



شاپا چاپی: ۲۲۵۱-۷۴۸۰  
شاپا الکترونیکی: ۲۲۵۰-۷۴۰۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:

<https://wsrj.srbiau.ac.ir>

پست الکترونیک:

[iauwsrcj@srbiau.ac.ir](mailto:iauwsrcj@srbiau.ac.ir)

[iauwsrcj@gmail.com](mailto:iauwsrcj@gmail.com)

سال یازدهم

شماره چهار

تابستان ۱۴۰۱

تاریخ دریافت:

۱۴۰۰/۰۸/۲۹

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۱/۰۲/۰۱

صفحات: ۱۰۳-۸۹

## بررسی رطوبت سطح خاک شهرستان اردبیل با استفاده داده‌های ماهواره‌ای لندست ۸ و سنتینل ۱

صیاد اصغری سراسکانرود<sup>۱\*</sup>، فریا اسفندیاری درآباد<sup>۲</sup>، الهام ملانوری<sup>۳</sup> و شیوا صفری<sup>۴</sup>

(۱) استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.  
(۲) استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.  
(۳) دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه محقق اردبیلی اردبیل، ایران.  
(۴) دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه محقق اردبیلی اردبیل، ایران.  
\* ایمیل نویسنده مسئول: s.asghari@uma.ac.ir

### چکیده:

**زمینه و هدف:** رطوبت سطحی خاک، متغیری مهم در چرخه آبی طبیعت بوده و می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله دما و مشخصات خاک قرار گیرد. استفاده از سنسورهای زمین برای اندازه‌گیری رطوبت خاک منجر به صرف زمان و توزیع نامناسب نمونه‌ها در مقیاس‌های بزرگ شود بنابراین سنجش‌ازدوری می‌تواند ابزار مهمی در برآورد رطوبت خاک باشد. هدف پژوهش حاضر استفاده از مدل TOTRAM با استفاده از تصاویر لندست ۸ و روش SVR با استفاده از تصاویر سنتینل ۱ برای برآورد رطوبت خاک می‌باشد.

**روش پژوهش:** شهرستان اردبیل به‌عنوان مرکز استان اردبیل در شمال غرب کشور واقع است. در مطالعه حاضر برای استخراج رطوبت خاک از دو روش TOTRAM بر مبنای توزیع پیکسل در فضای LST-VI و روش SVR با استفاده از تکنیک SAR و داده سنتینل ۱ استفاده شده است. جهت پیاده‌سازی روش TOTRAM تصاویر لندست ۸ مرتبط با تاریخ‌های ۱۳۹۸/۰۵/۳۰ و ۱۳۹۸/۰۴/۲۹ و ۱۳۹۸/۰۵/۳۰ دانلود و پس از استخراج نقشه‌های NDVI و LST، اقدام به بررسی همبستگی بین متغیر وابسته رطوبت و متغیرهای مستقل دما و پوشش گیاهی با استفاده از رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی (GWR) شده است. برای اجرای روش SVR پس از دستیابی به تصاویر سنتینل ۱ مربوط به تاریخ‌های ۱۳۹۸/۰۵/۳۱ و ۱۳۹۸/۰۴/۲۷، داده‌های رطوبت خاک محصول FLDAS و محصول ۵۰۰ متری سالانه ماهواره مودیس (MCD12Q1) جهت طبقه‌بندی پوشش اراضی در سامانه Google Earth engine فراخوانی شدند و نقشه‌های مرتبط با رطوبت خاک استخراج شد. پس از استخراج نقشه‌های رطوبت نحوه‌ی توزیع رطوبت با استفاده از شاخص محلی موران بررسی شده است. بر طبق تعریف این شاخص مقادیر مثبت یک برای این شاخص نشان دهنده‌ی خوشه‌ای بودن توزیع خواهد بود.

**یافته‌ها:** بررسی نقشه رطوبت حاصل از روش SVR تمرکز رطوبت در مناطقی با حضور پوشش گیاهی و آب را نشان داد و تغییر وضعیت رطوبت از تیر به مرداد قابل مشاهده بوده است. الگوی رطوبت انعکاس الگوی بارشی را نشان داده است به‌طوری‌که حداکثر بارش و رطوبت در فروردین بوده و در تابستان هر دو مؤلفه‌ی بارش و رطوبت کاهش داشته‌اند. بررسی روش TOTRAM و اعمال روش GWR همبستگی کامل NDVI-LST و رطوبت را نشان داد. البته همبستگی بین LST و رطوبت با مقادیر (بتا) B و خطای استاندارد (SE) ۰/۹۹۵ و صفر متناسب با مرداد و ۰/۹۸۱ و صفر متناسب با تیرماه بیشترین همبستگی را نسبت به متغیر پوشش گیاهی با پارامتر وابسته‌ی رطوبت نشان داده است که این همبستگی در مرداد ماه با افزایش مقدار ضریب تعیین  $R^2$  به ۰/۹۹۷ و کاهش معنی‌داری NDVI به مقدار ۰/۴۱۵ در تیرماه به‌مراتب بیشتر شده است. اعمال شاخص محلی موران با مقادیر کمتر از ۰/۰۵ برای p-value و مقادیر مثبت Z و عدد نزدیک مثبت یک برای شاخص موران خوشه‌ای بودن توزیع رطوبت را نشان داده است.

**نتایج:** بررسی نتایج روش‌های TOTRAM و SVR وابستگی وضعیت رطوبت خاک به شرایط و خوشه‌ای بودن توزیع رطوبت را نشان داد. با توجه به ضرایب همبستگی حاصل از رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی همبستگی بیشتری بین متغیر دما و رطوبت به‌ویژه در مرداد ماه به دلیل کاهش تراکم پوشش گیاهی مشاهده شده است. بررسی نقشه‌های الگوریتم SVR نشان داد در مناطقی با حضور پوشش گیاهی و بخصوص تراکم آن شاهد افزایش و با افزایش دما شاهد کاهش رطوبت هستیم. همچنین هماهنگی الگوی‌های رطوبت الگوریتم SVR و بارش رابطه مستقیم بین رطوبت و بارش را نشان داد. با توجه به اینکه روش SVR از تصاویر سنتینل ۱ و پارامترهایی نظیر شدت پراکنش رادار و طبقه‌بندی پوشش اراضی استفاده می‌کند می‌توان انتظار نتایج دقیق‌تری از این الگوریتم داشت.

**کلیدواژه‌ها:** دمای سطح زمین، رگرسیون بردارپشتیبان، شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی، TOTRAM



دیافراگم مصنوعی (SAR) که یک سنجنده راه دور فعال بوده و قادر به تصویربرداری در هر شرایط آب و هوایی و بدون منبع روشنایی بیرونی است پرکاربردترین تکنیک برای تخمین محتوای رطوبت خاک می‌باشد. (Amani, Mobasheri and 2016). یکی از روش‌های تخمین رطوبت خاک در حوزه مرئی مادون قرمز نزدیک و حرارتی روش تشکیل فضای مثلث است. ارتباط بین رطوبت خاک و دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی به مثلث جهانی معروف است. مدل دیگری که برای برآورد رطوبت خاک وجود دارد روش ذوزنقه‌ای مطرح شده توسط Carlson و همکاران (۱۹۹۴) می‌باشد (Hosseini Chamani et al., 2019). بهبهانی و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی به تخمین رطوبت سطحی خاک مودیس در مراتع خشک و نیمه‌خشک پرداخته‌اند. این محققین از تصاویر سنجنده‌ی مودیس و شاخص پوشش گیاهی NDVI در مطالعه خود استفاده کرده و به رابطه معنی‌دار شاخص NDVI و رطوبت لایه سطحی خاک اشاره کرده‌اند. همچنین آن‌ها کارایی پارامترهای هواشناسی باد و تبخیر تجمعی را جهت ارائه مدل‌های تخمین رطوبت لایه سطحی خاک را مطرح کرده‌اند. در مطالعه‌ی خانمحمدی و همکاران (۲۰۱۵) در زمینه برآورد رطوبت خاک به کمک شاخص‌های پوشش گیاهی و دمای سطح خاک در منطقه ورامین تحقیقاتی انجام داده‌اند. در این مطالعه برای رسیدن به اهداف تحقیق مقادیر رطوبت خاک با استفاده از TDR<sup>۱</sup> برای عمق ۰-۱۵ سانتی‌متر، هم‌زمان با فصل رشد ذرت اندازه‌گیری شده است. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که بین مقادیر رطوبت خاک سطحی با شاخص‌های LST و NDMI، NDVI همبستگی مناسب ۰.۶۶٪ وجود دارد. در پژوهشی ادب (۲۰۱۷) در زمینه برآورد رطوبت لحظه‌ای سطح خاک در فصل سرد با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و همچنین رطوبت وزنی ۱۴ نمونه خاک در شرایط بدون ابرناکی مطالعاتی انجام داده است. این پژوهشگر از مشاهدات آزمایشگاهی و شاخص‌های

