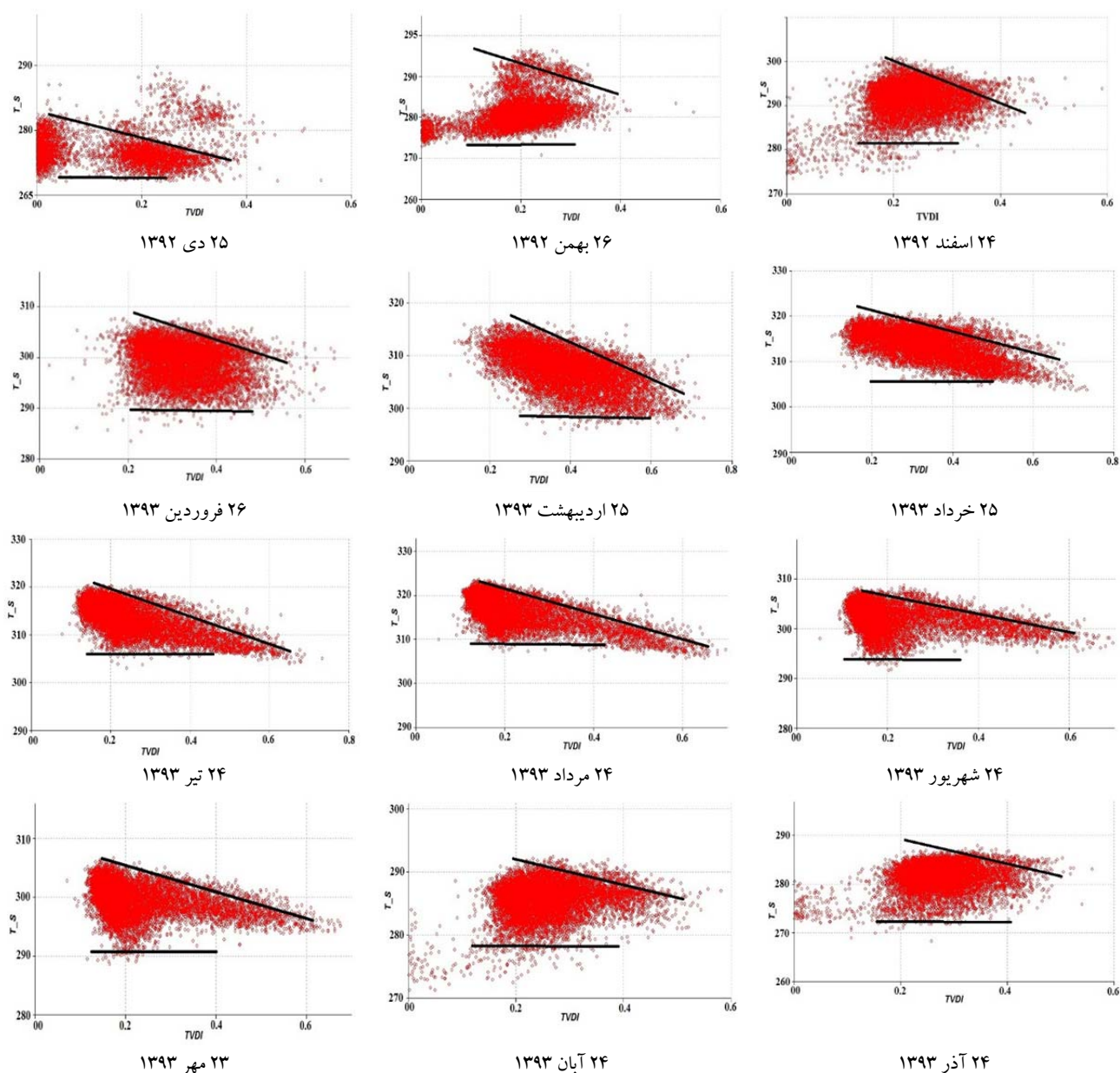


شکل ۵. پراکندگی بین شاخص پوشش گیاهی (NDVI) و دمای سطح زمین (TS) برای تصاویر در بازه زمانی اول دی ماه ۱۳۸۸ تا دی ماه ۱۳۸۹ (روش اول)

Fig. 5. Scattering between vegetation index (NDVI) and ground surface temperature (TS) for images in the period from January 1, 2010 to December 31, 2010 (first method)

زمانی که دما زیاد و پوشش گیاهی کم باشد در نتیجه میزان شاخص رطوبتی هم به مقدار زیادی کاهش پیدا می کند. در این سال طبق نمودار حداکثر دما مردادماه و حداقل آن دی ماه و حداکثر پوشش گیاهی در اردیبهشت ماه و حداقل آن دی ماه بوده است.

نمودار مثلث تبخیری متشکل از شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین در بازه زمانی اول دی ماه ۱۳۸۸ تا دی ماه ۱۳۸۹ شکل ۵ نشان می دهد که از دی ماه تا آذرماه تغییرات دمای زیادی رخ داده است. همین تغییراتی دمای سطح زمین باعث شده است، که نمودارها تغییراتی زیادی داشته باشند.

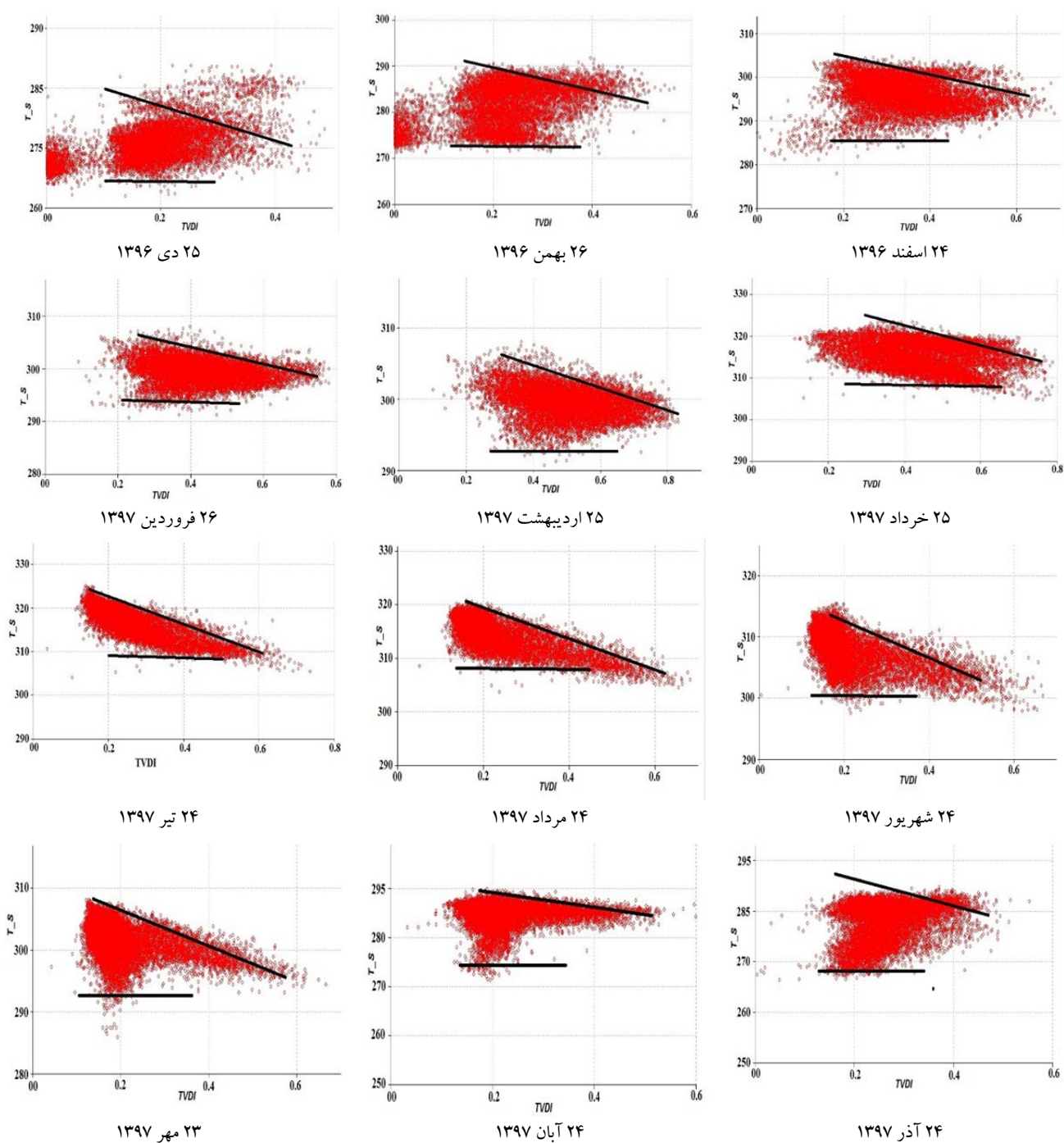


شکل ۵. پراکندگی بین شاخص پوشش گیاهی (NDVI) و دمای سطح زمین (TS) برای تصاویر در بازه زمانی دوم دی ماه ۱۳۹۲ تا دی ماه ۱۳۹۳ (روش اول)

Fig. 5. Scattering between vegetation index (NDVI) and ground surface temperature (TS) for images in the period from January 1, 2014 to December 31, 2014 (first method)

نسبتاً گرم‌تر و خشک‌تر بوده است. میزان بارش در این سال نسبت دوره ۱۳۸۸ و تا ۱۳۸۹ کمتر نیز است. همین مسئله کمبود بارش در این دوره باعث شده که به مقدار زیادی شاخص رطوبتی کاهش پیدا کند.

