

مقاله پژوهشی

قابلیت برآورد رطوبت خاک با استفاده از اینرسی حرارتی و داده‌های

ماهواره‌ای مودیس (مطالعه موردی: منطقه مرتاضیه)

مهدی ابوطالبی نصرآبادی، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مدیریت منابع خاک، دانشگاه یزد
محمدحسین مختاری^۱، استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کوبرشناسی، دانشگاه یزد
محمد علی حکیم زاده^۲، دانشیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کوبرشناسی، دانشگاه یزد
صلاح شاه مرادی، دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم اطاعات جغرافیایی و سنجش از دور، دانشگاه یزد

چکیده

رطوبت خاک، بسیاری از فرایندها را در سیستم آب و هوایی کنترل نموده و یک متغیر بسیار مهم در این سیستم به حساب می‌آید. همچنین رطوبت خاک یکی از پارامترهای بنیادی محیط‌زیست است که بر زندگی گیاهی، جانوری و میکروارگانیسم‌ها مستقیماً تأثیرگذار بوده و نقش عمده‌ای در تبادلات انرژی بین هوا و خاک ایفا می‌کند. هدف از انجام این تحقیق امکان برآورد تغییرات رطوبت سطحی خاک با استفاده از داده‌های حرارتی سنجنده‌های ماهواره‌ای چند زمانه مودیس (داده‌های صبح و عصر سنجنده دو ماهواره ترا و آکوا) و با محاسبه اینرسی حرارت ظاهری می‌باشد. در این پژوهش از تصاویر مودیس در دو بازه زمانی مختلف، یکی در بازه ۱۳۹۷/۱۱/۱۹ تا ۱۳۹۷/۱۱/۲۵ و بازه دیگری در فصل تابستان یعنی ۱۳۹۷/۰۵/۱۳ تا ۱۳۹۷/۰۵/۱۸ در منطقه مرتاضیه استان یزد استفاده شده است. همچنین از شاخص رطوبتی دما- پوشش گیاهی که بیشترین استفاده را در تحقیقات گذشته در بررسی رطوبت خاک داشته، برای ارزیابی دقت استفاده شده است. نتایج این تحقیق، دقت مناسب داده‌های ماهواره‌ای در برآورد شاخص رطوبتی حاصل از اینرسی حرارت ظاهری را نشان داد. همچنین بین شاخص خشکی دما- پوشش گیاهی و اینرسی حرارت ظاهری در روزهای مشخص، رابطه خطی برقرار شد و مقدار خطا در روز ۱۳۹۷/۰۵/۱۶ به میزان $RMSE=0/15$ و $R^2=0/86$ و در روز ۱۳۹۷/۱۱/۲۰ میزان $RMSE=0/18$ و $R^2=0/76$ بوده است. نتایج همچنین بیانگر آن است که بین اینرسی حرارت ظاهری و تغییرات رطوبت سطحی خاک رابطه خطی و مستقیمی وجود دارد.

کلمات کلیدی: دمای سطح زمین (LST)، شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI)، رطوبت خاک، اینرسی حرارت ظاهری، منطقه مرتاضیه.

مقدمه

خاک محیطی طبیعی جهت حفظ و رشد نباتات است و این مهم‌ترین تعریفی بوده که از آغاز پیدایش کشاورزی برای خاک وجود داشته است. به عبارت دیگر، خاک، محیطی پویا بوده که بر اثر فرایندها و عوامل خاک ساز تشکیل و دربرگیرنده مواد معدنی و آلی است. این مواد که پوسته خارجی زمین را پوشانده، گیاهان را قادر به رویدن می‌کند. خاک به عنوان یک منبع طبیعی، سرمایه ملی و بستر حیات، نقش اساسی در استقرار و رشد جوامع بشری و نیز سایر مخلوقات دارد و در واقع بخشی از زنجیره غذایی انسان و سایر حیوانات از خاک می‌باشد. در تعریفی دیگر، خاک یکی از منابع مهم و ارزشمند طبیعت است و بدون داشتن خاک سالم حیات و زندگی روی زمین امکان‌پذیر نخواهد بود. در کشور ما ایران به‌رغم اقلیم خشک و کمبود آب، بخش کشاورزی یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های اقتصادی به شمار می‌آید؛ لذا کمبود آب و خشک‌سالی از بزرگ‌ترین چالش‌هایی است که توسعه کشاورزی ایران در آینده با آن روبروست (سبزواری، ۱۳۹۴). خشک‌سالی یکی از زیان‌بارترین پدیده‌های زیست-محیطی به شمار می‌رود که تأثیر مخربی بر روی مسائل کشاورزی و محیط‌زیست و اقتصادی-اجتماعی دارد. خشک‌سالی در طول دوره کمبود آب در یک منطقه به علت بارش کم، تبخیر و تعرق زیاد و استخراج بالای آب زیرزمینی و یا ترکیبی از موارد ذکر شده اتفاق می‌افتد. عواقب ناشی از پدیده خشک‌سالی شامل کمبود ذخایر آبی، تخریب منابع بوم‌شناسی و تلفات تولیدات کشاورزی بوده که به‌ویژه در بخش کشاورزی که عمده‌ترین مصرف‌کننده آب به شمار می‌رود، خسارات زیادی را وارد نموده و به قحطی، مرگ و متروک شدن کل منطقه جغرافیایی منجر می‌شود (کوغان^۱، ۱۹۹۷).

خشک‌سالی در نتیجه کاهش بارندگی یا کمبود غیرطبیعی آب در طی یک دوره طولانی از زمان رخ می‌دهد. در حوادث خشک‌سالی شهری که یک کاهش موقت است، خشک‌سالی ممکن است مراتع را به رنگ قهوه‌ای تبدیل کند، درختچه‌ها و درختان را

¹ Kogan

تهدید کند و به‌طور هم‌زمان باعث کاهش پوشش گیاهی و افزایش دمای سطح زمین ('LST)، شود. با توجه به اینکه خشک‌سالی تقریباً در تمام اقلیم‌های رخ می‌دهد، از شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی و پایش آن شامل متغیرهای اکولوژیکی از جمله پوشش گیاهی، تبخیر و تعرق ('ET)، شاخص شدت خشک‌سالی پالمر (PDSI)، شاخص درصد نرمال بارش (PNPI)، شاخص ذخیره آب سطحی (SWSI)، شاخص بارش مؤثر (SPI)، شاخص رطوبت زراعی (CMI)، شاخص خشک‌سالی احیایی (RDI) و شاخص ناهنجاری‌های بارندگی (RAI)، متغیرهای هواشناسی مانند بارش، همچنین متغیرهای هیدرولوژیکی از قبیل جریان رودخانه، سطح آب زیرزمینی و سطح دریاچه و غیره استفاده می‌گردد. برآورد دقیق رطوبت خاک، فاکتوری کلیدی در مطالعات کشاورزی است. تغییرات در عواملی همچون بافت خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و روش‌های آبیاری، باعث تغییرپذیری زیاد زمانی - مکانی رطوبت خاک می‌شود (لیندا و همکاران^۲، ۲۰۰۶ و وسترن و گریسون^۳، ۱۹۹۸). برآورد رطوبت خاک می‌تواند در کنترل بیابان‌زایی، فعالیت‌های کشاورزی، آبخیزداری و مدیریت بهینه منابع آب مورد توجه قرار گیرد. از آنجاکه کشور ایران با مشکلات زیادی در این زمینه‌ها مواجه است، گسترش مطالعات در زمینه برآورد دقیق رطوبت خاک اهمیت پیدا می‌کند. تنوع مکانی و زمانی، ارزیابی اوضاع رطوبتی سطح خاک را بر اساس اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای محدود می‌کند (وود^۴، ۱۹۹۷)؛ بنابراین، وجود فناوری و مدل‌های قابل‌اعتمادی برای محاسبه رطوبت خاک سطحی با توزیع مکانی و زمانی گسترده و کم‌هزینه، ضروری هست. فناوری سنسجس‌ازدور با داشتن این ویژگی‌ها و قابلیت‌های خاص در زمینه مختلف از جمله تخمین متغیرهای هیدرولوژیکی، روش مناسبی برای برآورد رطوبت سطحی خاک بشمار می‌رود.