رطوبت سطحی خاک (عمق پنج سانتی‌متری خاک) وظیفه‌ی تقسیم بارندگی به رواناب و نفوذ را داشته و در نتیجه در انباشت آب تأثیرگذار است و به‌عنوان عامل مهمی در چرخه آبی طبیعت و کنترل تبادل انرژی آب و گرما بین سطح زمین و جو از طریق فرآیند تبخیر و تعرق عمل می‌کند (Shafian et al., 2015). (Prashant et al., 2016) به نقل از (Srivastava et al., 2013). به‌طورکلی رطوبت خاک مقدار آب ذخیره شده در ذرات خاک است و تحت تأثیر عواملی مانند بارش، دما و سایر مشخصات خاک می‌باشد (Pandey et al., 2020). تلاش‌هایی برای اندازه‌گیری مقدار رطوبت موجود در سطح خاک با استفاده از دستگاه‌ها و سنجنده‌های زمینی و به‌صورت نقطه‌ای و محدود انجام گرفته است که این روش‌ها علیرغم دقت بالا در مقیاس محلی، دارای معایبی مانند صرف وقت و هزینه زیاد نمونه‌گیری در مقیاس منطقه‌ای است، از این‌رو روش‌های زمینی سنجنش رطوبت خاک با توجه به تغییرات مکانی و زمانی زیاد متغیر رطوبت، توانایی اندازه‌گیری دقیق رطوبت سطح خاک را به نحو مطلوب در مقیاس‌های بزرگ‌تر از مزرعه نداشته و همچنین نیاز به تجهیزات آزمایشگاهی مجهز دارند بنابراین پایش رطوبت سطح خاک در منطقه بزرگ و در سطح حوضه تنها متکی به اندازه‌گیری‌های سنجنش‌ازدوری می‌باشد (Prashant et al., 2016) (Adab et al., 2017) (Koochi et al., 2019). برآورد رطوبت خاک مبتنی بر سنجنش‌ازدور بر اساس مقدار انرژی حاصل از جذب یا انعکاس رسیده به سنجنده، می‌باشد. ویژگی‌هایی که می‌تواند بر این انرژی تأثیر بگذارد عبارتند از: محتوای آب، خصوصیات دی‌الکتریک، زبری سطح، بافت خاک و ... (Pandey et al., 2020) روش‌های سنجنش‌ازدور برای محاسبه رطوبت خاک می‌توانند با توجه به محدوده طیف الکترومغناطیسی، حسگرهای نوری (قابل مشاهده و مادون قرمز)، حرارتی و میکروویو (سنجنش‌ازدور فعال) طبقه‌بندی شوند (Casamitjana et al., 2020). رادار

<sup>2</sup>Time Domain Reflectometry

سنتینل ۱ نسبت به تصویر سنتینل ۲ در تخمین رطوبت حجمی سطح خاک بوده است. باقری و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی به منظور برآورد رطوبت خاک در اراضی جنوب تهران با نمونه‌برداری زمینی از ۱۲۸ نقطه و با استفاده از تصاویر لندست ۸ و تصاویر سنتینل ۱ مطالعاتی انجام داده‌اند. نتایج این محققین نشان داده است که فناوری‌های سنجنش‌ازدور می‌تواند نقش مؤثری در تعیین رطوبت سطحی خاک ایفا کنند. در پژوهشی فتح‌العلومی و همکاران (۲۰۲۰) مطالعاتی در مورد مدل‌سازی تأثیر خصوصیات بیوفیزیکی و توپوگرافی سطح بر توزیع مکانی رطوبت خاک در تابستان با استفاده از تصاویر لندست ۸ و مدل رقومی SRTM در حوضه آبخیز بالخلی چای انجام داده‌اند. این محققین از روش مثلثی جهت برآورد رطوبت خاک استفاده کرده‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که از مدل مثلثی می‌توان برای بررسی توزیع مکانی رطوبت خاک با استفاده از خصوصیات بیوفیزیکی و توپوگرافی سطح بهره گرفت. گرینفندر<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۸) مطالعاتی در حوضه تشخیص ناهنجاری‌های رطوبت خاک در منطقه آفریقا انجام داده‌اند در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-1 و رطوبت خاک به‌دست آمده از سیستم جهانی جذب داده زمین (GLDAS) و الگوریتم SVR استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که روش پیشنهادی محاسبه میانگین SMC (محتوای رطوبت خاک) را به‌خوبی فراهم می‌کند به‌طوری‌که RMSE برآورد شده برای تصاویر سنتینل ۱ حدود ۷ درصد است. در پژوهشی آمبرسون<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۲۰) برای بازیابی رطوبت خاک در مزارع دیم و آبیاری مناطق ایتالیا مطالعاتی انجام داده‌اند. در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ با استفاده از مدل ذوزنقه نوری (OPTRAM) رطوبت خاک منطقه برآورد شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تخمین‌های OPTRAM نزدیک به مقادیر اندازه‌گیری زمینی هستند. سیوتریا<sup>۴</sup> و

بیو- فیزیکی و پوشش گیاهی مختلف جهت برآورد رطوبت خاک استفاده کرده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد مدل کردن رطوبت لحظه‌ای خاک با استفاده از اندازه‌گیری‌های زمینی و داده‌های ماهواره لندست ۸ در مناطق فاقد ایستگاه هواشناسی کشاورزی قابل انجام است. در پژوهشی دیگر یوسف‌زاده و همکاران (۲۰۱۹) به‌منظور برآورد رطوبت خاک در حوزه سیمینه مطالعاتی انجام داده‌اند. آن‌ها در مطالعه خود از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و مدل سنتی ذوزنقه‌ای حرارتی-مرئی<sup>۱</sup> و مدل جدید ذوزنقه‌ای مرئی جهت استخراج رطوبت خاک استفاده کرده‌اند. طبق نتایج این محققین مدل STR-VI در محدوده‌ی طول موج مرئی نسبت به LST-VI در محدوده‌ی طول موج حرارتی، می‌تواند برآورد دقیق‌تری از رطوبت خاک در نواحی فاقد داده‌های کنترل زمینی داشته باشد. در مطالعه‌ای کوهی و همکاران (۲۰۱۹) جهت مدل‌سازی جریان خروجی حوضه‌های آبریز از پارامتر رطوبت سطحی خاک استفاده کرده‌اند. این محققین در مطالعه‌ی خود از داده‌های ماهواره‌ای ASCAT به‌صورت روزانه و ماهانه جهت واسنجی مدل هیدرولوژیکی VIC-3L استفاده کرده‌اند. طبق نتایج آن‌ها، خطای مدل در شبیه‌سازی ماهانه رواناب خروجی از حوضه نسبت به محاسبه روزانه پایین بوده و عملکردی بهتری در گام زمانی ماهانه نشان داده است. در پژوهشی رنجبر و آخوندزاده (۲۰۱۹) برای برآورد رطوبت سطح خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۱ و ۲ مطالعاتی انجام داده‌اند در این پژوهش رطوبت حجمی سطح خاک، با استفاده از دو روش شبکه عصبی مصنوعی چندلایه پرسپترون (MLP-ANN) و رگرسیون بردار پشتیبان (SVR) برآورد شده است. نتایج این تحقیق نشان داده است که دقت روش رگرسیون بردار پشتیبان (SVR) از روش شبکه عصبی مصنوعی چندلایه پرسپترون (MLP-ANN) برای برآورد رطوبت حجمی سطح خاک برای هر دو تصویر سنتینل ۱ و سنتینل ۲ بهتر است. از نتایج دیگر این محققین دقت بالای تصویر