نمودار مثلث تبخیری متشکل از شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین بازه دی ماه ۱۳۹۲ تا دی ماه ۱۳۹۳ است (شکل ۶). با توجه به نمودارها در این سال حداکثر دما مرداد- ماه و حداقل آن دی ماه و حداکثر پوشش گیاهی در اردیبهشت- ماه و حداقل آن دی ماه و همچنین این دوره ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۳



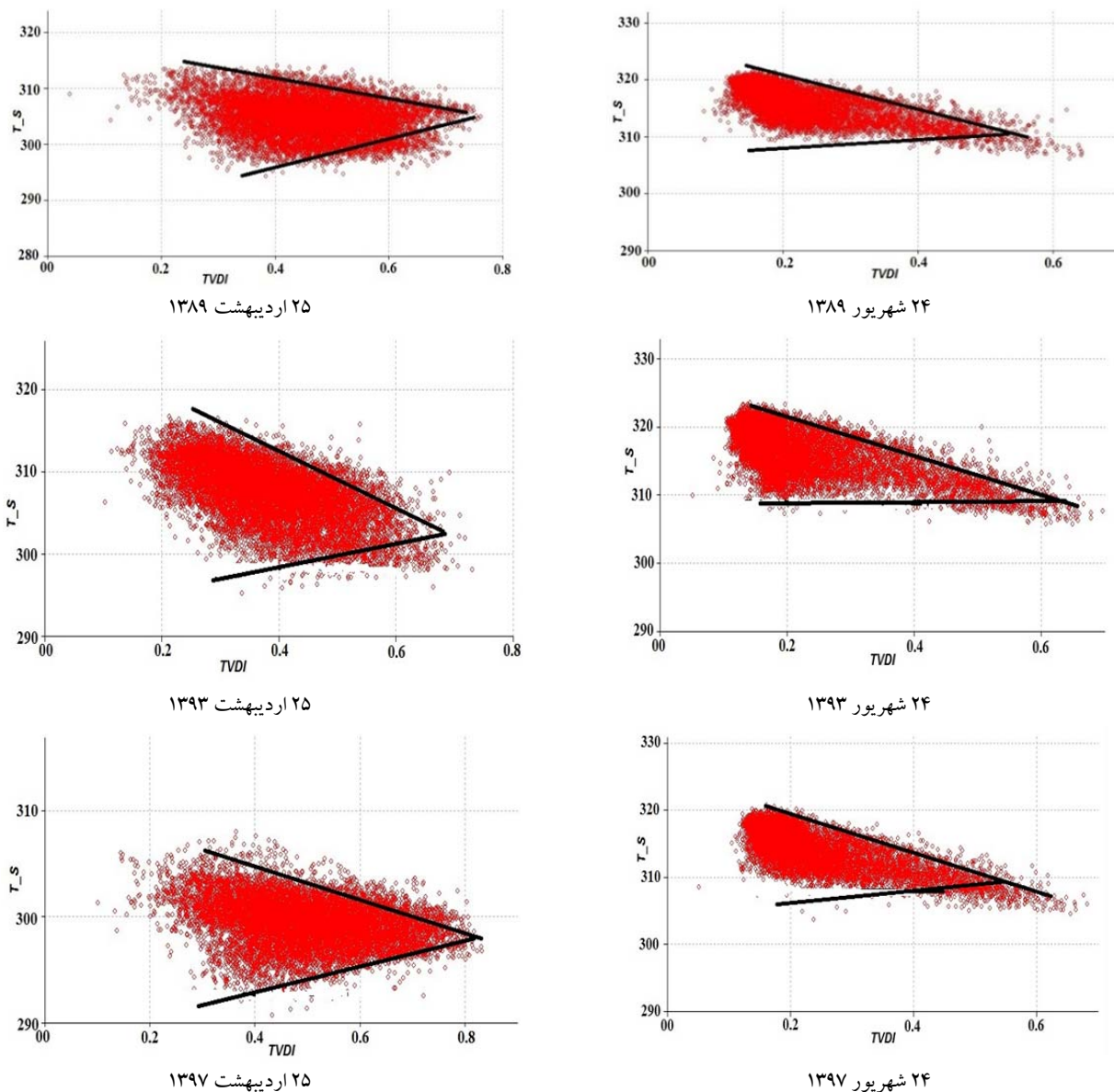
شکل ۶. پراکندگی بین شاخص پوشش گیاهی (NDVI) و دمای سطح زمین (TS) برای تصاویر در بازه زمانی سوم دی ماه ۱۳۹۶ تا دی ماه ۱۳۹۷ (روش اول)

Fig. 5. Scattering between vegetation index (NDVI) and ground surface temperature (TS) for images in the period from January 1, 2018 to December 31, 2018 (first method)

مورد مطالعه هم میزان بارش بیشتر بوده و هم میزان پوشش گیاهی و با توجه به گرافها در این سال حداکثر دما تیرماه و حداقل آن ماه دی ماه و حداکثر پوشش گیاهی در اردیبهشت ماه

شکل ۷، که نمودار مثلث تبخیری تشکیل شده از شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین در دوره دی ماه ۱۳۹۶ تا دی ماه ۱۳۹۷ است. در این سال نسبت به دو سال دیگر

و حداقل آن دی‌ماه بوده است. در شکل ۸ که با استفاده از روش دوم یعنی رسم کردن رابطه رگرسیونی بالا و پایین نمودار دما و پوشش گیاهی است.



شکل ۸. پراکندگی بین شاخص پوشش گیاهی (NDVI) و دمای سطح زمین (TS) برای تصاویر در بازه زمانی اول تا سوم (روش دوم)

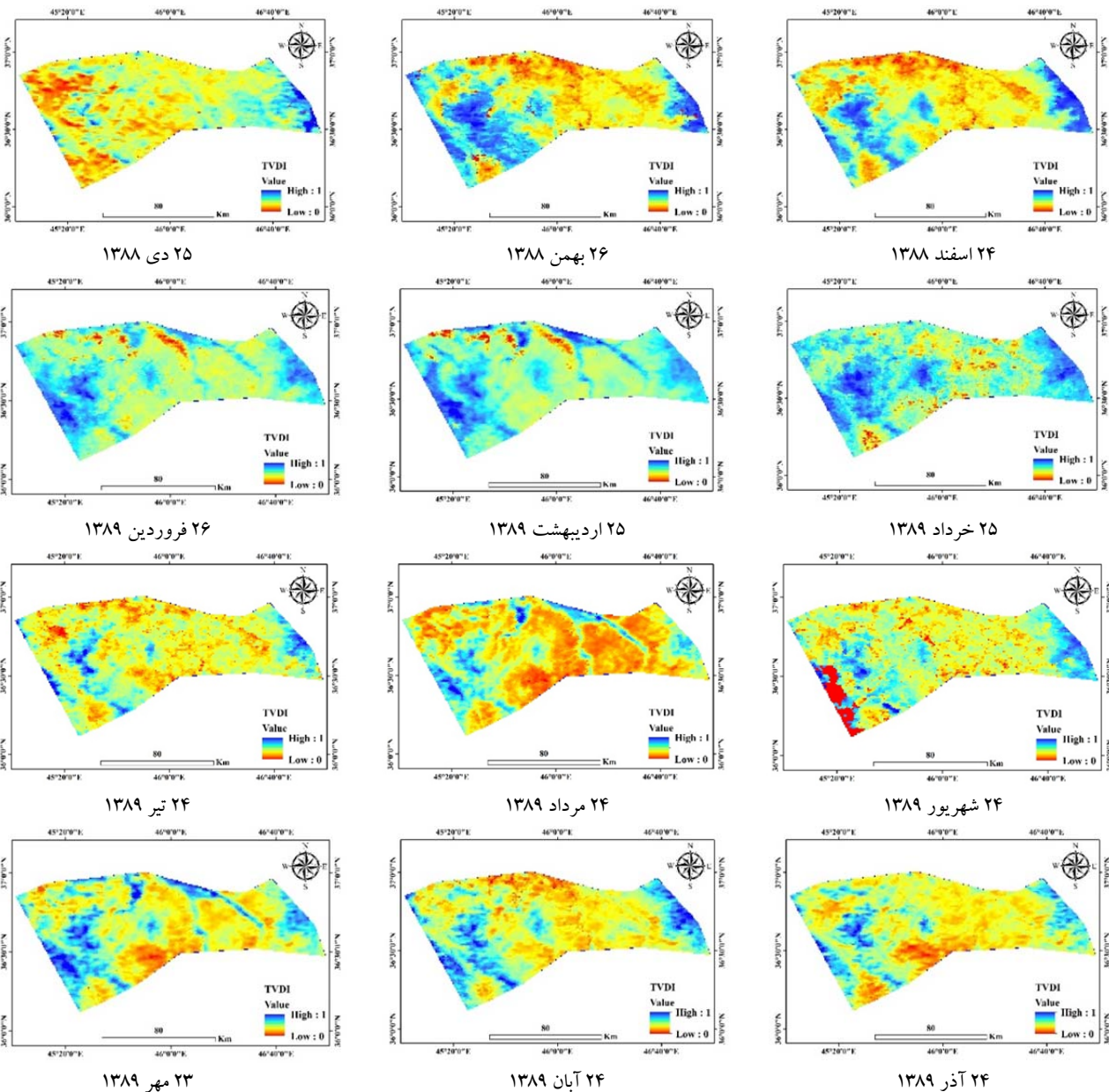
Fig. 8. Dispersion between vegetation index (NDVI) and ground surface temperature (TS) for images in the first to third time period (second method)