¹ Land Surface Temperature

² Evapotranspiration

³ Linda

⁴ Western and Garrison

⁵ Wood

امروزه با توجه به پیشرفت‌ها در زمینه سنجش‌ازدور، امکان ارزیابی بسیاری از متغیرها از جمله رطوبت خاک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای امکان‌پذیر است. این داده‌ها با داشتن پوشش مکانی و زمانی وسیع، دید جامع و یکنواختی از رطوبت خاک در نواحی مختلف و در زمان‌های گوناگون فراهم می‌آورند. با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد تصاویر ماهواره‌ای، با استفاده از سنجنده‌های ماهواره‌ای مختلف، اطلاعات بسیاری از سطح زمین اخذ می‌گردد که قبلاً به‌سادگی قابل دسترس نبودند و می‌توان این اطلاعات را در بازه‌های زمانی مشخص به‌روز نمود (رضایی، ۱۳۹۳). نظر به اهمیت خاک در بخش کشاورزی و همچنین رطوبت خاک، در سال‌های گذشته مطالعات زیادی در زمینه‌ی بررسی و تخمین رطوبت خاک به‌وسیله تصاویر حاصل از سنجش‌ازدور انجام شده است. نوروژی اقدم و همکاران (۱۳۸۵)، مدل رطوبتی لایه سطحی خاک را با استفاده از شاخص NDVI^۱ در مشهد مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق از داده‌های سنجنده مودیس در در دوره فصل رشد (فروردین- مرداد)، بر روی گیاهان مرتعی انجام شد. نتایج این تحقیق، همبستگی خوبی بین رطوبت لایه سطحی خاک و NDVI تأخیری ۱۵ روزه در فصل رشد را نشان داد. مزیت این تحقیق بررسی هم‌زمان فنولوژی گیاهان بوده است. استخراج و روندیابی رطوبت خاک توسط داده‌های سنجنده MODIS در اصفهان، توسط کشاورز و همکاران (۱۳۹۰)، بررسی شد. در این تحقیق شاخص خیسی خاک^۲ با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای حرارتی انعکاسی سنجنده مودیس بررسی شد. نتایج نشان داد روش والد ولفوویتز روش مناسبی جهت روندیابی رطوبت در این منطقه نیست. مزیت این تحقیق استفاده از روش من-کندال، رگرسیون خطی، هم‌زمان با داده‌های سنجش‌ازدور می‌باشد.

رضایی (۱۳۹۳)، تخمین رطوبت خاک با استفاده از ترکیب تصاویر حرارتی و شاخص پوشش گیاهی را در استان همدان مورد بررسی قرار داد. در این تحقیق با استفاده از باندهای

^۱Normalized difference vegetation index

^۲SWI

حرارتی مادون‌قرمز و قرمز ماهواره لندست ۸، وضعیت منطقه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که می‌توان از تصاویر ماهواره‌ای جهت برآورد رطوبت خاک استفاده نمود. صالح زاده و همکاران (۱۳۹۷)، برآورد رطوبت خاک را با استفاده از شاخص LST و تصاویر ماهواره لندست ۸، در حوزه گاو دره سنندج بررسی کردند. نتایج نشان داد که مدل‌های مذکور دارای خطای ۵٪ و همچنین دارای ضریب همبستگی ۰/۱۴ بوده است که نشان‌دهنده دقت نسبتاً کم شاخص موردبررسی در برآورد رطوبت سطحی خاک در حوزه گاو دره است و می‌توان اظهار داشت مدل‌های مذکور دارای عملکرد نسبتاً ضعیفی بوده است.

ژائو^۱ و همکاران (۲۰۱۰)، در چین از مقایسه نتایج میدانی رطوبت خاک با مقادیر تخمین زده‌شده و کاربرد تصاویر ماهواره مودیس، به یک مدل لگاریتمی دست یافتند که قادر است در اراضی با پوشش گیاهی فقیر، رطوبت را به کمک LST و NDVI با دقت قابل قبولی تخمین بزند.

ژانگ^۲ (۲۰۱۰)، با استفاده از داده‌های ۱۶ ایستگاه رطوبت سنجی خاک، ۳ ایستگاه هواشناسی و ۸۷ ایستگاه باران‌سنجی و همچنین تصاویر سنجنده مودیس، الگوریتم دوزنقه‌ای را اجرا کرد و به این نتیجه رسید که رابطه دوزنقه‌ای، ابزاری قوی برای محاسبه شاخص کمبود رطوبتی در منطقه می‌باشد. مزیت این روش استفاده هم‌زمان از داده‌های هواشناسی است. رحیم زاده و همکاران (۲۰۱۳)، با استفاده از داده‌های باند حرارتی مودیس و کسر تبخیری EF و با توجه به درجه حرارت سطح خاک و فاکتور پوشش گیاهی، رطوبت سطح خاک در منطقه کانادا را مطالعه کردند. داده‌ها با داده‌های مرجع مقایسه و نتیجه تحقیق منجر به رابطه آماری قابل پذیرشی بین رطوبت خاک و حالات موردبررسی گردید. به‌گونه‌ای که تخمین رطوبت خاک با روش استفاده از EF با دقت قابل قبولی تأیید شد. تاگیسون و همکاران^۳ (۲۰۱۸)، رطوبت سطحی را با استفاده از

¹ Zhao

² Zhang

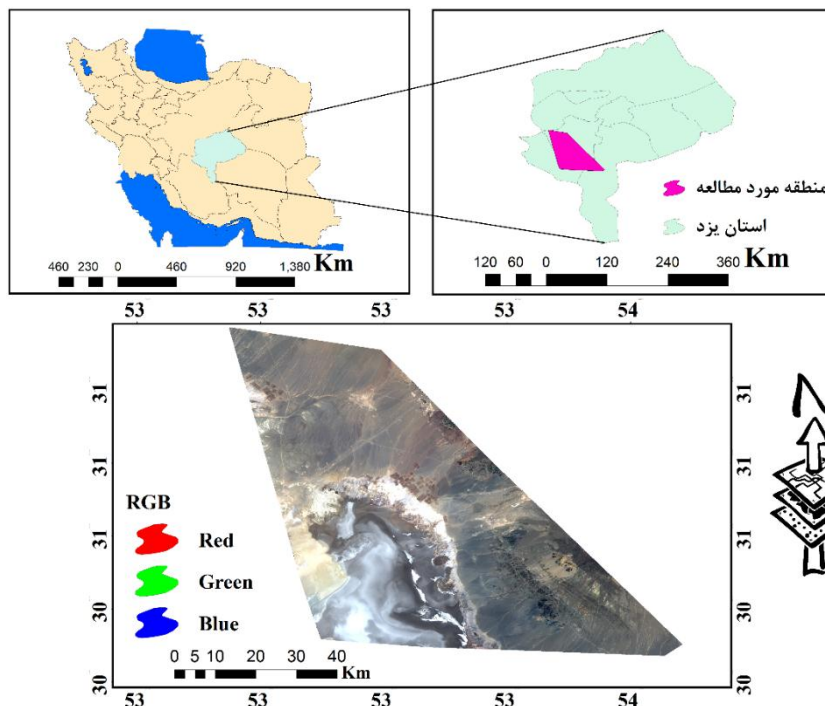
¹ Tyson

تصاویر ماهواره‌ای در منطقه‌ی غرب آفریقا با استفاده از شاخص دمای سطح زمین و پوشش گیاهی شاخص رطوبتی TVDI به دست آوردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای قابلیت تخمین رطوبت سطحی خاک را دارند. در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ترا و اکوا سنجنده مودیس، شاخص دمای سطح زمین-پوشش گیاهی و همچنین از روش اینرسی حرارت ظاهری، در دو بازه زمانی شامل دوره مرطوب و دوره خشک سال، برای تخمین رطوبت خاک استفاده شد.

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، مرتاضیه از توابع دهستان دهشیر، واقع در شهرستان تفت، از استان یزد می‌باشد که در شکل (۱) نشان داده شده است. شهرستان تفت، از لحاظ ناهمواری‌های طبیعی، از دو بخش کوهستانی و دشت هموار تشکیل شده است. آب‌وهوای این منطقه در نواحی کوهستانی معتدل و متمایل به سرد و در دشت‌های جنوبی و جنوب غربی گرم است و از نظر میزان بارندگی، جزء نواحی خشک بشمار می‌آید. مساحت منطقه مرتاضیه، ۳۶۲۷۰۸ هکتار است و در مرکز ایران، با طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۳۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی واقع شده است. این منطقه در کمربند خشک و نیمه‌خشک نیمکره شمالی قرار دارد و دارای اقلیمی گرم و خشک است و بیشتر وسعت این مناطق را بیابان تشکیل می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان یزد به صورت ترکیب رنگی ماهواره لندست ۸ (۳، ۴، ۵)

داده‌های مورد استفاده

داده‌های سنجنده^۱ MODIS: سنجنده MODIS یکی از ابزارهای علمی است که توسط ناسا بر روی ماهواره Terra در سال ۱۹۹۹ و بر روی ماهواره Aqua در سال ۲۰۰۲ در مدار قرار گرفت. این سنجنده‌ها با هم، سطح زمین را در هر یک تا دو روز تصویربرداری می‌کند. سنجنده مودیس دارای حساسیت رادیومتریکی بالا (۱۲ بیت) و در ۳۶ باند طیفی می‌باشد. این سنجنده در دو باند طیفی، تصاویر با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر، در ۵ باند طیفی تصاویری با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر و در ۲۹ باند دیگر نیز تصاویری با قدرت تفکیک ۱۰۰۰ متر برداشت می‌کند.