<sup>2</sup> Greifeneder

<sup>3</sup> Ambrosone

<sup>4</sup> Sutariya

<sup>3</sup>TOTRAM

ایران و استان بین پنج تا هشت ماه از سال سرد است. معمولاً بارندگی‌ها در تمام فصول سال در منطقه دیده می‌شود ولی شدت و نوع بارندگی‌ها در فصول مختلف متفاوت می‌باشد. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را در کشور نشان می‌دهد. با توجه به مقیاس منطقه مورد مطالعه جهت اندازه‌گیری SMC در مطالعه حاضر از تکنیک‌های سنجش‌ازدوری استفاده شده است. برای استخراج رطوبت خاک به روش نوری و حرارتی (TOTRAM) تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ مربوط به گذر ۱۶۷ و ردیف ۳۳ مطابق با تاریخ‌های ۱۳۹۸/۴/۲۹ و ۱۳۹۸/۰۵/۳۰ تهیه شد. تصاویر اخذ شده پس از حصول اطمینان از عدم وجود خطاهای رایج، در نرم‌افزار ENVI 5.3، بر اساس محدوده مورد مطالعه برش داده شد. سپس تصحیحات اتمسفری با محاسبه مقدار رادیانس و اعمال روش FLAASH<sup>۱</sup> بر روی آنها انجام گرفت. برای محاسبه رطوبت خاک با استفاده از روش SVR تصاویر SAR سنتیل ۱ فعال در محدوده مایکروویو منطقه مورد مطالعه مربوط به تاریخ‌های ۱۳۹۸/۰۵/۳۱ و ۱۳۹۸/۰۴/۲۷ تهیه گردید. در ادامه داده‌های رطوبت خاک ماهواره FLDAS از تاریخ ۱۳۹۸/۴/۲۹ تا ۱۳۹۸/۰۵/۳۰ فراخوانی شدند. مجموعه داده FLDAS شامل اطلاعات ماهانه در رابطه با متغیرهای آب و هوا، از جمله میزان رطوبت، تبخیر و تعرق غیره می‌باشد (McNally et al., 2017). این پروداکت چهار باند در رابطه با رطوبت خاک با واحد میلی‌متر در هر مترمکعب را شامل می‌شود که در مطالعه حاضر از باند حاوی مقادیر ۱۰-۰ میلی‌متر در هر متر مکعب استفاده شده است. همچنین برای بررسی همبستگی رطوبت حاصل از روش TOTRAM با متغیرهای LST و NDVI از رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی<sup>۲</sup> (GWR) و از داده‌های بارشی نیز جهت بررسی نتایج الگوریتم SVR استفاده شده است. شکل ۲ روند کلی پژوهش را نشان می‌دهد.

همکاران (۲۰۲۱) جهت تخمین رطوبت خاک در منطقه‌ای در هندوستان مطالعاتی انجام داده‌اند. در این مطالعه از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای سنتیل ۱ و لندست ۸ و ۷۰ نمونه خاک برای آزمایش استفاده کرده‌اند. در این پژوهش دمای سطح زمین (LST) با استفاده از تصاویر لندست ۸ برآورد و رطوبت خاک در نرم‌افزار SNAP با تصاویر راداری سنتیل ۱ در دو پلارازسیون VV و VH برآورد شده است. این محققین محصول SAR تصاویر Sentinel-1A را جهت تخمین رطوبت خاک در مقیاس منطقه‌ای مفید دانسته و قطبش VV را نسبت به قطبش VH حساس‌تر به محتوای رطوبت خاک دانسته‌اند.

با توجه به مطالب بیان شده و پیشینه پژوهش، هدف از این پژوهش استفاده از روش نوری حرارتی (TOTRAM) با استفاده از تصاویر لندست ۸ و روش SVR مبتنی بر یادگیری ماشین با استفاده از تصاویر سنتیل ۱ برای برآورد رطوبت خاک در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. استفاده از دو تکنیک به‌طور همزمان با تصاویر ماهواره‌ای متفاوت و بررسی نتایج حاصل و ارزیابی آن‌ها را می‌توان به‌عنوان نوآوری مطالعه حاضر در نظر گرفت.

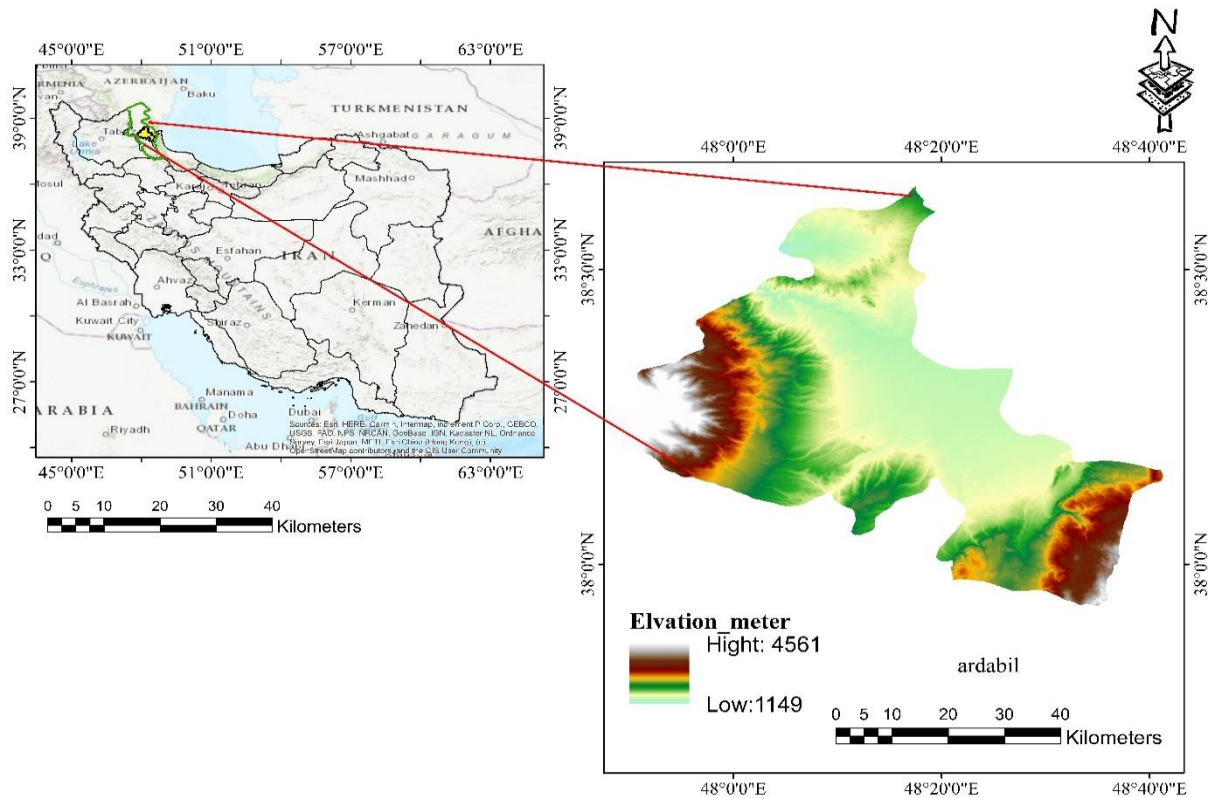
## مواد روش

### منطقه مورد مطالعه

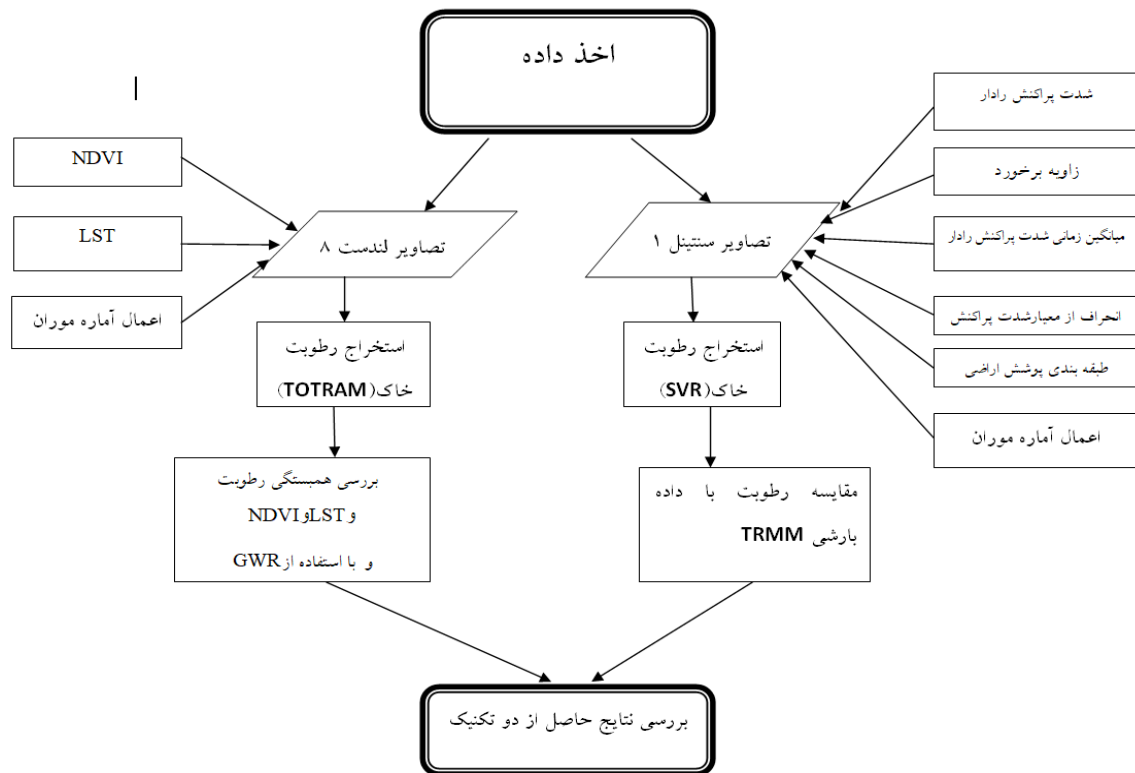
شهرستان اردبیل یکی از کلان شهرهای ایران و مرکز استان اردبیل در شمال غرب کشور واقع شده است. از نظر موقعیت جغرافیایی در ۹۲ درجه و ۱۲ دقیقه طول جغرافیایی و ۲۲ درجه و ۱۵ دقیقه عرض جغرافیایی قرار گرفته است و وسعت این شهرستان ۳۸۱۰ کیلومترمربع است. اردبیل در ۲۱۹ کیلومتری تبریز و ۵۷۸ کیلومتری تهران واقع شده است. شهر اردبیل در میان دشتی با همین نام در ارتفاع ۱۳۵۰ متری از سطح دریا و در شمال غرب فلات ایران جای گرفته است. اردبیل با واقع شدن در دامنه کوه مرتفع سبلان با ارتفاع ۴۷۸۶ متر دارای چهار اقلیم مدیترانه‌ای گرم، مدیترانه‌ای معتدل، کوهستانی سرد و معتدل است. این شهرستان به‌عنوان یکی از مناطق سردسیر