مودیس با استفاده از شاخص پوشش گیاهی (NDVI) و دمای سطح زمین (LST)، بازه زمانی دی‌ماه ۱۳۸۸ تا دی‌ماه ۱۳۸۹ برای منطقه غرب کشور ایران است. مقدار شاخص رطوبتی

رطوبت یکی از عوامل مهم و حیاتی برای پوشش گیاهی و هر جاندار زنده و غیره زنده دیگری است. در شکل ۹، که مربوط به شاخص رطوبتی (TVDI)، به‌دست‌آمده از تصاویر

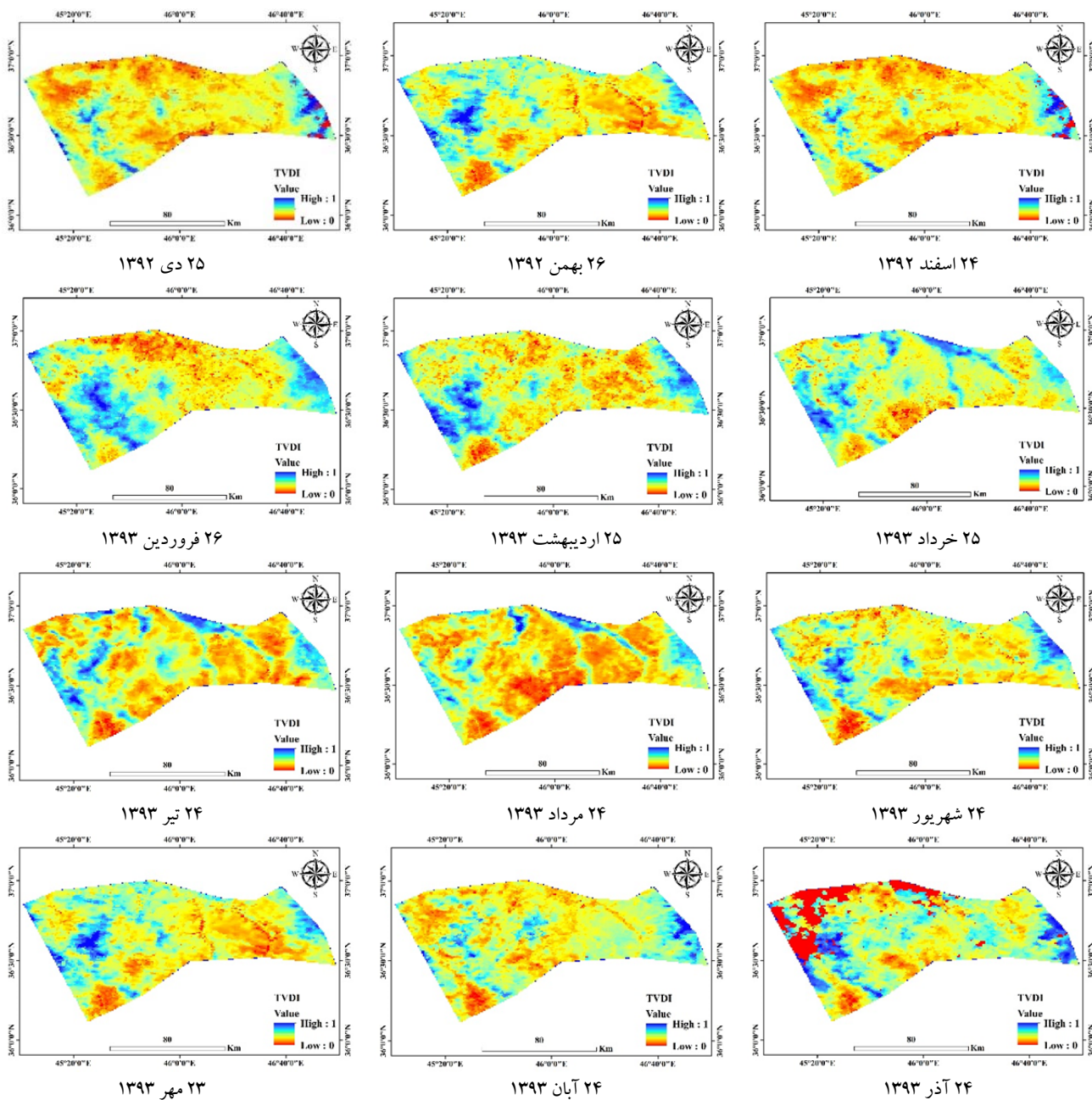
بیشتر نقشه‌های شاخص رطوبتی در سال بازه اول، حداکثر رطوبت در غرب و حداقل آن در جنوب این منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است.

(TVDI)، بین ۰ و ۱ یا ۰ و ۱۰۰ درصد متغیر است. در این سال میزان بارش نسبتاً مناسب بوده است. حداکثر میزان رطوبت در اردیبهشت‌ماه و حداقل آن در مردادماه است. این تغییرات رطوبت با میزان تغییرات دمای نیز تطابق دارد. در



شکل ۹. توزیع مکانی شاخص خشکی دما و پوشش گیاهی (TVDI) برای بازه زمانی اول. مناطق قرمز پررنگ با مناطق پوشیده از ابر مطابقت دارد (روش اول)

Fig. 9. Spatial distribution of temperature, temperature index and vegetation index (TVDI) for the first time period. Bold red areas correspond to cloudy areas (first method)