^۱ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

جدول ۱- تصاویر مورد استفاده سنجنده مودیس در تاریخ‌های مختلف

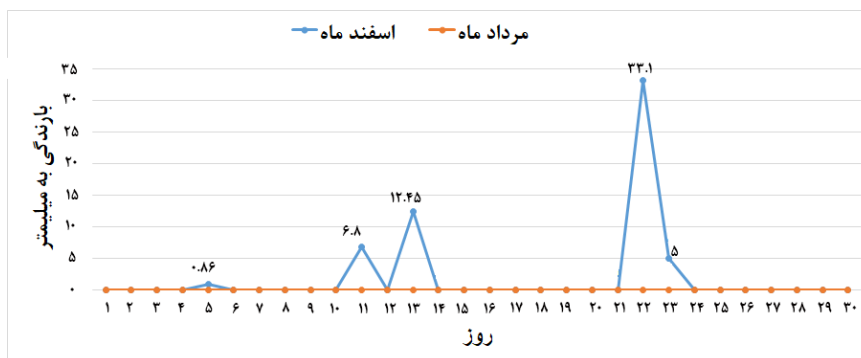
سنجنده	بازه زمانی اول	بازه زمانی دوم
مودیس (صبح و عصر)	۱۳۹۷/۱۱/۱۹	۱۳۹۷/۰۵/۱۳
	۱۳۹۷/۱۱/۲۰	۱۳۹۷/۰۵/۱۴
	۱۳۹۷/۱۱/۲۱	۱۳۹۷/۰۵/۱۵
	۱۳۹۷/۱۱/۲۲	۱۳۹۷/۰۵/۱۶
	۱۳۹۷/۱۱/۲۳	۱۳۹۷/۰۵/۱۷
	۱۳۹۷/۱۱/۲۴	۱۳۹۷/۰۵/۱۸

داده‌های هواشناسی: ایستگاه هواشناسی تأسیساتی است بر روی خشکی یا دریا که دارای ابزارها و امکاناتی برای مشاهده‌ی وضعیت جو زمین است و اطلاعاتی برای پیش‌بینی و مطالعه‌ی آب‌وهوا و اقلیم فراهم می‌آورد. در این پژوهش از داده‌های بارش روزانه ایستگاه سینوپتیک شهر یزد برای دو ماه مورد مطالعه یعنی بهمن‌ماه و مردادماه سال ۱۳۹۷ استفاده شده است. جدول ۲ و شکل شماره ۲ به ترتیب مشخصات ایستگاه مورد مطالعه و نمودار تغییرات بارش روزانه در ماه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۲- مشخصات ایستگاه مورد مطالعه

نوع ایستگاه	سینوپتیک
کد ایستگاه	OIYM-40821
سال تأسیس	۱۳۳۱
طول جغرافیایی	۳۱,۹۰
عرض جغرافیایی	۵۴,۲۹
ارتفاع از سطح دریا به متر	۱۲۳۷

با توجه به شکل ۲ بیشترین بارش در روز ۱۳۹۷/۱۱/۲۲ با ۳۱ میلی‌متر بارندگی بوده است. در این ماه بارندگی در چند روز‌های دیگر نیز رخ داده است، اما در ماه مرداد هیچ بارندگی ثبت نشده است.



شکل ۲- نمودار تغییرات روزانه بارش در دو ماه مورد مطالعه

پیش‌پردازش‌ها

تصحیح هندسی: در تصحیح هندسی، یک تصویر با استفاده از نقاط مبنا اصلاح شد. بقیه تصاویر نیز نسبت به آن تصویر اصلاح گشت.

تصحیحات رادیومتریکی: در تصحیحات رادیومتریکی، بیشتر محاسبه مؤلفه‌های فیزیکی **Reflectance** و **Radiance** مورد توجه است؛ این در حالی است که در تصحیحات اتمسفری، هدف برطرف سازی اثر پخش و جذب الکترومغناطیسی ایجاد شده در اتمسفر است. پس از اعمال تصحیحات اتمسفری، تصویر ماهواره‌ای، حاوی اطلاعات بازتاب سطحی زمین است. داده‌های دمای سطح زمین و تابندگی که با استفاده از سنجنده‌ی **MODIS** بر روی ماهواره ترا استخراج شده است، به صورت روزانه و با قدرت تفکیک مکانی ۱ کیلومتر، دمای سطح زمین را در عصر و صبح به طور جداگانه و در قالب دو لایه‌ی متمایز در اختیار ما قرار می‌دهد. تصاویر دمای سطح زمین مودیس، به سبب اینکه اختلاف دمای شب و روز در محاسبه اینرسی حرارتی ظاهری استفاده می‌شود و ضرورت کالیبراسیون دما با داده‌های زمینی، کمتر احساس می‌شود.

آلبدو سطحی^۱ (a): به صورت نسبت انرژی الکترومغناطیسی انعکاس یافته از سطح و گیاه بر انرژی فرودی بر آن سطح تعریف می‌شود. میزان آلبدوی سطحی را می‌توان با

¹ Surface Albedo

استفاده از رابطه ۱ به دست آورد.

$$\alpha = \frac{\alpha_{tan} - \alpha_{path-radiance}}{T_{sw}^2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه فوق α_{toa} آلودوی بالای اتمسفر و $\alpha_{path-radiance}$ آلودوی ناشی از رادیانس مسیر و T_{sw} قابلیت عبور اتمسفری است (باستینسن و همکاران^۱، ۱۹۹۸).

داده آلودوی استفاده شده در این پژوهش از ترکیب تصاویر ماهواره‌های ترا و آکوا به دست آمده‌اند و با قدرت تفکیک مکانی ۱ کیلومتری، به صورت ۱ روزه اطلاعات را در اختیار ما قرار دادند.

محاسبه رطوبت خاک با استفاده از روش اینرسی حرارتی: اینرسی حرارتی غالباً به صورت اینرسی حرارتی ظاهری (واکنش یک ماده به تغییرات دما) محاسبه می‌شود. اینرسی حرارتی ظاهری می‌تواند توسط داده‌های ماهواره ای چند زمانه به دست آید. روش اینرسی حرارتی ظاهری اصلاح شده با فاکتور تصحیح خورشیدی که توسط آقای لیانگ^۲ (۱۹۹۹)، پیشنهاد شده که به صورت زیر است:

$$ATI = C \cdot \frac{1 - \alpha_0}{\Delta LST_0} \quad \text{رابطه (۲)}$$

مقادیر ΔLST_0 و ضریب C از رابطه‌های زیر محاسبه می‌شوند:

$$\Delta LST_0 = LST_{0,d} - LST_{0,n} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$C = \sin \vartheta \sin \varphi (1 - \tan^2 \vartheta \tan^2 \varphi) + \cos \vartheta \cos \varphi \arccos(-\tan \vartheta \tan \varphi) \quad \text{رابطه (۴)}$$

در روابط بالا C ضریب تصحیح انرژی خورشیدی، ϑ طول و عرض جغرافیایی، φ زاویه میل خورشیدی، α_0 آلودوی باند پهن، $LST_{0,d}$ دمای روشنایی در اوایل ظهر، $LST_{0,n}$ دمای روشنایی عصر و ΔLST_0 تفاوت بین دمای روشنایی ظهر و عصر است.