<sup>۱</sup> Fast Line-of-Sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH)

<sup>۲</sup> Geographically weighted regression



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. روند کلی پژوهش

## مدل دوزنقه‌ای نوری حرارتی سستی (TOTRAM)

محاسبه دمای سطح زمین در تصاویر ماهواره‌ای مختلف با توجه به باندهای حرارتی با یکدیگر متفاوت است. در تصاویر لندست ۸ باندهای ۱۰ و ۱۱ به‌عنوان باند حرارتی تعریف شده و برای برآورد دمای سطح زمین قابل استفاده هستند. در مطالعه حاضر برای استخراج نقشه دما از الگوریتم پنجره مجزا استفاده شده است. این الگوریتم از جمله روش‌های مهم با دقت بالا در برآورد دمای سطح زمین به حساب می‌آید و بر اساس تفاوت رفتار جذب اتمسفری در محدوده ۱۰-۱۲،۵ میکرومتر عمل می‌کند. با توجه به در دسترس نبودن یک پایگاه داده برای اندازه‌گیری‌های LST با لندست ۸ ضرایب C از طریق شبیه‌سازی با اعداد مختلف از شرایط اتمسفر و سطح به دست آمد. جدول ۱ این ضرایب را نشان می‌دهد این الگوریتم با استفاده از رابطه ۵ محاسبه می‌شود (Feizizadeh et al., 2016).

$$LST = TB_{10} + C1(TB_{10} - TB_{11}) + C2(TB_{10} - TB_{11})^2 + C0 + (C3 + C4W)(1 - m) + (C5 + C6W)\Delta m \quad (5)$$

در این رابطه  $TB_{10}$ ،  $TB_{11}$  دمای روشنایی، ضرایب C که در جدول ۱ ارائه شده است، W مقدار بخار آب موجود و  $\Delta m$  اختلاف بین گسیلمندی سطح می‌باشند.

جدول ۱. ضرایب الگوریتم split window

ضرایب ثابت	ارزش‌ها
C0	-۰/۲۶۸
C1	۱/۳۷۸
C2	۰/۱۸۳
C3	۵۴/۳۰۰
C4	-۲/۲۳۸
C5	-۱۲۹/۲۰۰
C6	۱۶/۴۰۰

پس از محاسبه دمای سطح زمین و تراکم پوشش گیاهی، رطوبت خاک با استفاده از رابطه ۶ به روش مدل دوزنقه‌ای نوری حرارتی سستی محاسبه می‌شود:

$$TOTRAM = \frac{i_d + s_d NDVI - LST}{i_d - i_w + (S_D - S_W) NDVI} \quad (6)$$

مدل به اصطلاح «دوزنقه» یا «مثلث» یکی از روش‌های بسیار کاربردی سنجش‌ازدوری جهت برآورد رطوبت خاک است. مدل TOTRAM بر اساس توزیع پیکسل بر مبنای یک معادله خطی در فضای دمای سطح زمین (LST) و پوشش گیاهی (NDVI) می‌باشد (Sadeghi et al., 2017). معمولاً در روش TOTRAM شاخص پوشش گیاهی مطرح NDVI مورد استفاده قرار می‌گیرد (Yadav et al., 2019). دامنه شاخص NDVI از ۱ تا -۱ متغیر است. مقادیر منفی نشان می‌دهد که زمین توسط ابرها، آب یا برف پوشانده شده است. مقدار صفر نشانگر وجود سنگ‌ها یا خاک‌های برهنه است؛ و مقادیر مثبت وجود پوشش گیاهی را نشان می‌دهد (Peng et al., 2020). رابطه (۱) روابط یک تا شش مراحل محاسبه رطوبت به روش TOTRAM می‌باشد. تمامی مراحل در نرم‌افزار Envi و GIS انجام گرفته است.

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{red}}{R_{NIR} + R_{red}} \quad (1)$$

در این رابطه  $R_{NIR}$  بازتاب امواج الکترومغناطیس در باند مادون قرمز نزدیک و  $R_{red}$  بازتاب امواج الکترومغناطیس در باند مادون قرمز است.

$$W = \frac{\theta - \theta_d}{\theta_w - \theta_d} = \frac{lst_d - lst}{lst_d - lst_w} \quad (2)$$

W: مقدار رطوبت خاک نرمال شده؛  $\theta_d$ : حداقل مقدار رطوبت خاک خشک در شرایط عادی؛  $\theta_w$ : حداکثر مقدار رطوبت خاک مرطوب در شرایط عادی؛  $LST_d$  و  $LST_w$  به ترتیب مربوط به دمای سطح خاک خشک و مرطوب می‌باشند.

$$LST_d = i_d + s_d NDVI \quad (3)$$

$$LST_w = i_w + s_w NDVI \quad (4)$$

Id و sd به ترتیب مربوط به بیش‌ترین دمای سطح زمین و کم‌ترین تراکم پوشش گیاهی، iw و sw به ترتیب مربوط به کم‌ترین دمای سطح زمین و بیش‌ترین تراکم پوشش گیاهی است.

## رویکرد رگرسیون بردار پشتیبان جهت بازیابی محتوای رطوبت خاک (SMC)

شرط اساسی برای بازیابی محتوای رطوبت خاک مبتنی بر داده سنتینل ۱ رابطه بین شدت پراکنش رادار ( $\sigma^0$ ) در باند C و رطوبت خاک است. با این حال مقادیر دیگر نظیر زبری سطح و ساختار و تراکم پوشش گیاهی دو کمیت مهم دیگری هستند که  $\sigma^0$  را به طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار می‌دهند. در نتیجه، رابطه محتوای رطوبت خاک و باند C غیرخطی و نامناسب است که این امر ضرورت ایجاد مدل‌های پیچیده‌ی بازیابی را ایجاد می‌کند. یک راه‌حل احتمالی استفاده از یادگیری ماشین (ML) برای ساخت مدل‌های بازیابی محتوای رطوبت خاک است. رویکرد مهم رگرسیون بردار پشتیبان (SVR) در این زمینه پرکاربرد می‌باشد (Pasolli et al., 2019). در حالت کلی دلایل عمده‌ی استفاده و محبوبیت روش SVR قابلیت حل مسائل پیچیده و غیرخطی (Greifeneder et al., 2018)، مدیریت ورودی‌های مختلف، حداکثر عملکرد با حداقل داده (Bruzzone et al., 2005) می‌باشد. در مطالعه حاضر به صورت زمانی یک سری ویژگی‌هایی برای اجرای الگوریتم SVR در سامانه Google earth Engine تنظیم شده است که در جدول ۲ این ویژگی‌ها آورده شده است.

جدول ۲. خلاصه پیکربندی ویژگی مدل بازیابی SVR

شماره	رطوبت خاک (SMC)
۱	شدت پراکنش رادار در پلاریزاسیون VV
۲	زاویه برخورد SAR
۳	میانگین زمانی شدت پراکنش رادار در پلاریزاسیون VV
۴	انحراف از معیار زمان شدت پراکنش رادار
۵	طبقه‌بندی پوشش اراضی

Google Earth Engine یک سامانه پردازش مبتنی بر وب است که دسترسی به منابع محاسباتی با کارایی بالا را برای پردازش‌های بسیار بزرگ و حتی به صورت سری زمانی فراهم می‌کند. برای اجرای الگوریتم SVR ابتدا منطقه مورد مطالعه در این سامانه بارگزاری و تصویر سنتینل ۱ فراخوانی شد. در ادامه کد دستورات عمل‌های لازم

با در نظر گرفتن متغیرهای ورودی مطرح شده در جدول ۲ و محصول FLDAS و اعمال فیلتر زمانی مناسب نوشته شد؛ برای پارامتر پوشش اراضی از پروداکت کاربری اراضی ۵۰۰ متری سالانه ماهواره مودیس (MCD12Q1) استفاده شد تا طبقه‌بندی در هر یک از کلاس‌های مختلف سطح زمین به صورت جداگانه صورت پذیرد. متغیرهای مرتبط با تصویر سنتینل ۱ از جمله زاویه برخورد موج و... از تصویر استخراج شد. از محصول STRETIIFIED SAMPELE جهت معرفی نمونه‌های باندهای مختلف تصویر استفاده شده و سپس با استفاده از این نمونه‌ها و ادغام آنها یک طبقه بند آموزش داده شد تا از این طبقه بند جهت تخمین میزان رطوبت خاک با استفاده از ورودی‌های تعیین شده استفاده شود.