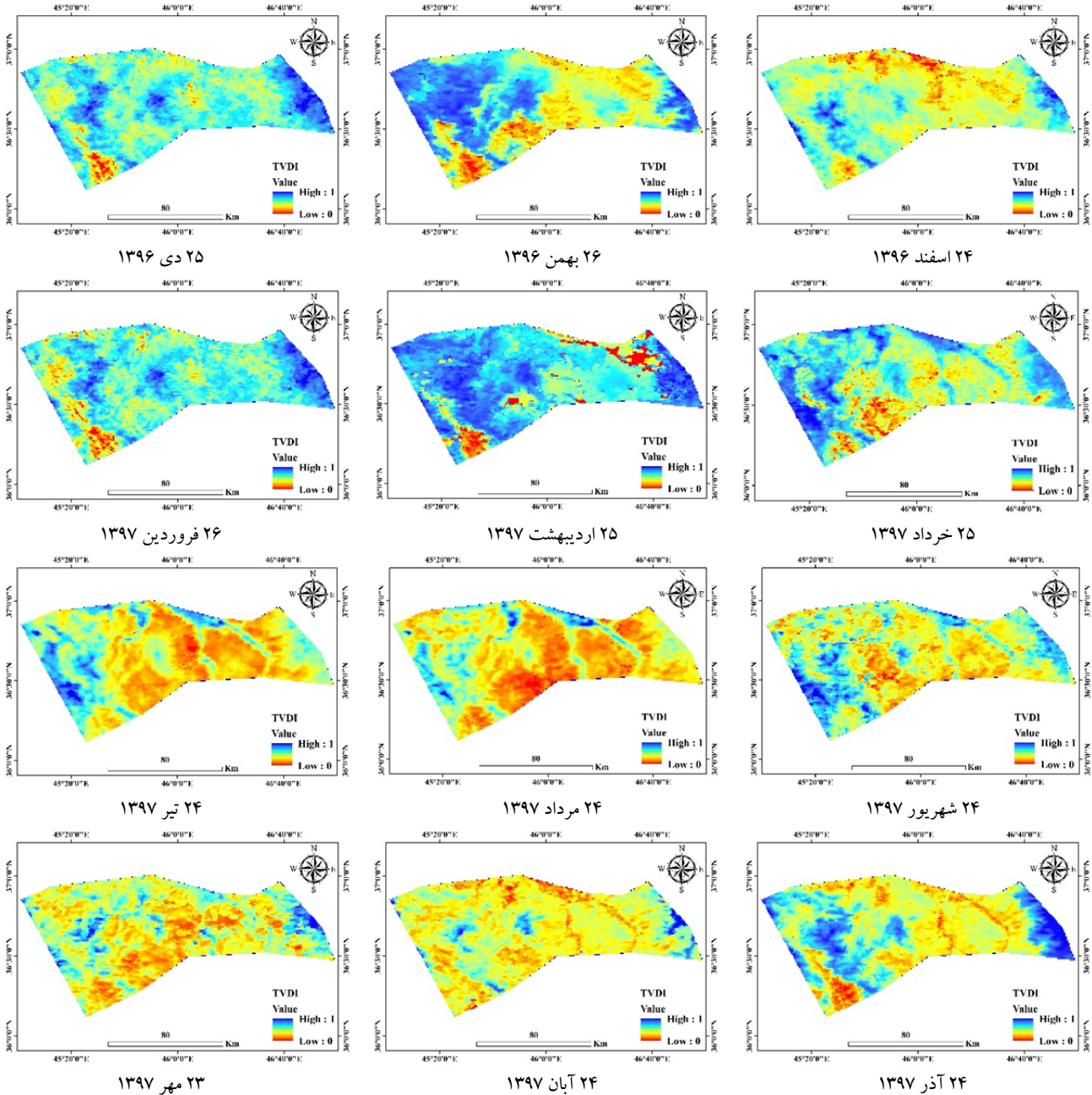
شکل ۱۰. توزیع مکانی شاخص خشکی دما و پوشش گیاهی (TVDI) برای بازه زمانی دوم. مناطق قرمز پررنگ با مناطق پوشیده از بار مطابقت دارد (روش اول)

Fig. 10. Spatial distribution of temperature and vegetation drought index (TVDI) For the second time period. Colorful red areas correspond to cloud-covered areas (first method)

شکل ۱۰، که مربوط به نتایج نقشه‌های شاخص رطوبتی در سال ۲۰۱۴ است. در بازه زمانی دی‌ماه ۱۳۹۲ تا دی‌ماه ۱۳۹۳ همان‌طور که در نقشه‌ها و نمودارهای مربوط به این سال مشخص است، این سال نسبت به سال‌های دیگر مورد مطالعه نسبتاً خشک‌تر بوده است. در این بازه از بارش و پوشش گیاهی کمی برخوردار است. تغییرات رطوبت در این سال نسبت به سال اول کمتر است. در اردیبهشت‌ماه که بیشترین میزان پوشش گیاهی وجود دارد با این حال هنوز میزان

نسبتاً خشک‌تر بوده است. در این بازه از بارش و پوشش گیاهی کمی برخوردار است. تغییرات رطوبت در این سال نسبت به سال اول کمتر است. در اردیبهشت‌ماه که بیشترین میزان پوشش گیاهی وجود دارد با این حال هنوز میزان

رطوبت در بسیاری از نقاط پایین است. حداکثر و حداقل خردادماه و حداقل آن مردادماه است. رطوبت در این سال بین ۰ تا ۰/۶ بوده است. حداکثر رطوبت



شکل ۱۱. توزیع مکانی شاخص خشکی دما و پوشش گیاهی (TVDI) برای بازه زمانی سوم. مناطق قرمز پررنگ با مناطق پوشیده از ابر مطابقت دارد (روش اول)

Fig. 11. Spatial distribution of temperature and vegetation drought index (TVDI) For the third time period. Colorful red areas correspond to cloud-covered areas (first method)

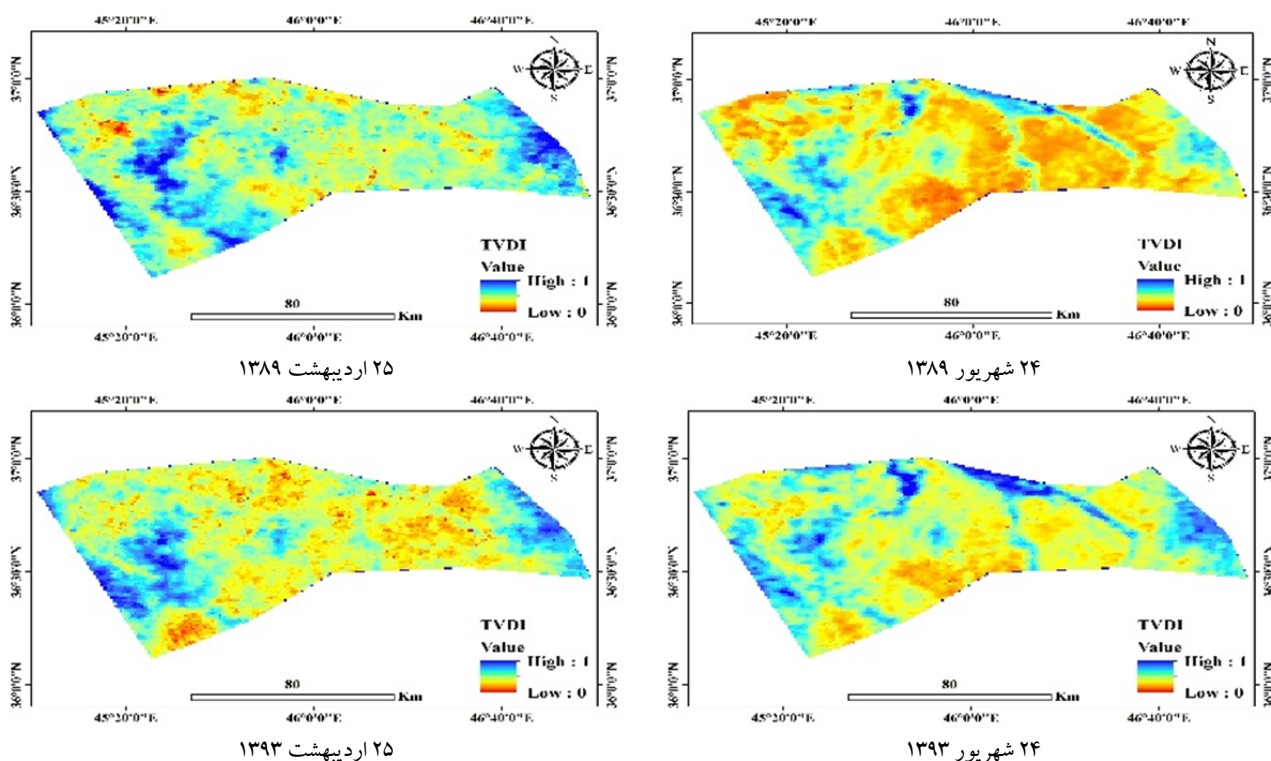


پوشش گیاهی افزایش و دمای سطح زمین کاهش یافته و این مسئله باعث افزایش میزان شاخص رطوبتی نسبت به سال بازه اول و بازه دوم شده است. همچنین در این سال میزان پوشش گیاهی تا حد ۰/۸۹ می‌رسد، اما در سال‌های دیگر مورد مطالعه تا ۰/۷ بوده است.

### نتایج به دست آوردن رطوبت به روش دوم

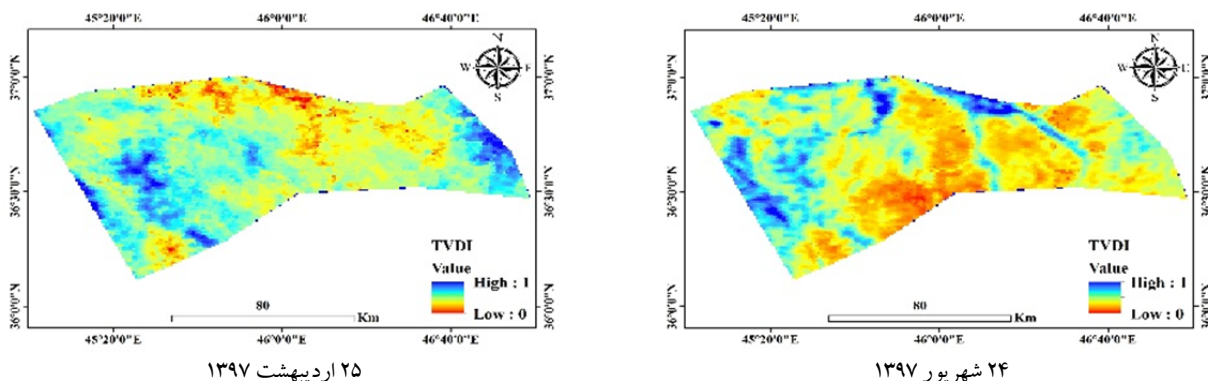
نتایج شاخص TVDI برای بازه اول تا سوم با استفاده از روش دوم نشان می‌دهد که روش شبیه به روش اول است. برای ارزیابی دقت این دو روش در زیر بررسی شده‌اند. همان‌طور که در بالا نیز ذکر شد علت انتخاب ماه اردیبهشت و شهریور وجود داده‌های زمینی است تا دقت این دو روش بهتر نمایش داده شود (شکل‌های ۱۲ و ۱۳).