¹ Bastiaanssen

² Liang

شاخص اشباع رطوبت از رابطه زیر محاسبه می‌شود (محمودی انزابی، ۱۳۹۴).

$$SMSI_0(t) = \frac{ATI(t) - ATI_{min}}{ATI_{max} - ATI_{min}} \quad \text{رابطه (۵)}$$

در رابطه بالا $ATI(t)$ اینرسی حرارتی ظاهری در زمان t ، ATI_{min} حداقل میزان اینرسی حرارت ظاهری، ATI_{max} حداکثر اینرسی حرارت ظاهری

شاخص پوشش گیاهی (NDVI): این شاخص طیفی، برای مطالعه پوشش گیاهی از نظر میزان کلروفیل موجود در آن طراحی شده است. هرچه میزان کلروفیل موجود در گیاه بیشتر باشد به همان میزان شاخص NDVI افزایش پیدا می‌کند بازه مقادیر در شاخص NDVI بین ۱- تا ۱+ متغیر است. عموماً مقادیر کمتر از صفر به‌عنوان نواحی مرطوب و آب در نظر گرفته می‌شوند. مقادیر بین ۰ تا ۰/۳ نیز پوشش‌های خاک و مراتع تنک را شامل می‌شوند. مقادیر بیشتر از ۰/۳ نیز نشان‌دهنده پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه است. در این پژوهش به‌منظور به دست آوردن دقت بالاتر در طبقه‌بندی، از این شاخص به‌عنوان یکی از پارامترها استفاده شده است. این شاخص با استفاده از رابطه (۶) به دست می‌آید (کارلسون و ریپلی^۱، ۱۹۹۷).

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{red}}{R_{NIR} + R_{red}} \quad \text{رابطه (۶)}$$

در این رابطه R_{NIR} باند مادون‌قرمز نزدیک و R_{red} باند قرمز می‌باشد که در سنجنده مودیس باند ۱ قرمز و باند ۲ مادون‌قرمز نزدیک است.

محاسبه دمای سطح زمین (LST): درجه حرارت سطح زمین می‌تواند اطلاعات مفیدی در رابطه با خصوصیات فیزیکی زمین و اقلیم که نقش بسزایی در فرایندهای محیط زیستی بازی می‌کنند فراهم نماید (داش و همکاران^۲، ۲۰۰۲). دمای سطح زمین به‌عنوان نمایه‌ای از شدت گرما، از عناصر اساسی شناخت آب‌وهواست (سوبرینو و همکاران^۳، ۲۰۰۴). در سنجش‌ازدور، دمای سطحی که در بالای جو به‌وسیله سنجنده‌ها اندازه‌گیری می‌شود،

¹ Carlson and Ripley

² Split window

³ Dash

⁴ Sabrina

دمای روشنائی می‌نامند. این دما به علت پدیده‌های جذب و پخش جوی به نظر کمتر از دمای واقعی در سطح زمین است (ونگ و همکاران، ۲۰۰۶). برای تعیین دمای واقعی سطح زمین از الگوریتم‌های گوناگونی همچون الگوریتم پنجره مجزا استفاده می‌شود و در این تحقیق نیز به‌منظور به دست آوردن دمای سطح زمین از این الگوریتم استفاده شد. از ویژگی مهم این الگوریتم حذف اثرات جوی است.

رابطه (۷)

$$T_s = C + \left(A_1 + A_2 \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} + A_3 \frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon^2} \right) \frac{T_{31} + T_{32}}{2} + \left(B_1 + B_2 \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} + B_3 \frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon^2} \right) \frac{T_{31} + T_{32}}{2}$$

که در این رابطه: T_{31} T_{32} = باند های حرارتی و C از شاخص پوشش گیاهی NDVI و با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$C = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}$$

$A1$ تا $A3$ و $B1$ تا $B3$ = ضرایب کالیبراسیون

$$\varepsilon = (\varepsilon_{31} + \varepsilon_{32}) / 2$$

$$\Delta \varepsilon = \varepsilon_{31} - \varepsilon_{32}$$

شاخص رطوبتی درجه حرارت- پوشش گیاهی: شاخص TVDI^۱ بر اساس نمودار پراکندگی به‌دست‌آمده از تصاویر NDVI و LST است که می‌تواند به شکل مثلثی تبخیری یا تراپوزوئیدی بسته به شرایط آب و هوایی و پوشش گیاهی نمایش داده شود (پریس^۲ ۱۹۹۰، لانگ و سینگ^۳ ۲۰۱۲). شاخص TVDI بین مرزهای مرطوب و خشکی مثلث تبخیری با مقادیر بین ۰ و ۱ یعنی حد خشکی و رطوبت، تعریف می‌شود. برآورد صحیح مدل به‌خصوص هنگام استفاده از تصاویر با وضوح فضایی کم (پیکسل ۱۰۰۰ متر و یا بیشتر)، به وضعیت آب‌وهوای منطقه و تعیین مناسب لبه‌های خشک و مرطوب مثلث تبخیری بستگی دارد.

¹ Temperature Vegetation Dryness Index

² Price

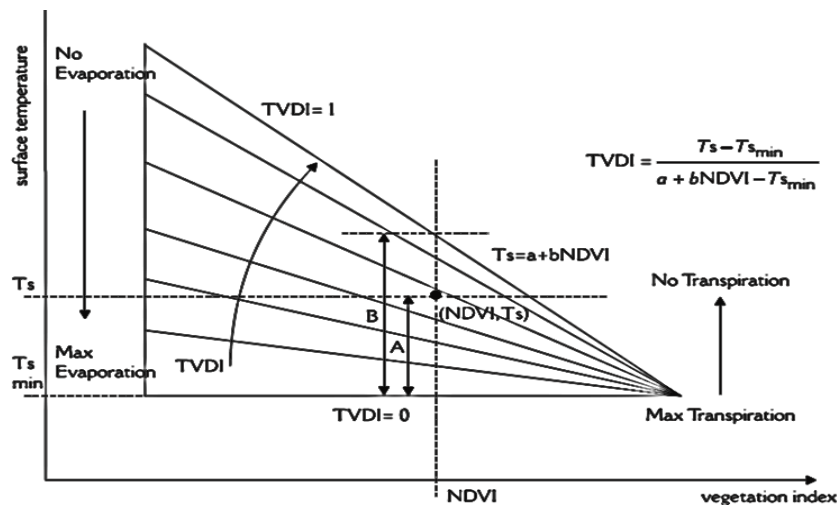
³ Long and Singh

شاخص TVDI با استفاده از محصولات دمای سطح زمین و پوشش گیاهی مودیس برآورد گردید. داده‌های شاخص LST و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) به ترتیب ۱۰۰۰ متر فضایی مربوط به دو دوره‌ی ۶ روزه که دوره اول از ۱۳۹۷/۱۱/۱۹ تا ۱۳۹۷/۱۱/۲۵ و دوره دوم ۱۳۹۷/۰۵/۱۳ تا ۱۳۹۷/۰۵/۱۸ بوده که این انتخاب دو دوره به دلیل آب‌وهوای متفاوت هست که دوره اول سه روز قبل از بارش و سه روز بعد بارش و دوره دوم ۶ روز در محدوده گرمایی تابستان بوده است. TVDI از معادله (۸) به دست می‌آید (ساندولت و همکاران، ۲۰۰۲):

$$\text{TVDI} = \frac{T_s - T_{s\min}}{T_{s\max} - T_{s\min}} \quad \text{رابطه (۸)}$$

که در این رابطه T_s دمای سطح زمین، $T_{s\min}$ دمای حداقل، $T_{s\max}$ که از رابطه (۹) از طریق رابطه‌ی خطی بین دما و پوشش گیاهی بدست می‌آید.

$$T_s \max = a + b \times \text{NDVI} \quad \text{رابطه (۹)}$$



شکل

۲- نشانگری از مثلث تبخیری، با توجه به رابطه بین دمای سطح (T_s) و شاخص پوشش گیاهی (NDVI)؛ TVDI = دمای - شاخص خشکی گیاهی (TVDI)؛ (ساندولت، ۲۰۰۲)

ضریب تبیین و خط جذر میانگین: برای ارزیابی دقت اینرسی حرارت ظاهری از دو پارامتر ضریب تبیین و خط جذر میانگین استفاده می‌شود. R^2 اندازه‌گیری آماری نزدیک داده‌ها به خط رگرسیون برازش شده می‌باشد. به R^2 ، ضریب تعیین یا ضریب تشخیص نیز گفته می‌شود که تفاوت میان مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل یا برآوردگر آماری و مقدار واقعی می‌باشد. RMSE ابزار خوبی برای مقایسه خطاهای پیش‌بینی توسط یک مجموعه داده است و برای مقایسه چند مجموعه داده کاربرد ندارد که به صورت فرمول زیر می‌باشد:

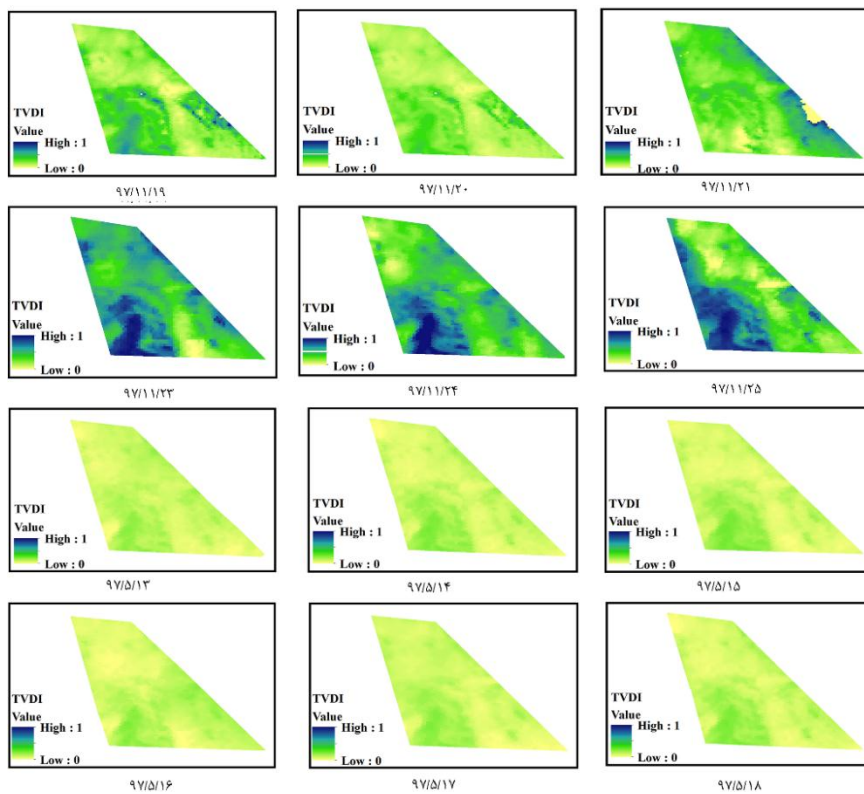
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y'_i - y_i)^2} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

بحث اصلی (ارائه یافته‌ها، تجزیه، تحلیل و تفسیر آن‌ها)

نتایج حاصل از محاسبه شاخص رطوبتی (TVDI): جهت برآورد شاخص رطوبتی از دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی استفاده گردید. دما و پوشش گیاهی با هم پلات شدند تا رابطه رگرسیونی بین آن‌ها برقرار و مقدار a و b و حداقل دما به دست آید. در روزهای قبل از بارش، حداکثر دما به ۳۰ تا ۳۵ درجه و حداقل دما به ۲۰ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. در دوره‌ی بعد از بارش یعنی از تاریخ ۲۳ تا ۲۵ بهمن ۱۳۹۷، حداکثر دما با و حداقل دما کاهش حدود ۱۰ داشته است. در دوره خشکی یعنی تاریخ‌های ۱۳ تا ۱۸ مردادماه ۱۳۹۷، دما به میزان زیادی افزایش پیدا کرده که حداقل و حداکثر دما به ترتیب ۴۸ و ۶۲ درجه سانتی‌گراد بوده است.

جدول ۳- مقدار a, b و دمای حداقل در محدوده مطالعاتی دو دوره‌های زمانی مختلف

تاریخ	a	b	T_{Smin}
۱۳۹۷/۱۱/۱۹	-۶۸,۸۰۹	۳۶,۷۴۴	۲۲
۱۳۹۷/۱۱/۲۰	-۳۷,۴۳۵	۳۲,۶۵۵	۲۱
۱۳۹۷/۱۱/۲۱	-۴۴,۴۴۴	۳۴,۷۳۵	۲۰
۱۳۹۷/۱۱/۲۳	-۳۷,۸۵۸	۲۴,۷۸۸	۱۳,۵۰
۱۳۹۷/۱۱/۲۴	-۳۱,۸۰۶	۲۴,۶۶۶	۱۵,۵۰
۱۳۹۷/۱۱/۲۵	-۳۸,۵۸	۲۹,۶۲۲	۱۵
۱۳۹۷/۰۵/۱۳	-۴۸,۲۴۴	۶۳,۰۱۲	۵۰
۱۳۹۷/۰۵/۱۴	-۳۰,۸۵۵	۶۰,۸۳۶	۴۶,۵۰
۱۳۹۷/۰۵/۱۵	-۴۳,۰۶۹	۶۴,۸۲۴	۴۸
۱۳۹۷/۰۵/۱۶	-۳۸,۶۴۲	۶۱,۶۰۵	۴۶
۱۳۹۷/۰۵/۱۷	-۵۰,۹۵۵	۶۶,۵۱۳	۵۰
۱۳۹۷/۰۵/۱۸	-۴۲,۴۷۱	۶۳,۰۴۳	۴۶



شکل ۴- نقشه شاخص TVDI در تاریخ‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه

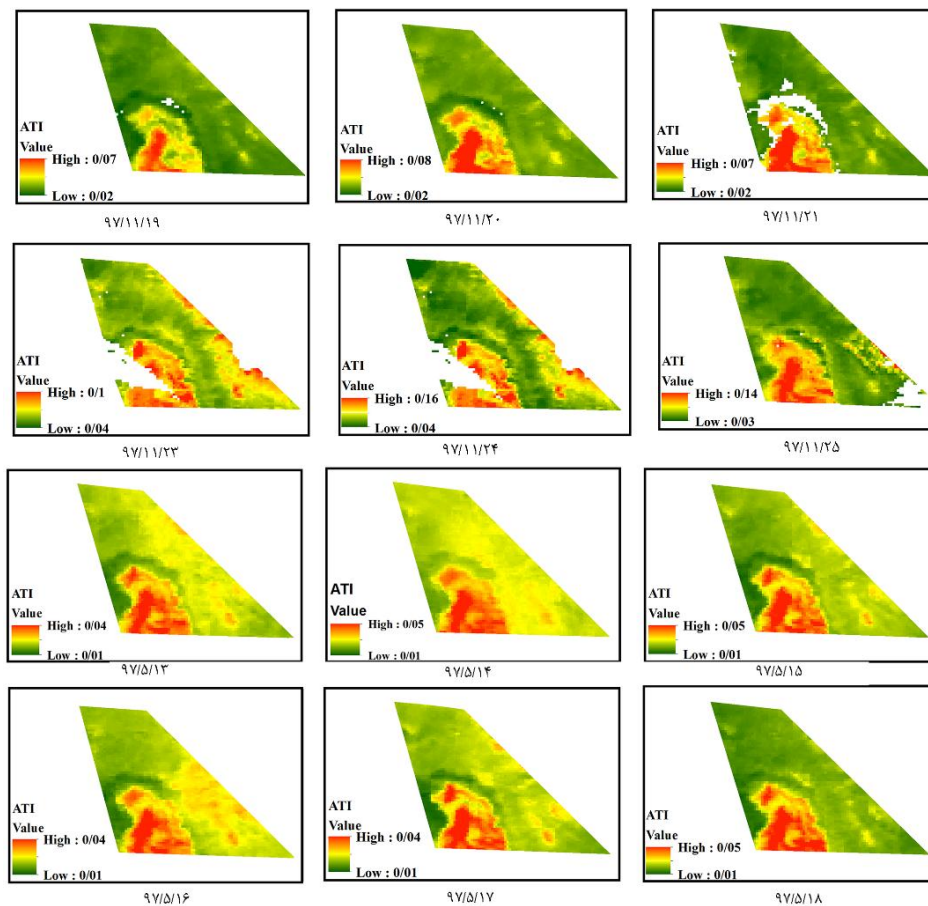
تغییرات رطوبت خاک به شدت بر تعادل انرژی سطح، رواناب منطقه، فرسایش زمین و بهره‌وری از پوشش گیاهی تأثیر می‌گذارد. با توجه به نتایج شاخص رطوبتی به‌دست‌آمده از تصاویر مودیس، میزان تغییرات این شاخص از تاریخ ۱۳۹۷/۱۱/۱۹ تا ۱۳۹۷/۱۱/۲۱ که قبل بارش بوده، حداکثر به ۰/۶ رسیده که در قسمت شرق و جنوب غربی بوده و کمترین میزان رطوبت هم به ۰/۱ رسیده که عمدتاً در بعضی از مناطق شمالی و جنوبی مشاهده می‌شود. شیب نسبتاً کم این مناطق باعث شده میزان رطوبت در این قسمت نسبت به سایر قسمت‌ها بیشتر باشد. در روزهای ۲۳ تا ۲۵ بهمن ۱۳۹۷ که روزهای بعد از بارش می‌باشند همچنین برای دوره خشک یعنی از تاریخ ۱۳۹۷/۰۵/۱۳ تا ۱۳۹۷/۰۵/۱۸ میزان شاخص رطوبتی در اکثر بخش‌های مورد مطالعه پایین است. در روز ۱۳/۰۵/۱۳ بالاترین میزان رطوبت ۰/۳۵ و کمترین آن ۰/۰۲ است که نسبت به روزهای دیگر این دوره شاخص رطوبتی مقدار بیشتری را نشان می‌دهد. روز ۱۷ مرداد ماه یکی از خشک‌ترین و کم رطوبت‌ترین روزهای مورد مطالعه است، چون حداقل تغییرات رطوبتی ۰ و حداکثر آن به ۰/۲ می‌رسد. در هر دو شش‌روز مرطوب سال و شش‌روزه دوره خشک، بیشترین میزان شاخص رطوبتی با توجه به شیب منطقه در قسمت جنوب و جنوب غربی بوده مشاهده می‌شود.