## تحلیل خوشه ناخوشه

آماره موران<sup>۱</sup> با اندازه‌گیری خود همبستگی فضایی سطح تجمع را تخمین زده و از این طریق میزان تأثیر یک متغیر بر متغیرهای مناطق هم‌جوار خود را مشخص می‌کند (Sheikh et al., 2019). جهت محاسبه تحلیل خود همبستگی فضایی موران لازم است نمره استاندارد Z و P-value به دست آید تا به ارزیابی و معنی‌دار بودن تحلیل خود همبستگی فضایی موران پرداخته شود. ارزش تحلیل خود همبستگی فضایی موران بین ۱- و ۱+ متغیر می‌باشد (Nadian et al., 2018). مقدار آماره موران از طریق رابطه هفت به دست می‌آید:

$$I_i = n(x_i - \bar{x}) \sum_{j=1 \neq i}^n w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (7)$$

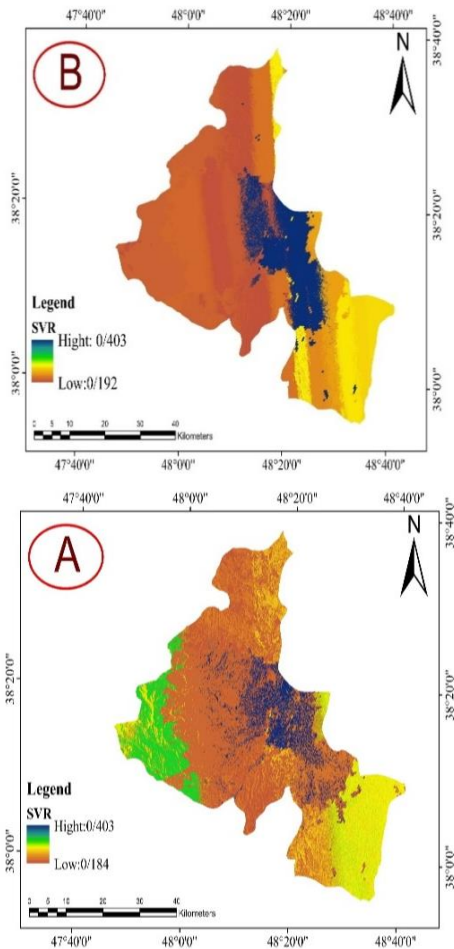
در رابطه ۷، V: تعداد کل متغیرها؛  $x_j$  و  $x_i$ : مقادیر متغیر مورد بررسی در مکان‌های  $i$  و  $j$ : مقدار وزن فضایی عارضه‌های  $i$  و  $j$ : بررسی معنی‌دار بودن آماری نتایج از نمره Z استفاده می‌شود تا از آن برای آزمون

<sup>1</sup> Moran

۰،۲۵ در ۰،۲۵ درجه محاسبه می‌کند، استفاده شده است (Masoodian et al., 2014).

### نتایج و بحث

#### تخمین رطوبت خاک با روش SVR



شکل ۳. نقشه رطوبت خاک با استفاده از SVR. A: تیرماه، B: مرداد ماه

شکل ۳ نقشه‌های مربوط به تخمین رطوبت خاک مرتبط با ماه‌های تیر و مرداد ۱۳۹۸ را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. با توجه به نقشه‌ها می‌توان به چگونگی تأثیرگذاری شرایط بر میزان رطوبت پی‌برد. به طوری که وضعیت رطوبتی متوسط در تیرماه (رنگ سبز) به وضعیت خیلی خشک (قهوه‌ای) در مرداد ماه تغییر یافته و وضعیت رطوبتی بالا (آبی) در تیرماه در مرداد کاهش چشمگیری داشته است. اندازه‌گیری حاصل از سنتینل ۱ به شرایط رطوبتی چند سانتی‌متر بالای خاک حساس می‌باشد، بدین معنی که الگوهای ترسیم‌شده رطوبت به

معنی‌داری آماری نتایج استفاده شود که از طریق رابطه هشت قابل محاسبه می‌باشد:

$$Z_t = \frac{I - E(I)}{SD(I)} \quad (8)$$

در رابطه ۸،  $E(I)$  و  $SD(I)$  به ترتیب نشان دهنده‌ی انحراف معیار و میانگین از  $I$  می‌باشند.

#### رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی (WGR)

رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی تکنیکی است که برای تحلیل‌های توصیفی بر روی آمار فضایی با در نظر گرفتن معادلات رگرسیون برای هر عارضه، مورد استفاده قرار می‌گیرد. متغیرهای  $Z$  و  $R^2$  جهت بررسی نتایج رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی استفاده می‌شوند. برآورد محلی پارامترها با استفاده از رگرسیون جغرافیایی وزن‌دار از رابطه نه بیان می‌شود.

$$y_i = \beta_0(u_i \cdot v_i) + \sum_{j=1}^n \beta_k(u_i \cdot v_i)x_{ij} + \varepsilon_i \quad (9)$$

در رابطه ۹:  $Y$ : متغیر وابسته؛  $X_i$ : متغیر مستقل؛  $\beta_0$  و  $\beta_1$ : ضرایب جهت تخمین؛  $\varepsilon$ : جزء خطا؛  $u_i$  و  $v_i$ : طول و عرض جغرافیایی نقطه  $i$ ؛  $B_k(u_i, v_i)$ : پیاده‌سازی فاکتور مورد بررسی بر روی یک سطح پیوسته (Sari Sarraf et al., 2019)

#### داده‌های بارشی تهیه‌شده از ماهواره TRMM<sup>۱</sup>

ماهواره TRMM محصول مشترک کشورهای ژاپن و آمریکا بوده و با هدف اندازه‌گیری بارندگی در سطح اقیانوس‌ها و دریاها و برای مطالعه‌ی بارش‌های حاره‌ای به‌ویژه در مناطق فاقد اطلاعات آماری ثبت شده، در ۲۷ نوامبر سال ۱۹۹۷ با قدرت تفکیک ۰،۲۵ درجه در مدار استوا قرار گرفت. در مطالعه حاضر از محصول ماهانه 3B43 این ماهواره که نرخ بارش ماهانه را برحسب واحد میلی‌متر بر ساعت در یک رستر با توان تفکیک مکانی

<sup>1</sup> The Tropical Rainfall Measuring Mission



عدد ۰٫۹۴ را نشان می‌دهد و بیشترین میزان رطوبت و نزدیک‌ترین مناطق به عدد یک هم همین مناطق و اطراف مناطقی با حضور آب و دریاچه بوده است. در مورد ماه تیر نیز در مناطقی با حضور پوشش گیاهی و به‌ویژه پوشش گیاهی متراکم میزان رطوبت نیز افزایش داشته به طوری که بالاترین مقدار پوشش گیاهی که عدد ۰٫۸۹ بوده است و بیشترین میزان رطوبت خاک نیز در این مناطق مشاهده شده است. برخلاف ماه مرداد در تیرماه ما شاهد حضور رطوبت متوسط نیز هستیم که به دلیل دمای پایین نسبت به مرداد ماه و سطح پوشش گیاهی بیشتر در این ماه می‌باشد که به خوبی از نقشه‌های پوشش گیاهی و دمای مرتبط با این ماه قابل استنباط هست. بررسی نقشه‌های مرتبط با دمای ماه‌های تیر و مرداد نشان داد با افزایش دما شاهد کاهش میزان رطوبت هستیم.

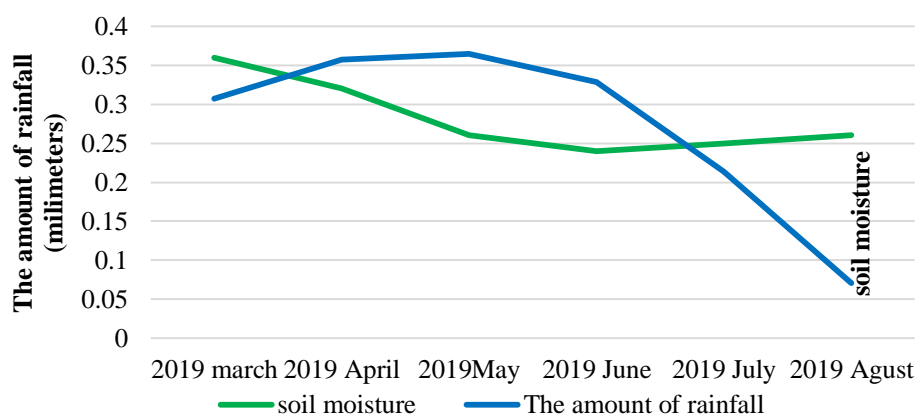
دست آمده به‌طور قطعی الگوهای بارش را منعکس می‌کنند (Greifeneder *et al.*, 2018). شکل ۴ تأییدکننده این ارتباط بوده و نشانگر مقایسه میانگین مکانی رطوبت خاک برآورده شده و محصول ماهانه بارش TRMM مربوط به سال ۱۳۹۸ می‌باشد.