نقشه‌های شاخص رطوبتی TVDI بازه سوم ۱۱ دی‌ماه ۱۳۹۶ تا ۱۰ دی‌ماه ۱۳۹۷ که از شاخص دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی به وسیله مثلث تبخیری نشان می‌دهد که در این سال همان‌طور که از ماه اول نیز مشخص است (شکل ۱۰)، میزان شاخص رطوبتی بسیار بیشتر از دو سال دیگر بوده است و میزان آن بین ۰ تا ۱ بوده و در بعضی از ماه‌ها در بیشتر قسمت‌های منطقه مورد مطالعه میزان شاخص رطوبتی به نزدیک ۱ رسیده است. در این سال بیشترین میزان رطوبت مربوط به اردیبهشت‌ماه و کمترین آن در مردادماه قرار دارد. در تصاویر نیز مشخص است حداکثر رطوبت در طول این سال در غرب و کمترین مقدار آن جنوب است. در سال ۲۰۱۸ نسبت به دو سال دیگر مورد مطالعه میزان شاخص رطوبتی بیشتر داشته است (شکل ۱۱). در این بازه بارش زیاد باعث شده، که



شکل ۱۲. توزیع مکانی شاخص خشکی دما و پوشش گیاهی (TVDI) بازه اول و دوم. مناطق قرمز پررنگ با مناطق پوشیده از ابر مطابقت دارد (روش دوم)

Fig. 12. Spatial distribution of temperature and vegetation drought index (TVDI) The first and second intervals. High red areas correspond to cloud-covered areas (second method)

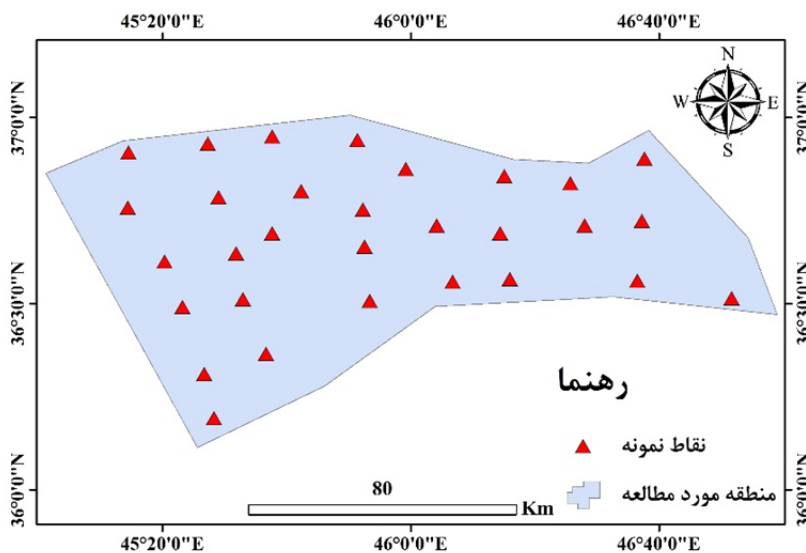


شکل ۱۳. توزیع مکانی شاخص خشکی دما و پوشش گیاهی (TVDI) بازه سوم. مناطق قرمز پررنگ با مناطق پوشیده از ابر مطابقت دارد (روش دوم)

Fig. 13. Spatial distribution of temperature and vegetation drought index (TVDI) Third interval. High red areas correspond to cloud-covered areas (second method)

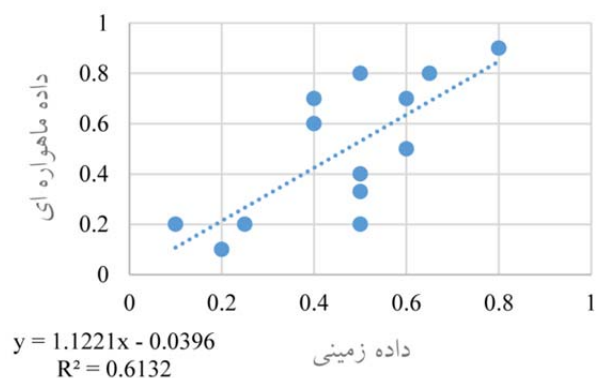
گرفت. شکل ۱۴، نقاط نمونه برداری زمینی را نشان می دهد. این داده های زمینی نسبت به میزان برآورد شده ماهواره ای از دو روش مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت.

میزان دقت نتایج با توجه به داده های زمینی برداشت شده همان طور که در بالا نیز گفته شده در این تحقیق از ۳۰ نقطه زمینی در عمق ۵ تا ۱۵ سانتی متر برداشت شده در دو ماه اردیبهشت و شهریور در بازه های مورد مطالعه مورداستفاده قرار

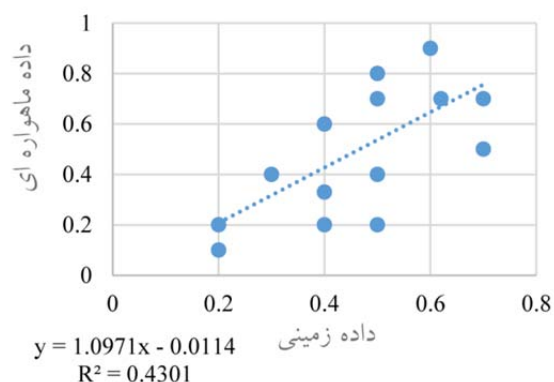


شکل ۱۴. موقعیت نقاط نمونه برداری شده

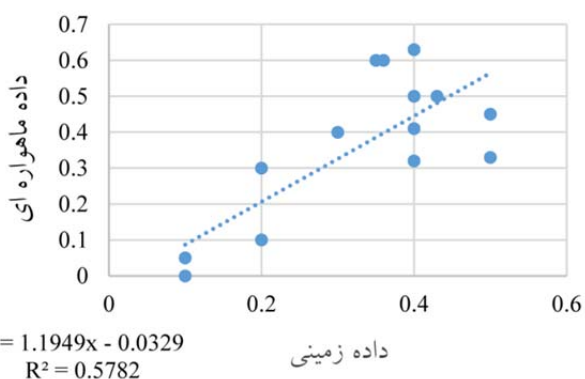
Fig. 14. Position of sampled points



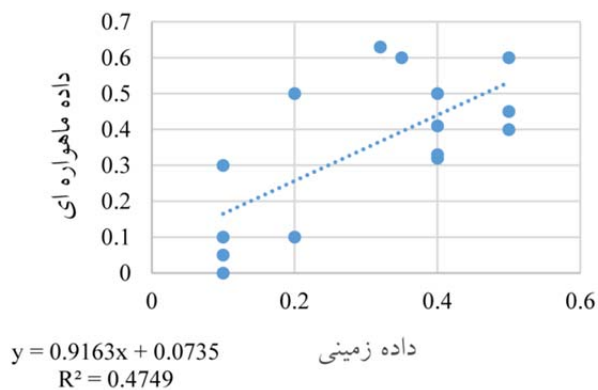
شکل ۱۵. رابطه رگرسیونی سال ۱۳۸۹ اردیبهشت ماه روش اول  
Fig. 16. Regression equation month of May 2010 the first method



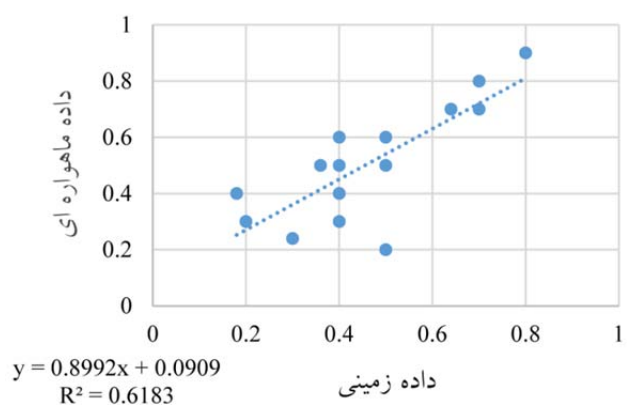
شکل ۱۶. رابطه رگرسیونی سال ۱۳۸۹ اردیبهشت ماه روش دوم  
Fig. 16. Regression equation month of May 2010 the second method