اینرسی حرارت ظاهری که با استفاده از آلبدو و تفاوت دمای شب و روز به دست می‌آید، در شکل (۵)، برای تاریخ‌های مختلف نشان داده شده است. روزهای قبل از بارش (تاریخ ۱۹ تا ۲۱ بهمن‌ماه ۱۳۹۷) حداقل و حداکثر اینرسی به ترتیب ۰/۰۲ تا ۰/۰۸ بوده و در سه روز بعد از بارش (تاریخ ۲۳ تا ۲۵ بهمن‌ماه ۱۳۹۷) اینرسی حرارتی افزایش پیدا کرده است و حداقل و حداکثر اینرسی ۰/۰۲ تا ۰/۱ می‌باشد؛ اما در روزهای دوره خشکی مورد مطالعه، اینرسی به میزان زیادی کاهش را نشان می‌دهد. در روزهای خشکی که بین تاریخ ۱۳ تا ۱۸ مردادماه ۱۳۹۷ بوده، میزان اینرسی حرارتی بین ۰/۰۱ تا ۰/۰۵ می‌باشد که نسبت به دوره قبل از بارش ۰/۰۳ و نسبت به دوره بعد از بارش ۰/۰۵ کاهش را نشان می‌دهد. با توجه به نقشه‌های ارائه شده، این موضوع تأیید می‌شود که با افزایش

قابلیت برآورد رطوبت خاک با استفاده از اینرسی حرارتی و داده‌های ماهواره‌ای مودیس... ۷۱

رطوبت، میزان اینرسی حرارتی ظاهری نیز افزایش پیدا می‌کند. به عبارت دیگر در هر قسمت که رطوبت افزایش پیدا کرده باعث افزایش اینرسی حرارتی ظاهری در آن قسمت شده و عکس همین موضوع نیز صادق است.

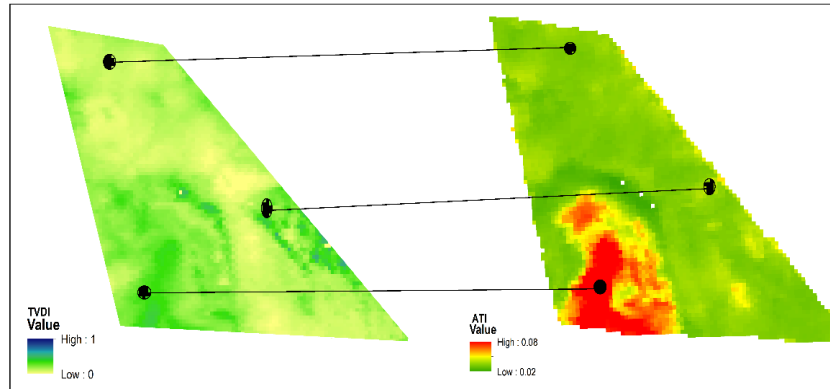
لازم به ذکر است در نتایج شاخص رطوبتی حاصل از روش اینرسی حرارتی ظاهری (ATI^۱) محاسبه شده از تصاویر ماهواره‌ای مناطق سفید رنگ بر ابر دلالت دارد. این مناطق از تصویر ماسک و قبل از محاسبه شاخص حذف شده است.



شکل ۵- نقشه‌های ATI در تاریخ‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه

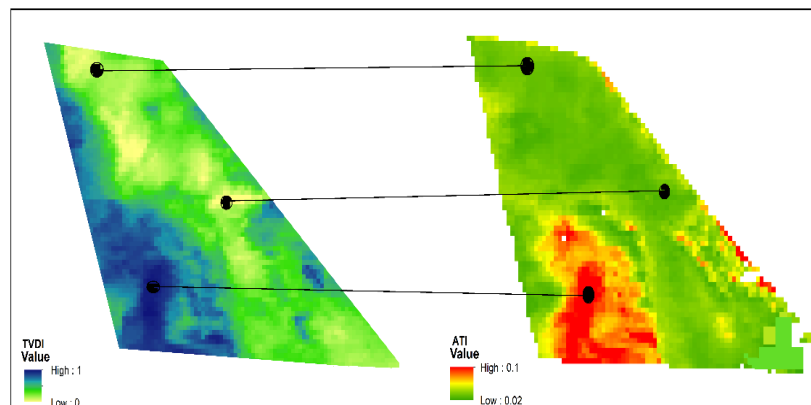
¹ Apparent Thermal Inertia

مقایسه اینرسی حرارتی ظاهری و شاخص رطوبتی TVDI و دمای سطح زمین: در شکل (۶) نتایج حاصل از اینرسی حرارتی ظاهری و شاخص رطوبتی TVDI و دمای سطح زمین برای روز دوم قبل از بارش در تاریخ ۱۳۹۷/۱۱/۲۰ نشان داده شده است.



شکل ۶- نقشه TVDI و ATI ۱۳۹۷/۱۱/۲۰

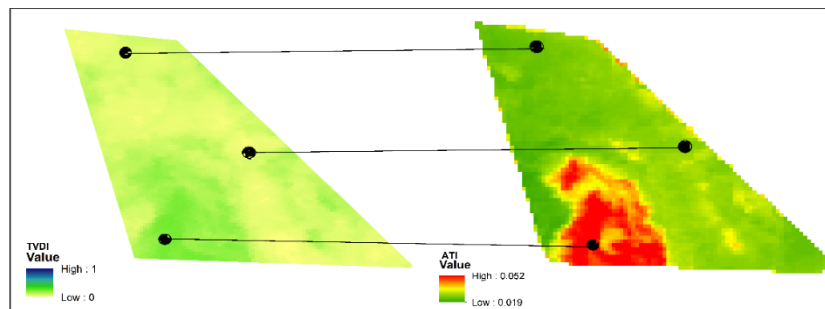
همان‌گونه که در تصاویر نیز مشخص است و با خطوط نمایش داده شده، اینرسی حرارت ظاهری و شاخص رطوبتی TVDI دارای رابطه مستقیم می‌باشند که تغییر در یکی از آنها باعث تغییر مستقیم در دیگری می‌شود. بیشترین مقدار TVDI در جنوب منطقه مورد مطالعه و بعلاوه مجاورت با حاشیه مرطوب کویر ابرکوه است.



شکل ۷- نقشه TVDI و ATI ۱۳۹۷/۱۱/۲۵

شکل (۷)، مربوط به اینرسی حرارت ظاهری و شاخص TVDI در دوره بعد از بارش می‌باشد. همان‌طور که در تصویر نیز مشخص شده است، در بعضی نقاط با افزایش شاخص TVDI، میزان اینرسی نیز افزایش یافته است و با کاهش رطوبت نیز اینرسی کاهش داشته است که بیشترین میزان اینرسی حرارت ظاهری بین ۰/۰۴ تا ۰/۰۵ است و حداکثر آن نیز به ۰/۱ می‌رسد. در این روز نسبت به دوره قبل از بارش میزان اینرسی، افزایش ۰/۰۲ را در بسیاری از مناطق داشته است.