#### تخمین رطوبت خاک با روش TOTRAM

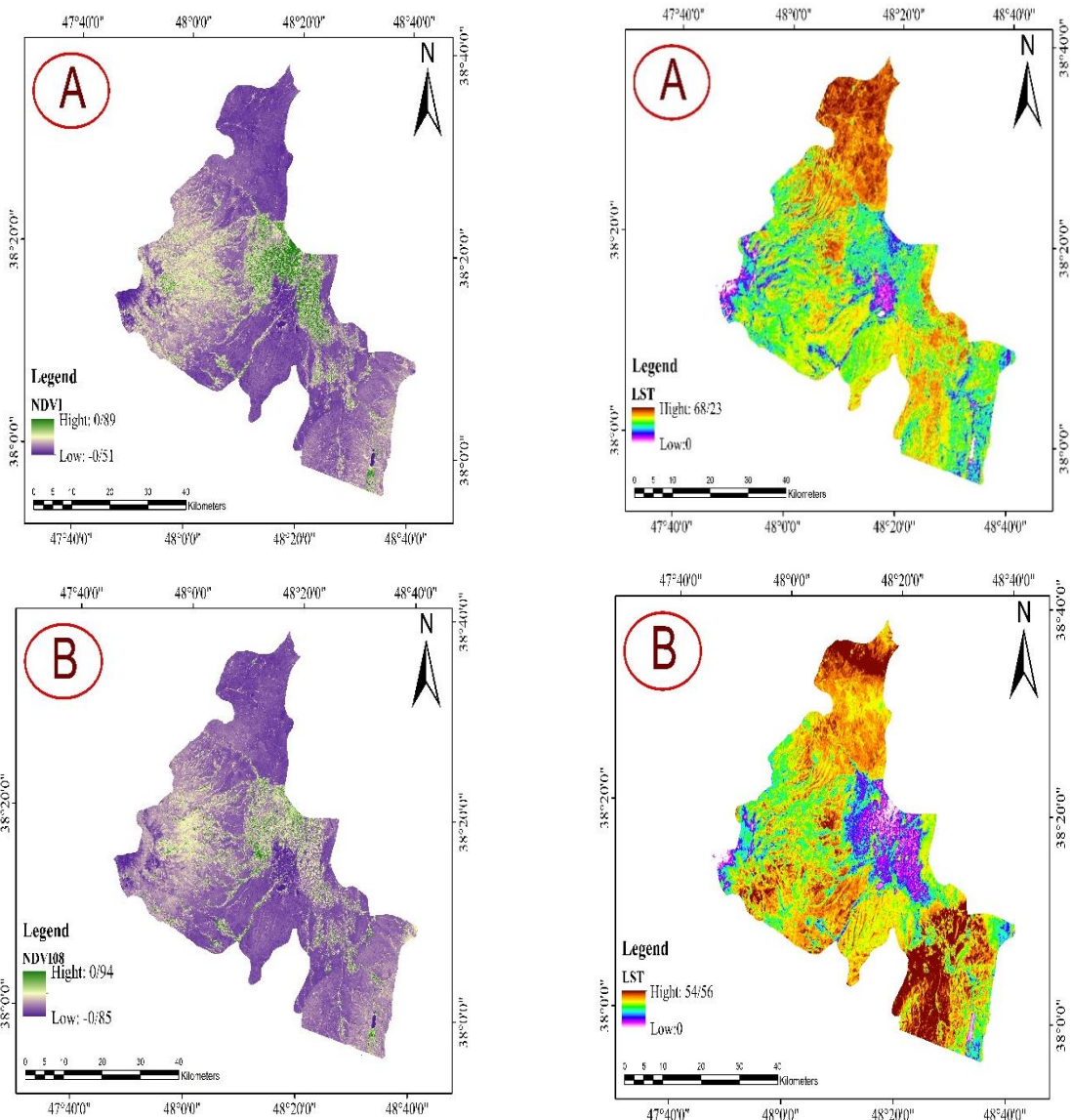
جدول ۳ نشان‌دهنده‌ی حداقل و حداکثر دما و پوشش گیاهی مرتبط با ماه‌های تیر و مرداد می‌باشد که هر دو پارامتر در مرداد ماه افزایش داشته است. شکل ۵ نقشه‌های تیر و مرداد ۱۳۹۸ مرتبط با دمای سطح زمین و شکل ۶ شاخص پوشش گیاهی NDVI را نشان می‌دهد. شکل ۷ نقشه‌های مرتبط با رطوبت خاک با استفاده از روش TOTRAM در دو ماه تیر و مرداد را نشان می‌دهد. با توجه به شکل پوشش گیاهی در مرداد حالت متراکم‌تر و

جدول ۳. دامنه NDVI و LST

سال	ماه	حداکثر تراکم پوشش گیاهی	حداقل تراکم پوشش گیاهی	حداکثر دما	حداقل دما
۱۳۹۸	تیر	۰/۸۹	-۰/۵۱	۵۴	۰
۱۳۹۸	مرداد	۰/۹۴	-۰/۸۵	۶۸	۰

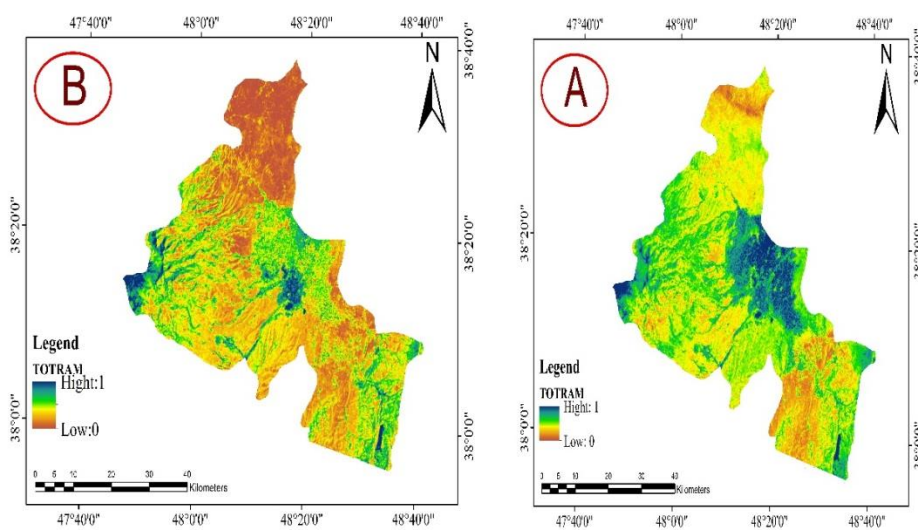


شکل ۴. مقایسه میانگین مکانی Sentinel 1 با داده SMC بر اساس منطقه مورد مطالعه و بارش ماهانه، برگرفته از مجموعه داده بارش جهانی TRMM



شکل ۶. نقشه‌های تراکم پوشش گیاهی. A: تیرماه، B: مرداد ماه

شکل ۵. نقشه‌های دمای سطح زمین. A: تیرماه، B: مرداد ماه



شکل ۷. نقشه‌های رطوبت خاک با استفاده از روش TOTRAM. A: تیرماه، B: مرداد ماه

جدول ۴. ضریب همبستگی بین مقادیر LST و NDVI و رطوبت در دو زمان مختلف

تاریخ	متغیر مستقل	R2 (ضریب تعیین)	Sig (معنی داری)	SE (خطای استاندارد)	B (بتا)
مرداد	LST	۰/۹۹۷	۰	۰	۰/۹۹۵
	NDVI		۰	۰/۰۰۳	۰/۰۲۲
تیر	LST	۰/۹۷۲	۰	۰	۰/۹۸۱
	NDVI		۰/۴۱۵	۰/۰۱۲	۰/۰۱۵

جدول ۴ نتایج حاصل از اعمال رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی وجود همبستگی بین متغیر وابسته رطوبت و متغیرهای مستقل LST و NDVI را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه هر چه مقدار ضریب بتای استاندارد شده بالا (B) و خطای استاندارد (SE) پایین باشد مقدار همبستگی بالا می‌باشد، بنابراین متغیر LST به ترتیب با مقادیر B و SE ۰،۹۹۵ و صفر متناسب با مرداد و ۰،۹۸۱ و صفر متناسب با تیرماه بیشترین همبستگی را نسبت به متغیر پوشش گیاهی با پارامتر وابسته‌ی رطوبت نشان داده است که این همبستگی در مرداد ماه با افزایش مقدار ضریب تعیین  $R^2$  به ۰،۹۹۷ و کاهش معنی‌داری NDVI به مقدار ۰،۴۱۵ در تیرماه به مراتب بیشتر شده است. فتح‌العلومی و همکاران (۲۰۲۰) نیز به رابطه‌ی قوی رطوبت و LST اشاره کرده و دلیل این امر را کاهش بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک موج مرئی با افزایش رطوبت خاک معرفی کرده‌اند. هارت<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۶) تأثیر رطوبت خاک بر ضریب گسیلمندی را دلیل تحت تأثیر قرار گرفتن LST می‌دانند.