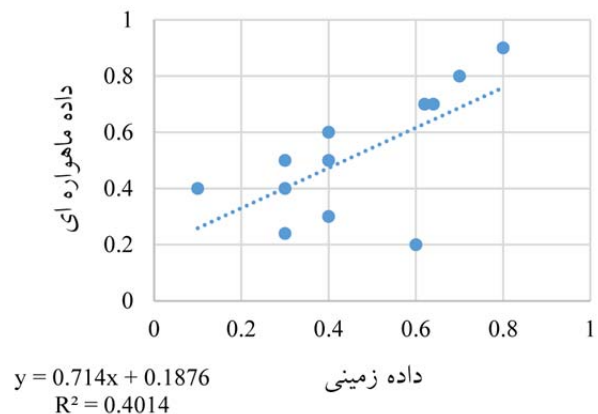
شکل ۱۷. رابطه رگرسیونی سال ۱۳۸۹ شهریور ماه روش اول  
Fig. 16. Regression equation month of September 2010 the first method



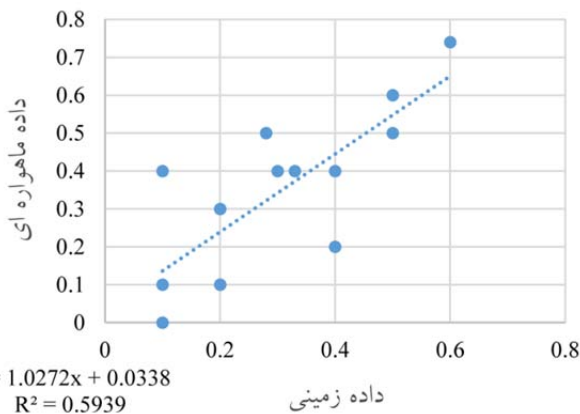
شکل ۱۸. رابطه رگرسیونی سال ۱۳۸۹ شهریور ماه روش دوم  
Fig. 18. Regression equation month of September 2010 the second method



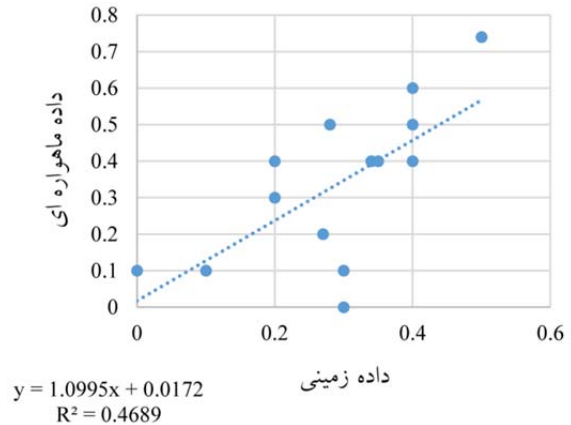
شکل ۱۹. رابطه رگرسیونی سال ۱۳۹۳ اردیبهشت ماه روش اول  
Fig. 19. Regression equation month of May 2014 the first method



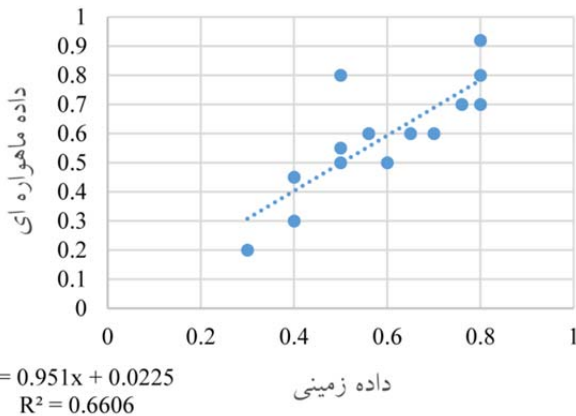
شکل ۲۰. رابطه رگرسیونی سال ۱۳۹۳ اردیبهشت ماه روش دوم  
Fig. 18. Regression equation month of May 2014 the second method



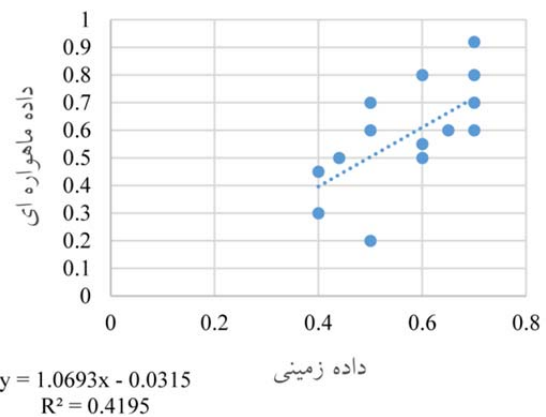
شکل ۲۱. رابطه رگرسیونی سال ۱۳۹۳ شهریورماه روش اول  
 Fig. 21. Regression equation month of September 2014 the first method



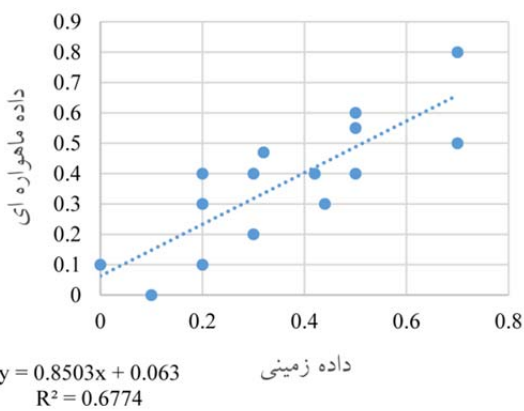
شکل ۲۲. رابطه رگرسیونی سال ۱۳۹۳ شهریورماه روش دوم  
 Fig. 22. Regression equation month of September 2014 the second method



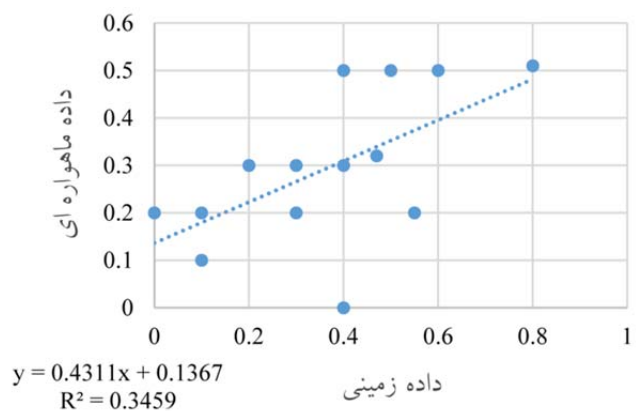
شکل ۲۳. رابطه رگرسیونی سال ۱۳۹۷ اردیبهشتماه روش اول  
 Fig. 23. Regression equation month of May 2018 the first method



شکل ۲۴. رابطه رگرسیونی سال ۱۳۹۷ اردیبهشتماه روش دوم  
 Fig. 24. Regression equation month of May 2018 the second method



شکل ۲۵. رابطه رگرسیونی سال ۱۳۹۷ شهریورماه روش اول  
 Fig. 25. Regression equation month of September 2018 the first method



شکل ۲۶. رابطه رگرسیونی سال ۱۳۹۷ شهریورماه روش دوم  
 Fig. 26. Regression equation month of September 2018 the second method