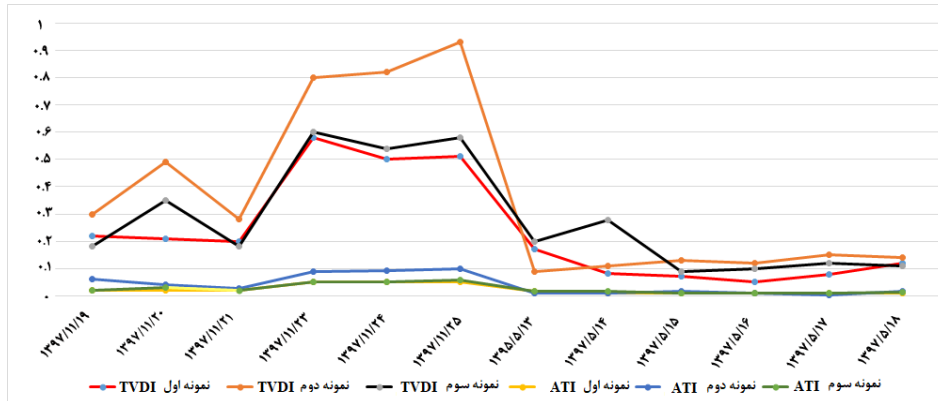
شکل (۸)، مربوط به (اینرسی و رطوبت)، مربوط به تابستان یعنی تاریخ ۱۳۹۷/۰۵/۱۸ می‌باشد.



شکل ۸- نقشه TVDI و ATI ۱۳۹۷/۰۵/۱۸

در شکل (۸)، در سه نقطه شاخص TVDI و اینرسی حرارت ظاهری با هم مقایسه شده‌اند. همان‌طور که از مقایسه نتایج مشخص شده، افزایش رطوبت یا اینرسی حرارتی باعث افزایش دیگری شده است.

نمایش تغییرات رطوبت و اینرسی حرارت ظاهری در نقاط مشخص روی تصویر: شکل (۹)، نمودار میزان تغییرات شاخص رطوبتی TVDI و اینرسی حرارت ظاهری اندازه‌گیری شده را در منطقه مورد مطالعه روی تصاویر نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص نیز هست تغییرات رطوبت و اینرسی به هم وابسته‌اند.



شکل ۹- نمودار میزان رطوبت و اینرسی حرارت ظاهری در نقاط نمونه‌برداری روی

تصویر

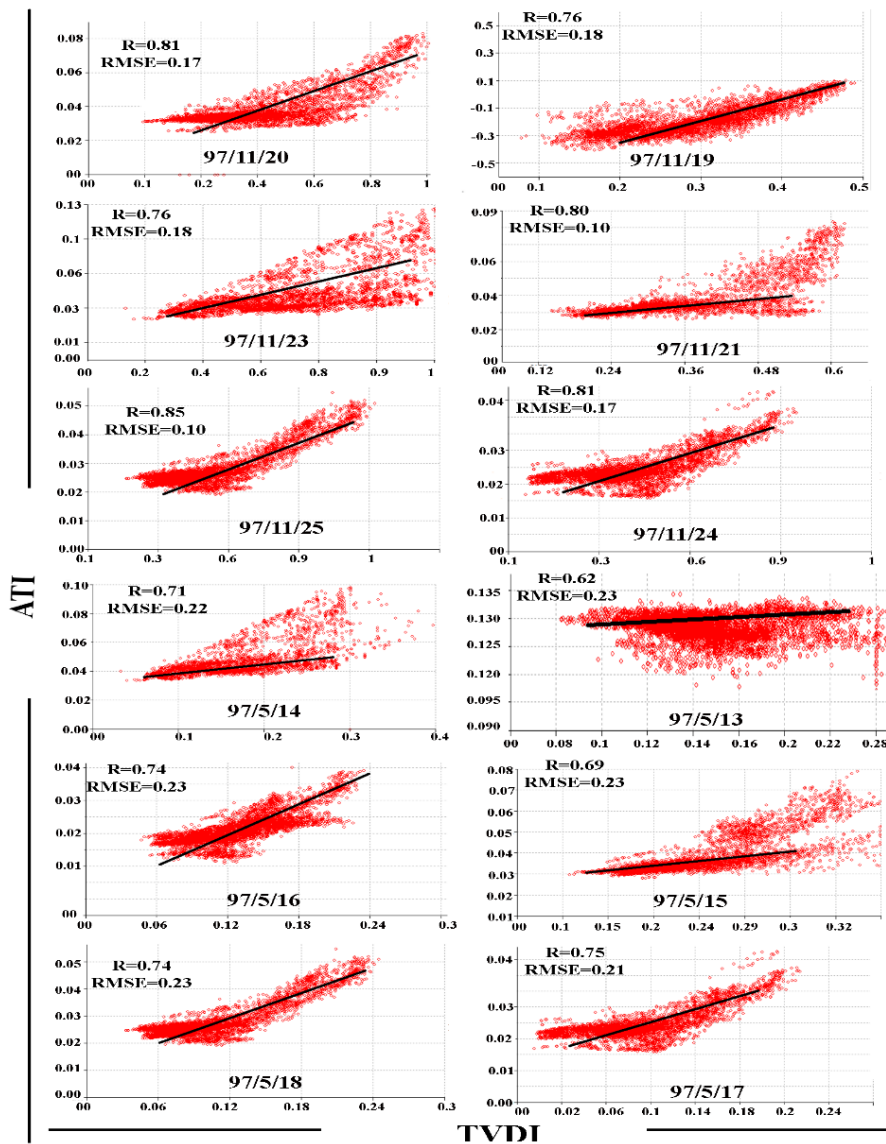
ارزیابی شاخص حاصل از اینرسی حرارت ظاهری:

نمودارهای نشان داده شده در شکل ۱۰ رابطه بین دو شاخص رطوبتی مورد استفاده در این مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودارها این نتیجه حاصل می‌شود که بین شاخص TVDI و شاخص رطوبتی حاصل از روش اینرسی حرارت ظاهری رابطه خطی برقرار است. مقدار حداقل و حداکثر خطا (RMSE) طبق اطلاعات مندرج در این نمودارها به ترتیب ۰/۱ و ۰/۲۳ محاسبه گردیده است.

نتیجه‌گیری

رطوبت خاک یک متغیر بسیار مهم در یک سیستم آب‌وهوا است، زیرا بسیاری از فرایندها را در این سیستم کنترل می‌نماید. همچنین رطوبت خاک ک متغیر بنیادی زیست محیطی به شمار می‌رود که بر زندگی گیاهی، جانوری و میکروارگانیسم‌ها مستقیماً تأثیرگذار بوده و نقش عمده‌ای در تبادلات انرژی بین هوا و خاک دارد. در مطالعه حاضر، به بررسی و تشخیص میزان تغییرات رطوبت در منطقه مرتاضیه که یکی از مناطق استان یزد و در جنوب غربی شهر یزد قرار دارد، پرداخته شده است. برآورد میزان تغییرات مکانی رطوبت با استفاده از دو شاخص TVDI (محاسبه شده از داده‌های حرارتی و شاخص

پوشش گیاهی حاصل از تصاویر ماهواره ای) و اینرسی حرارتی ظاهری (حاصل از تغییرات دمایی سطح زمین در دو زمان مختلف و متغیر آلبدو) استفاده شد.



شکل ۱۰- نمودار TVDI بر حسب ATI در تاریخ‌های مختلف مورد مطالعه

در این پژوهش میزان تغییرات رطوبت سطحی با استفاده از این دو شاخص در دو تاریخ متفاوت که کلاً متشکل از ۱۲ روز که یکی در زمان مرطوب بودن زمین یعنی تاریخ ۱۹ تا ۲۵ بهمن ۱۳۹۷ و دیگری در زمان خشک بودن زمین یعنی تاریخ ۱۳ تا ۱۸ مرداد ۱۳۹۷ بوده، بررسی شده است. نتایج تحقیق حاکی از آن است که با افزایش اینرسی حرارت ظاهری، میزان شاخص رطوبتی TVDI افزایش پیدا می‌کند. در تصاویر مربوط به شاخص های رطوبتی مورد مطالعه، بیشترین میزان رطوبت سطحی در همه‌ی دوره مورد مطالعه مربوط به جنوب غربی بوده است. با توجه به نتایج در سه روز قبل از بارش از تاریخ ۱۹ تا ۲۱ بهمن‌ماه ۱۳۹۷، میزان حداکثر تغییرات رطوبت به ۰/۵ می‌رسد؛ اما در سه روز بعد از بارش، رطوبت به میزان زیادی افزایش پیدا کرده تا حدی که در بعضی مناطق به نزدیک ۱ می‌رسد. در این سه روز حداقل رطوبت ۰/۲ بوده است. این افزایش رطوبت که ناشی از بارندگی است. در شش روز دوره تابستان میزان تغییرات رطوبت سطحی نسبت به دوره قبل و بعد از بارش (زمستان) کاهش چشمگیری را نشان می‌دهد و با توجه به نتایج مربوط به اینرسی حرارت ظاهری در سه روز قبل از بارش، میزان اینرسی بین ۰/۰۲ تا ۰/۰۷ بوده است. در این دوره نیز بیشترین میزان اینرسی با بیشترین میزان رطوبت هم‌خوانی دارد. میزان اینرسی حرارت ظاهری در سه روز بعد از بارش نسبت به سه روز قبل از بارش ۰/۰۳ افزایش را نشان می‌دهد. میزان اینرسی با توجه به میزان بارندگی و دما نیز کاهش یافته و میزان رطوبت سطحی زیاد می‌گردد. میزان اینرسی حرارت ظاهری در این دوره بین ۰/۰۴ تا ۰/۱۵ بوده است.