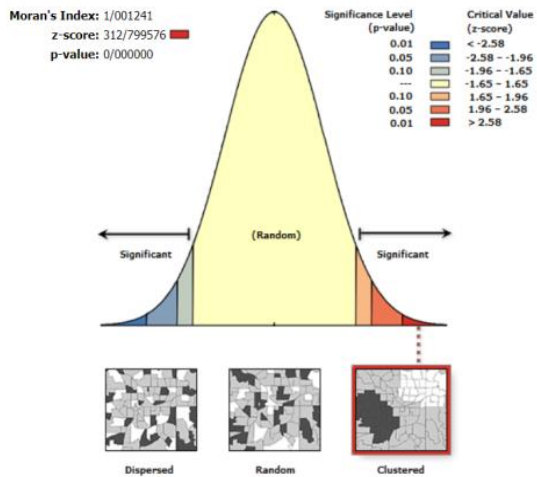
مقایسه نتایج به دست آمده از تکنیک SVR و TOTRAM نقشه‌های حاصل از هر دو تکنیک نشان‌دهنده‌ی تحت شرایط بودن پارامتر رطوبت است. به طوری که در دو ماه تیر و مرداد به دلیل افزایش دما و یا کاهش و افزایش سطح و تراکم پوشش گیاهی تغییرات چشمگیری در میزان رطوبت به چشم می‌خورد. با این حال به نظر می‌رسد تکنیک SVR با بهره‌گیری از تصاویر سنتینل ۱، به دلیل

قدرت نفوذ امواج راداری و با توجه به اینکه این تصاویر قادر به تصویربرداری در هر نوع شرایط آب‌وهوایی و شب و روز با پلاریزاسیون‌ها و مدهای مختلف هستند، نتایج بهتری ارائه دهد. بررسی نمودارهای بارشی TRMM و رطوبت حاصل از سنتینل ۱ نیز هماهنگی و رابطه مستقیم این دو مؤلفه را نشان داده است. همچنین در این تکنیک از پارامترهای مهمی نظیر شدت پراکنش رادار، زاویه برخورد SAR و طبقه‌بندی پوشش اراضی در محاسبه‌ی رطوبت خاک استفاده شده است که می‌تواند در دقت نتایج حاصل بسیار تأثیرگذار باشد. تجزیه و تحلیل موارد اشاره شده می‌تواند نشان دهنده‌ی دقیق بودن تخمین رطوبت خاک بر مبنای رویکرد یادگیری ماشین باشد. شکل ۸ نتیجه اعمال آماره موران در ماه‌های تیر و مرداد مرتبط با هر دو تکنیک SVR و TOTRAM را نشان می‌دهد. در رابطه با SVR مقدار P-value برای هر دو تاریخ تیر و مرداد کمتر از ۰،۰۵ و تقریباً صفر به دست آمده است و همچنین نمره Z نیز مقدار مثبت را نشان داده است. با توجه به شکل این شاخص در مرداد مقدار مثبت یک و در تیرماه ۰،۹۹ را محاسبه کرده است. همچنین نتایج حاصل از بررسی آماره موران در رابطه با اجرای الگوریتم TOTRAM مقادیر Z و p-value مثبت و مقدار شاخص موران نزدیک مثبت یک را نتیجه داده است؛ بنابراین خوشه‌ای بودن توزیع رطوبت با استفاده از هر دو تکنیک SVR و TOTRAM استنباط می‌شود.

#### مقایسه نتایج به دست آمده از تکنیک SVR و TOTRAM

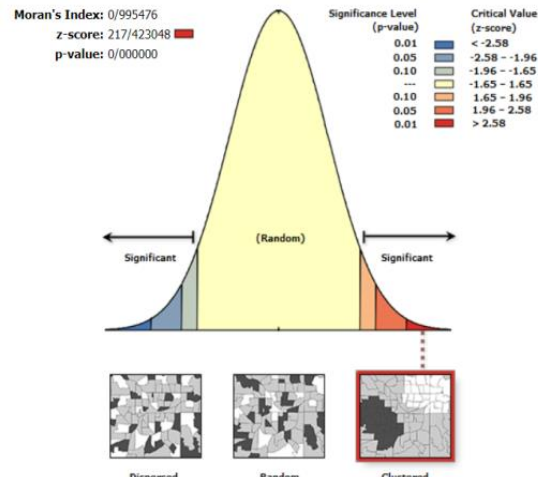
نقشه‌های حاصل از هر دو تکنیک نشان‌دهنده‌ی تحت شرایط بودن پارامتر رطوبت است. به طوری که در دو ماه تیر و مرداد به دلیل افزایش دما و یا کاهش و افزایش سطح و تراکم پوشش گیاهی تغییرات چشمگیری در میزان رطوبت به چشم می‌خورد. با این حال به نظر می‌رسد تکنیک SVR با بهره‌گیری از تصاویر سنتینل ۱، به دلیل

<sup>1</sup> Harti



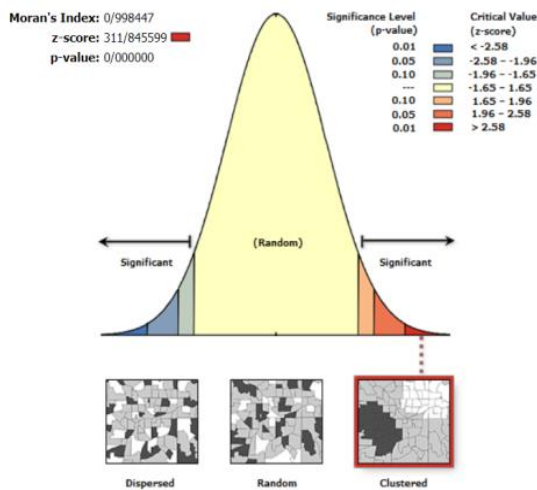
Given the z-score of 312.799576342, there is a less than 1% likelihood that this clustered pattern could be the result of random chance.

تیر SVR



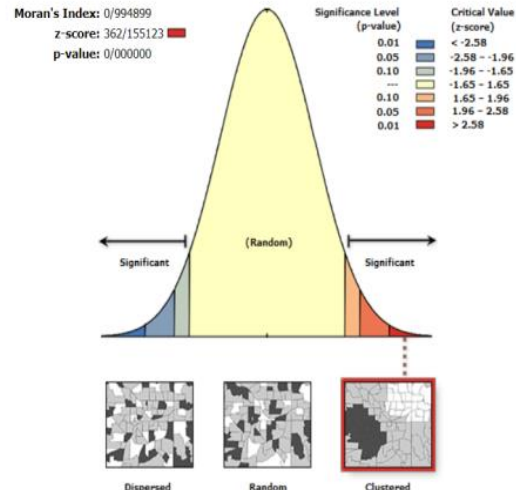
Given the z-score of 217.423048484, there is a less than 1% likelihood that this clustered pattern could be the result of random chance.

مرداد SVR



Given the z-score of 311.845599481, there is a less than 1% likelihood that this clustered pattern could be the result of random chance.

تیر TOTRAM



Given the z-score of 362.155122725, there is a less than 1% likelihood that this clustered pattern could be the result of random chance.