زمانی دوم از تاریخ ۱۳۹۲/۱۰/۱۱ تا تاریخ ۱۳۹۳/۱۰/۱۰ (۲۰۱۴/۰۱/۰۱ تا ۲۰۱۴/۱۲/۳۱) و بازه زمانی سوم از تاریخ ۱۳۹۶/۱۰/۱۱ تا تاریخ ۱۳۹۷/۱۰/۱۰ (۲۰۱۸/۰۱/۰۱ تا ۲۰۱۸/۱۲/۳۱) و در کل در یک دوره ۸ ساله انجام شده است. با توجه به اینکه در بازه یک‌ساله، تغییرات میزان پوشش گیاهی، دما و رطوبت به شکلی است که می‌توان انتظار تمامی شرایط پوشش گیاهی و رطوبتی را در منطقه داشت، با استفاده از تصاویر این بازه زمانی، امکان تشکیل کاملاً دقیق لبه‌های خشک و مرطوب در نمودار پراکندگی دما/ پوشش گیاهی فراهم شد. نتایج به‌دست‌آمده از مدل برآورد شاخص رطوبتی سطحی خاک در این پژوهش نشان داد که این مدل قادر به برآورد مقدار رطوبت خاک در پهنه‌های وسیع جغرافیایی با دقت قابل قبول است. و نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن بود که در بازه زمانی اول میزان شاخص رطوبتی آن بین ۰ تا ۰/۸ بوده است. همچنین در ماه‌های اردیبهشت و مرداد میزان شاخص رطوبتی به میزان ۱ می‌رسد، و در این دو ماه در بازه زمانی اول بالاترین میزان بارندگی وجود داشته است. در سال بازه زمانی دوم از ۱۱ دی‌ماه ۱۳۹۲ تا ۱۰ دی‌ماه ۱۳۹۳ نسبت به دو سال دیگر مورد مطالعه با توجه به نمودار دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی و نقشه‌های شاخص رطوبتی نسبتاً خشک‌تر بوده است، و میزان بارندگی کم نیز در این سال این نتایج را تأیید می‌کند. در بازه زمانی دوم میزان رطوبت بین ۰ تا ۰/۶ بوده و نسبت به سال بازه زمانی اول (۰/۲)، کاهش را در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد نشان می‌دهد. در سال آخر مورد مطالعه یعنی بازه زمانی سوم که با توجه به نتایج نقشه‌های شاخص رطوبتی میزان آن بین ۰/۱ تا ۱ در ماه‌های دی، بهمن، فروردین، اردیبهشت و خرداد بوده، و این میزان افزایش شاخص رطوبتی نسبت به سال بازه زمانی اول (۰/۲)، و نسبت به بازه زمانی دوم (۰/۴)، نشان می‌دهد. در کل نتایج حاکی از آن است، که بازه زمانی سوم مرطوب‌تر و بازه زمانی دوم خشک‌تر نسبت به شاخص رطوبتی (TVDI)، و میانگین بارندگی ماهانه بوده است. بررسی دو تا روش مورد استفاده حاکی از آن است که روش اول که به‌طور کلی در این تحقیق

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از میزان دقت دو تا روش به این نتیجه می‌رسیم که دقت روش اول بهتر و در کل ساده‌تر از روش دوم است. در سال ۱۳۹۷ در اردیبهشت‌ماه با توجه به روش اول میزان  $R^2=0/67$  همچنین با توجه به روش دوم میزان  $R^2=0/41$  بوده است.

جدول ۳.  $R^2$  در بازه‌های مختلفTable 3.  $R^2$  at different intervals

سال	ماه	میزان $R^2$ روش اول	میزان $R^2$ روش دوم
۱۳۸۹	اردیبهشت	۰/۶۱	۰/۴۳
۱۳۸۹	شهریور	۰/۵۷	۰/۴۷
۱۳۹۳	اردیبهشت	۰/۶۱	۰/۴۰
۱۳۹۳	شهریور	۰/۵۹	۰/۴۶
۱۳۹۷	اردیبهشت	۰/۶۶	۰/۴۱
۱۳۹۷	شهریور	۰/۶۷	۰/۳۴

### نتیجه‌گیری

رطوبت خاک میزان آبی است که در فضای مابین ذرات خاک وجود دارد (۲۴). برآورد رطوبت خاک سطحی برای مدیریت بهینه منابع آب و خاک ضروری است. رطوبت خاک سطحی، متغیری مهم در چرخه آبی طبیعت است که نقش مهمی در تعادل جهانی آب و انرژی به‌واسطه تأثیر بر فرآیندهای هیدرولوژیک، اکولوژیک و هواشناسی دارد. یکی از محدودیت‌های استفاده از روش‌های تلفیق داده‌های مرئی و حرارتی در نمودار پراکندگی دما/شاخص پوشش گیاهی، به‌منظور تعیین رطوبت خاک، تعیین لبه‌های خشک و مرطوب نادرست در نمودار پراکندگی و در نتیجه، محاسبه شاخص اشتباه رطوبت، با توجه به فاصله پیکسل به لبه‌های خشک و مرطوب است. در این مقاله، با استفاده از تصاویر سری زمانی دمای سطح و شاخص پوشش گیاهی سنجنده MODIS، امکان تولید لبه‌های خشک و اشباع در یک منطقه را فراهم کرد. این مطالعه که در سه بازه زمانی اول از تاریخ ۱۳۸۸/۱۰/۱۱ تا تاریخ ۱۳۸۹/۱۰/۱۰ (۲۰۱۰/۰۱/۰۱ تا ۲۰۱۰/۱۲/۳۱) و بازه

5. Carlson TN, Gillies RR, Perry EM. 1994. A method to make use of thermal infrared temperature and NDVI measurements to infer surface soil water content and fractional vegetation cover. *Remote Sensing Reviews*, 9(1-2): 161-173. doi:https://doi.org/10.1080/02757259409532220.
6. Dashtaki Victim N, Homayi M. 2013. Estimation of soil moisture curve using transfer functions. *Journal of Agricultural Sciences*, 10(4): 157-166. (In Persian).
7. Farrokhian Firoozi A, Homayi M. 2005. Establish a point transfer function to estimate the moisture curve of gypsum soils. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6(24): 129-142. (In Persian).
8. Gao Z, Gao W, Chang N-B. 2011. Integrating temperature vegetation dryness index (TVDI) and regional water stress index (RWSI) for drought assessment with the aid of LANDSAT TM/ETM+ images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(3): 495-503. doi:https://doi.org/10.1016/j.jag.2010.10.005.
9. Homae M, Firouzi AF. 2008. Deriving point and parametric pedotransfer functions of some gypsiferous soils. *Soil Research*, 46(3): 219-227.
10. Khodaverdiloo H, Homae M, Martinus T, Dashtaki SG. 2011. Deriving and validating pedotransfer functions for some calcareous soils. *Journal of Hydrology*, 399(1): 93-99. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.12.040.
11. Koster RD, Dirmeyer PA, Guo Z, Bonan G, Chan E, Cox P, Gordon C, Kanae S, Kowalczyk E, Lawrence D. 2004. Regions of strong coupling between soil moisture and precipitation. *Science*, 305(5687): 1138-1140. doi:https://doi.org/10.1126/science.1100217.
12. Lunt I, Hubbard S, Rubin Y. 2005. Soil moisture content estimation using ground-penetrating radar reflection data. *Journal of Hydrology*, 307(1): 254-269. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.10.014.
13. Maduako IN, Ndukwi RI, Ifeanyichukwu C, Igbokwe O. 2017. Multi-Index Soil Moisture Estimation from Satellite Earth Observations: Comparative Evaluation of the Topographic Wetness Index (TWI), the Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI) and the Improved TVDI (iTVDI). *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 45(4): 631-642. doi:https://doi.org/10.1007/s12524-016-0635-9.
14. Mekonnen DF. 2009. Satellite remote sensing for soil moisture estimation: Gumara catchment, Ethiopia. Thesis of Geo-information Science and Earth Observation, Specialisation: (Integrated Watershed Modelling and Management). WREM Department of ITC, Enschede, the Netherlands. 120 p. In. ITC.

نیز مورد استفاده قرار گرفته بود با توجه به نتایج دقت تصاویر نسبت به داده‌های زمینی دقت بالاتری برخوردار است. در سال بازه زمانی اول اردیبهشت‌ماه و شهریورماه با توجه به روش اول میزان  $R^2=0/57$  و  $R^2=0/61$  است. در همین سال میزان  $R^2$  با توجه به داده‌های زمینی و استفاده از روش دوم در اردیبهشت‌ماه و شهریورماه  $R^2=0/47$  و  $R^2=0/43$  بوده است. همچنین در بازه زمانی سوم میزان  $R^2=0/66$  با استفاده از روش اول و اردیبهشت‌ماه بوده است. در همین سال میزان  $R^2=0/41$  در اردیبهشت‌ماه با استفاده از روش دوم است. در تحقیقات انجام شده در زمینه بررسی رطوبت سطحی خاک با استفاده از روش مثلی می‌توان به تحقیق شریربک و همکاران (۲۰)، اشاره کرد. آن‌ها در این تحقیق با استفاده از تصاویر مودیس در منطقه برزیل محصولات سویار را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها حاکی از آن بود، که پارامتر TVDI برای نظارت بر میزان رطوبت و پیش‌بینی میزان محصول بسیار قابل اعتماد است. در نتیجه گیری کلی در این تحقیق روش اول هم ساده‌تر هم نسبت به روش دوم دقیق‌تر است.