در شش روز دیگر یعنی ۱۳ تا ۱۸ مرداد ۱۳۹۷ که میزان رطوبت پایین و دما بالا است، اینرسی حرارت ظاهری نیز پایین می‌باشد. در این دوره میزان اینرسی حرارت ظاهری بین ۰/۰۱ تا ۰/۰۴ و تا حداکثر ۰/۰۵۲ بوده است. در این دوره بخصوص روز ۱۸ مردادماه، میزان اینرسی در اکثر نقاط به حد ۰ تا ۰/۰۱ می‌رسد. در مجموع می‌توان گفت روند تغییرات شاخص TVDI و اینرسی حرارت ظاهری مشابه بوده و در مناطقی که هر یک از این شاخص‌ها کاهش و افزایش مقادیر را داشته‌اند دیگری نیز به همان

نسبت تغییرات را نشان می‌دهد. اگرچه در تحقیقات گذشته نیز روش اینرسی حرارتی را روش نسبتاً مناسبی برای تخمین رطوبت سطحی خاک می‌دانند با این حال عواملی مانند وجود پوشش گیاهی و زبری خاک ممکن است باعث کاهش دقت محاسبه‌ی رطوبت خاک از طریق داده‌های سنجش از دوری شود (محمود انزابی و همکاران، ۱۳۹۴).

منابع

- Bastiaanssen, W., Menenti, M., Feddes, R., Holtslag, A. (1998). A Remote Sensing surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL). 1. Formulation. *Journal of hydrology*, 212: 198-212.
- Babaian, A., Homayi, M., Noorvarzi, A. (2013). Estimation of surface soil moisture using ENVISAT / ASAR images. *Iranian Journal of Water Research in Agriculture*, 27(4): 611-622. (In Farsi).
- Dash, P., Göttsche, F. M., Olesen, F. S., Fischer, H. (2002). Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: Theory and practice-current trends. *International Journal of remote sensing*, 23(13), 2563-2594.
- Faizizadeh, B., Dideban, Kh., Gholamnia, Kh. (2015). Estimation of Earth's surface temperature using Landsat 8 satellite images and separate window algorithm Case study: Mahabad catchment area. *Scientific-Research quarterly of Geographical Data (Sepehr)*, 25(98): 171-181 (In Farsi).
- Kogan, F. N. (1997). Global drought watch from space. *The Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(4): 621-636.
- Keshavarz, M. Vazifah Doust, M. Alizadeh, A. Asadi, A. (2011). Soil Moisture Routing Using Moderate Spatial Resolution of MODIS Satellite Data A case Study: Esfahan Province, *Iranian Irrigation and Drainage Journal*, 5(2): 209-219 (In Farsi).
- Long, D., Singh, V.P. (2012). A Two-source trapezoid model for evapotranspiration (TTME) from satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 121: 370-388.
- Linde, N., Chen, J., Kowalsky, M.B., Hubbard, S. (2006) Hydrogeophysical Parameter Estimation Approaches For Field Scale Characterization. In: Vereecken H., Binley A., Cassiani G., Revil A., Titov K. (eds) *Applied Hydrogeophysics*. NATO Science Series, vol 71. Springer, Dordrecht.
- Liang, S. (1999). Retrieval of Land Surface Albedo from Satellite Observations: A Simulation Study, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 38, 712-725.

- Mahmoudi Anzabi, A., Ghazizadeh Hashemi, S., Jalilvand, A., Daneshkar Arasteh, p. (2015). A study of the efficiency of the apparent thermal inertia method in estimating surface soil moisture using images of MODIS sensors. The 10th International Congress of Civil Engineering. Tabriz University (In Farsi).
- Nowruzi Aghdam, A., Karami, (2010). Using remote sensing technology in monitoring and evaluating irrigation and drainage networks in operation. The 12th conference of the National Committee for Irrigation and Drainage of Iran, pp 16 (In Farsi).
- Price, J.C. (1990). Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 28: 940-948.
- Rezaei, Y., (2014). Estimating soil moisture using a combination of thermal images and vegetation index. Third National Conference on Sustainable Rural Development (In Farsi).
- Rahimzadeh B.P, Berg, A.A., Chmapagne, C., Omasa, k. (2013). Estimation of soil moisture using optical thermal infrared remote sensing in the Canadian prairies. *ISPRS Journal of photogrammetry and Remote Sensing*, 83: 94-103.
- Sobrino, J. A., Jimenez-Munoz, J. C., Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of environment*, 90(4), 434-440.
- Salehzadeh, O., kheirkhah Zarkesh, M., Germzcheshmeh, B., zahedi, S. (2018). Estimation of soil surface moisture using LST of Landsat 8 satellite images (Gave-Darreh Basin, Sanandaj) 3th National Conference on Soil Conservation and Watershed Management (In Farsi).
- Sabzevari, A. Akhoond Ali, A. Radmanesh, F. (2015). Modeling of different levels of surface soil moisture in the range of thermal and reflective data. *Quantitative geomorphological research*. (4)3:49-31 (In Farsi).
- Tagesson, T., Horion, S., Nieto, H., Fornies, V. Z., González, G. M., Bulgin, C. E., Fensholt, R. (2018). Disaggregation of SMOS soil moisture over West Africa using the Temperature and Vegetation Dryness Index based on SEVIRI land surface parameters. *Remote Sensing of Environment*, 206: 424-441.
- Wood, E.F. (1997). Effects of soil moisture aggregation on surface evaporative fluxes. *Journal of Hydrology*, 190: 397–412.
- Wang. H., Li, X., Long, H., Xu. X., Bao, Y. (2010). Monitoring the effects of land use and cover type changes on soil moisture using remote sensing data: A case study in China's Yongding River basin. *CATENA*, 82(3): 135-145.

- 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.
- Weng, Q., Lu, D., Liang, B. (2006). Urban surface biophysical descriptors and land surface temperature variations. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(11), 1275-1286.
- Zhao, S. Yang, Y., Qiu, G., Qin, Q., Yao, Y., Xiong, Y., Li, C. (2010). Remote detection of bare soil moisture using a surface-temperature- based soil evaporation transfer co efficient. *International Journal of Applied Earth observation and Geoinformation*, 12(5)351-358.

Estimation of the soil moisture using thermal inertia and MODIS satellite data imagery: A case study of Mortazieh area

Mehdi Abutalebi Nasrabadi, Master student of Soil Resources Management, Department of Arid Land and Desert Management, Yazd University

Mohammad Hossein Mokhtari¹, Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Department of Arid Land and Desert Management, Yazd University

Mohammad Ali Hakimzadeh, Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Arid Land and Desert Management, Yazd University

Salah Shahmoradi, MSc Student in Geographic Information Systems and Remote Sensing, Yazd University

Received: 10-01-2020

Accepted: 02-06-2020

Abstract

Soil moisture controls many processes in the climate and is considered as a very important variable in the ecosystem and a basic parameter of the environment. It directly influences the life of plants, animals and microorganisms and plays a major role in the energy exchange between air and soil. The purpose of this study is to estimate the surface moisture of soil using the temperature indicators of the earth surface and the inertia of apparent heat. Therefore, MODIS images were used in Mortazieh area of Yazd province in two different time periods, one from Feb, 8, 2018 to Feb, 14, 2018 and the other in the summer from July, 4, 2018 to July, 9, 2018. Also, the temperature-vegetation drought index, mostly used in previous research on soil moisture was applied to evaluate results. The apparent thermal inertia was obtained from images of morning and evening modes from Terra and Aqua satellites. A linear relationship was established between the temperature-vegetation drought index and the apparent heat inertia on specific days. The RMSE and R² were found to be 0.15 and 0.86 on July, 7, 2018 and 0.18 and 0.76 on Feb, 9, 2018 respectively. The overall results showed a linear and direct relationship between the apparent thermal inertia and the TVDI surface moisture index.

Keywords: Land Surface Temperature (LST), Normalized Differential Vegetation Index (NDVI), Soil moisture, Apparent thermal inertia, Mortazieh area.

¹ Corresponding Author Email: mh.mokhtari@yazd.ac.ir