## References

1. Alkhaier F, Su Z, Flerchinger G. 2012. Reconnoitering the effect of shallow groundwater on land surface temperature and surface energy balance using MODIS and SEBS. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(7): 1833-1844. doi:https://doi.org/10.5194/hess-16-1833-2012.
2. Babaeian E, Homayi M, Nowruz A. 2013. Deriving and validating point spectrotransfer functions in VIS-NIR-SWIR range to estimate soil water retention. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 2(3): 27-41. (In Persian).
3. Baghdadi N, Aubert M, Cerdan O, Franchistéguy L, Viel C, Eric M, Zribi M, Desprats JF. 2007. Operational mapping of soil moisture using synthetic aperture radar data: application to the Touch basin (France). *Sensors*, 7(10): 2458-2483. doi:https://doi.org/10.3390/s7102458.
4. Carlson NT, Capehart JW, Gillies RR. 1995. A new look at the simplified method for remote sensing of daily evapotranspiration. *Remote Sensing of Environment*, 54(2): 161-167. doi:https://doi.org/10.1016/0034-4257(95)00139-R.

15. Navabian M, Liaqat A, Homayi M. 2003. Estimation of saturated blue conductivity using transfer functions. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 16: 1-12. (In Persian).
16. Njoku EG, Jackson TJ, Lakshmi V, Chan TK, Nghiem SV. 2003. Soil moisture retrieval from AMSR-E. *IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(2): 215-229. doi:<https://doi.org/10.1109/TGRS.2002.808243>.
17. Patel N, Anapashsha R, Kumar S, Saha S, Dadhwal V. 2009. Assessing potential of MODIS derived temperature/vegetation condition index (TVDI) to infer soil moisture status. *International Journal of Remote Sensing*, 30(1): 23-39. doi:<https://doi.org/10.1080/01431160802108497>.
18. Richards L. 1949. Methods of measuring soil moisture tension. *Soil science*, 68(1): 95.
19. 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): 213-224. doi:[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00274-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00274-7).
20. Schirmbeck LW, Fontana DC, Schirmbeck J. 2018. Two approaches to calculate TVDI in humid subtropical climate of southern Brazil. *Scientia Agricola*, 75(2): 111-120. doi:<https://doi.org/10.1590/1678-992x-2016-0315>.
21. Wang C, Chen J, Chen X, Chen J. 2019. Identification of concealed faults in a grassland area in Inner Mongolia, China, using the temperature vegetation dryness index. *Journal of Earth Science*, 30(4): 853-860. doi:<https://doi.org/10.1007/s12583-017-0980-9>.
22. Wang C, Qi S, Niu Z, Wang J. 2004. Evaluating soil moisture status in China using the temperature-vegetation dryness index (TVDI). *Canadian Journal of Remote Sensing*, 30(5): 671-679. doi:<https://doi.org/10.5589/m04-029>.
23. Wang L, Qu JJ. 2009. Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring: A review. *Frontiers of Earth Science in China*, 3(2): 237-247. doi:<https://doi.org/10.1007/s11707-009-0023-7>.
24. Weidong L, Baret F, Xingfa G, Qingxi T, Lanfen Z, Bing Z. 2002. Relating soil surface moisture to reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 81(2): 238-246. doi:[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00347-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00347-9).
25. Western AW, Grayson RB. 1998. The Tarrawarra data set: Soil moisture patterns, soil characteristics, and hydrological flux measurements. *Water Resources Research*, 34(10): 2765-2768. doi:<https://doi.org/10.1029/98WR01833>.
26. Zhang D, Tang R, Zhao W, Tang B, Wu H, Shao K, Li Z-L. 2014. Surface soil water content estimation from thermal remote sensing based on the temporal variation of land surface temperature. *Remote Sensing*, 6(4): 3170-3187. doi:<https://doi.org/10.3390/rs6043170>.



Original  
paper

## Extraction of soil moisture index (TVDI) using a scatter diagram temperature / vegetation and MODIS images

Salah Shahmordadi, Hamid Reza Ghafarian Malmiri, Mohammad Amini

Received: 18 October 2020 / Accepted: 16 December 2020

Available online 1 March 2021

### Abstract

**Background and Objective** Soil moisture is an important parameter in controlling many processes of the climate system, one of the basic parameters of the environment and its direct impact on the plant, animal and microorganisms, its importance in the global cycle of water, energy and carbon, the energy exchange between air and soil is known for its natural water cycle (especially in the distribution of rain between surface runoff and infiltration) and the management of water and soil resources. Soil moisture plays an important role in the interactive processes between the atmosphere and the earth and global climate change. Triangular and trapezoidal methods combining thermal and visible data are the most commonly used methods for determining the amount of soil surface moisture.

The aim of this study is to estimate the surface moisture of the soil (TVDI), by the triangular method in the south of West Azerbaijan province using land temperature index (LST) and vegetation index (NDVI), during 2010, 2014 and 2018.

**Materials and Methods** The present study using MODIS timing series images, NDVI index and LST index, to estimate the surface moisture index (Temperature–Vegetation Dryness Index, TVDI), in three time periods including; the first time period from 1 January 2010 to 30 December 2010 and the second period is from 1 January 2014 to 30 December 2014 and the third period is from 1 January 2018 to 30 December 2018. During each period, 12 images were used on the 15th day of each month. Also, surface moisture was estimated by two methods, one was to establish a high regression relationship and remove the minimum temperature, and the second method was to establish a high and low regression relationship of the pixels. To evaluate the accuracy of these two methods, a regression correlation between the results of these methods with the soil surface moisture content of the Agricultural Jihad (30 points) at a depth of 5 to 15 cm was used.

S. Shahmordadi<sup>1</sup>, H.R. Ghafarian Malmiri<sup>2</sup>, M. Amini<sup>3</sup>

1. MSc. Student of Remote Sensing and Geographic Information System, Faculty of Humanities, Yazd University, Iran
2. Assistant Professor, Department of Geography, Faculty of Humanities, Yazd University, Iran
3. PhD Student of Remote Sensing and Geographical Information System, Department of Remote Sensing, Shahid Beheshti University, Iran

e-mail: [salah.shahmoradi@gmail.com](mailto:salah.shahmoradi@gmail.com)

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.1.3.4>



The reason for choosing these three years is due to the difference in high rainfall in some months of the studied years. This study was conducted in the south of the province of West Azerbaijan, which is part of the western region of Iran.

**Results and Discussion** The evaporative triangle diagram consisting of the vegetation index and the surface temperature of the earth in 2010 from January to December month has seen many temperature changes. These same changes in the Earth's surface temperature have caused that the graphs have many changes. During the 2010 year, according to the chart, the maximum temperature was August and the minimum was January, and the maximum vegetation was May and the minimum was December. In 2014, the maximum temperature in August and the minimum in January and the maximum vegetation in May and the minimum in January and also this year were relatively warmer and drier than in 2010. The evaporative triangle chart in 2018 is rainier than the other two years studied, and the amount of vegetation and according to the graphs in this year, the maximum temperature in July and the minimum is January and the maximum vegetation is May and the minimum in January. The surface moisture level of the soil in 2010 for the western region of Iran, which is the maximum moisture level in May and the minimum in August. In most of the 2010 moisture index maps, the maximum humidity in the west and the lowest in the South of this region. The results of the moisture index maps in 2014 this year have been relatively drier than in other years studied. In 2014 has little rainfall and vegetation. Humidity changes this year are lower than in 2010. The maximum and minimum humidity in 2014 was between 0 and 0.6. The maximum humidity is June and the minimum is August. The TVDI moisture index maps for 2018 have had more moisture indicators this year than in the other two years. In 2018, heavy rains caused the vegetation to increase and the ground temperature to decrease, and this has

led to an increase in the moisture index compared to 2010 and 2014. In 2018, the vegetation reached 0.89. But in other years it has been studied up to 0.7. This year, the high humidity is in May and the lowest in August. The maximum humidity during this year is in the west and the lower is in the south. The results of the TVDI index for 2010, 2014 and 2018, using the second method, the general results of this method are similar to the first method. Based on the results obtained from the accuracy of both methods, we conclude that the accuracy of the first method is better and generally simpler than the second method. In 2018, in May, according to the first method, the amount of  $R^2 = 0.67$ , and also according to the second method, the amount of  $R^2 = 0.41$ .

**Conclusion** Estimation of surface soil moisture is essential for the optimal management of water and soil resources. Surface soil moisture is an important variable in the water cycle of nature, which plays an important role in the global balance of water and energy through its impact on hydrological, ecological and meteorological processes. Examination of the two methods used indicates that the first method, which was also used in this research in general, has higher accuracy than the terrestrial fields due to the results of image accuracy. In 2010, the months of May and August, according to the first method are  $R^2 = 0.61$  and 0.57. In 2010, the amount of  $R^2$  according to terrestrial data and the use of the second method in May and August are  $R^2 = 0.43$  and 0.47. Also, in 2018, the value of  $R^2$  using the first method in May is 0.66. In 2018, the value of  $R^2$  using the second method in May is 0.41. The results of the soil surface moisture index, in this study, showed that this model is able to estimate the amount of soil moisture in large geographical areas with acceptable accuracy.

**Keywords:** Remote sensing, Soil surface moisture, Land surface temperature (LST), Normalized difference vegetation index (NDVI), West of Iran