مرداد TOTRAM

شکل ۸. نتیجه آماره موران در ماه‌های تیر و مرداد با هر دو تکنیک SVR و TOTRAM

به طوری که با افزایش بارش مقدار رطوبت نیز افزایش یافته است. بررسی نتایج حاصل از الگوریتم TOTRAM نشان داد، به دلیل اینکه مؤلفه LST با تأثیری که بر میزان تبخیر آب از سطح خاک دارد منجر به کاهش رطوبت می‌شود به همین دلیل در مرداد ماه به دلیل افزایش دما نسبت به تیرماه شاهد کاهش رطوبت خاک هستیم. نکته مطرح شده در الگوریتم SVR در مورد خاصیت پوشش گیاهی در اینجا نیز صادق بوده و به دلیل اینکه پوشش گیاهی مانعی در مقابل تبخیر و تعرق هست

### نتیجه‌گیری

رطوبت خاک مطمئناً عامل مهمی برای هر چیزی است که با زندگی روی زمین مرتبط است. از بررسی نقشه‌های رطوبتی SVR با رویکرد یادگیری ماشین (ML) می‌توان نتیجه گرفت تغییر شرایط و کاهش سطح و تراکم پوشش گیاهی و افزایش دما در مرداد ماه در کاهش میزان رطوبت تأثیرگذار بوده است. بررسی نمودارهای مربوط به بارش و رطوبت با توجه به خاصیت تصاویر راداری سنتینل ۱، رابطه مستقیم رطوبت و بارش را نشان داده است

دلیل استفاده از تصاویر سنتینل ۱ با امواج ماکروویوی می‌تواند نتایج بهتری را حاصل کند. با توجه به نتایج بررسی شاخص موران محلی و عدد مثبت یک برای این شاخص، توزیع خوشه‌ای رطوبت با استفاده از هر دو الگوریتم یادگیری ماشین و نوری حرارتی مشاهده است. صحت سنجی داده‌های سنجش‌ازدوری رطوبت خاک با نمونه‌برداری و داده‌های زمینی ضروری بوده و در نتیجه‌گیری دقیق‌تر تأثیرگذار است، با این حال با توجه به مقیاس بزرگ منطقه استفاده و نگهداری از این گونه داده زمان بر و پیچیده بوده و به دلیل تغییرات زمانی و مکانی رطوبت خاک نمی‌تواند دقیق باشد و متکی به داده‌های سنجش‌ازدوری می‌باشد. البته قابل ذکر است از آنجا که حوزه مورد مطالعه محدود به منطقه خاصی است، نمی‌توانیم در مورد مناسب بودن پیکربندی ML برای کاربرد در مناطق دیگر یا وسعت بیشتر نتیجه‌گیری کنیم.

با افزایش سطح و تراکم پوشش گیاهی شاهد افزایش رطوبت هستیم. با توجه به نتایج مربوط به ضرایب همبستگی حاصل از رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی همبستگی بیشتری بین متغیر دما و رطوبت به‌ویژه در مرداد ماه مشاهده شده است که به نظر می‌رسد دلیل این امر کاهش سطح پوشش گیاهی در مرداد نسبت به تیرماه و پررنگ‌تر شدن نقش دما باشد. در هر صورت در مورد هر دو ماه تیر و مرداد ماه مقدار عددی نزدیک صفر برای متغیر Sig مشاهده می‌کنیم که معنی‌دار بودن همبستگی LST و NDVI با مدل نوری حرارتی TOTRAM را نشان می‌دهد. میزان رطوبت خاک، به‌جز مناطق پوشش گیاهی سنگین، شرایط مه‌آلود و ابرها و روی آب‌ها با استفاده از روش TOTRAM و تصاویر لندست ۸ به‌درستی طبقه‌بندی شده است، زیرا داده‌های نوری و حرارتی به دلیل طول‌موج کوتاه‌تر، در مقایسه با ماکروویو که می‌تواند از طریق ابر، پوشش گیاهی و غیره نفوذ کند، قابلیت نفوذ کمتری دارد؛ بنابراین می‌تواند نتیجه گرفت روش SVR به

#### Reference:

- Adab, H. 2017. Estimation of the Instantaneous Soil Surface Moisture Content in Cold Seasons by using Optical and Thermal Remote Sensing Data under Clear Sky. *Water and Soil Sci*, 21 (2): 175-191. [in Persian]
- Ambrosone, m., Matese, a., Gennaro, s., Gioli, b., Tudoroiub, m., Genesio, l., Miglietta, f., Baronti, s., Maienza, a., Ungaro, f. and Toscano, p. 2020. Retrieving soil moisture in rainfed and irrigated fields using Sentinel-2 observations and a modified OPTRAM approach, *journal Int J Appl Earth Obs Geoinformation*, 102113: 1-10.
- Bagheri, K., Bagheri, M., Hosein zadeh, A. A. 2019. Estimation of soil moisture using optical, thermal and radar Remote Sensing (Case Study: South of Tehran). *Iran-Watershed Management Science & Engineering*, 13 (47): 63-74. [in Persian]
- Behbahani, S., Noroozi Aghdam, E., Rahimi Khoob, A., Aghighi, H. 2010. Assessing Surface Soil Moisture in Arid and Semiarid Rangelands Using NDVI and Meteorological Parameters. *Iran-Water Resources Research*, 5(3): 39-47. [in Persian]
- Bruzzone, l. and Melgani, f. 2005. Robust multiple estimator system for the analysis of biophysical parameters from remotely sensed data," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sen*, 43(1): 159-174.
- Casamitjana, m., Madroñero, m., Bernal-Riobo, J. and Varga d. 2020. Soil Moisture Analysis by Means of Multispectral Images According to Land Use and Spatial Resolution on Andosols in the Colombian Andes, *applied science*, doi:10.3390/app10165540
- Carlson, t., Gillies, t. and Perry, e. 1994. A method to make use of thermal infrared temperature and NDVI measurements to infer surface soil water content and fractional vegetation cover, *journal Remote Sensing Reviews*, 9: 161-173.
- Fatholoulumi, S., Vaezi, A., Alavipannah, S., Ghorbani, A. 2020 . Modeling the Influence of Biophysical Properties and Surface Topography on the Spatial Distribution of Soil Moisture in the Summer: A Case Study of Balikhli-Chay Watershed. *Iranian journal of Ecohydrology*, 7(3): 563-581. doi: 10.22059/ije.2020.299783.1307. [in Persian]
- Feizizadeh, B., Didehban, K., Gholamnia, K. 2016. Extraction of Land Surface Temperature (LST) based on Landsat Satellite Images and Split Window Algorithm Study area: Mahabad Catchment. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 25(98): 171-181. doi: 10.22131/sepehr.2016.22145. [in Persian]

- Greifeneder, f., Khamala, e., Sendabo, d., Wagner, w., Zebisch, m. and Farah h. 2018. Detection of soil moisture anomalies based on Sentinel-1, *Journal Physics and Chemistry of TheEarth*, 1-24. <https://www.researchgate.net/publication/329333037>.
- Harti, e., Lhissou, a., Chokmani, r., Ouzemou, k., Hassouna, j. and Bachaoui, m. 2016. Spatiotemporal monitoring of soil salinization in irrigated Tadla Plain (Morocco) using satellite spectral indices. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 50: 64-73.
- Hosseini Chamani, F., Farrokhian Firouzi, A. 2019. Pedotransfer Function (PTF) for Estimation Soil moisture using NDVI, land surface temperature (LST) and normalized moisture (NDMI) indices. *Journal of Water and Soil Conservation*, 26(4), 239-254. doi: 10.22069/jwsc.2019.15306.3053.[in Persian]
- Khanmohammadi, F., Homae, M., Noroozi, A. 2015. Soil moisture estimating with NDVI and land surface temperature and normalized moisture index using MODIS images. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 4(2), 37-45. [in Persian]
- Koochi, S., Azizian, A., Brocca, L. 2019. Calibration of VIC-3L Hydrological Model using Satellite-Based Surface Soil Moisture Datasets. *Iran-Water Resources Research*, 15(4): 55-67. [in Persian]
- Masoodian, S., Rayatpish, F., Keykhosravi Kiani, M. 2014. Introducing the TRMM and Asfzariprecipitation database: A comparative study. *Iranian Journal of Geophysics*, 8(4) :31-51. [in Persian]
- McNally, a., Arsenault, k., Kumar, s., Shukla, s., Peterson, p., Wang, s., Funk, c., Peters-Lidard, c. and Verdin, v. 2017. Data Descriptor: A land data assimilation system for sub-Saharan Africa food and water security applications, *SCIENTIFIC DATA*. DOI: 10.1038/sdata.2017.12.
- Mobasheri, m. and Amani, m. 2016. Soil moisture content assessment based on Landsat 8 red, near-infrared, and thermal channels, *Journal. Appl. Remote Sens*, 10(2): 1-15.
- Nadian, M., Mirzaei, R., Soltani Mohammadi, S. 2018. Application of Moran'sI Autocorrelation in Spatial-Temporal Analysis of PM2.5 Pollutant (A case Study: Tehran City). *Journal of Environmental Health Engineering*, 5 (3) :197-213. [in Persian]
- Pandey, r., Goswami, s., Sarup, j. and Matin sh. 2020. The thermal-optical trapezoid model- based soil moisture estimation using Landsat- 8 data, *journal Modeling Earth Systems and Environment*, 1-9. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00975-8>.
- Pasolli, I., Notarnicola, c., Bertoldi, g., Bruzzone, I., Remelgado, r., Greifeneder, f., Niedrist, g., Chiesa, s., Tappeiner, u. and Zebisch m. 2019. Estimation of Soil Moisture in Mountain Areas Using SVR Technique Applied to Multiscale Active Radar Images at C-Band, *Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(1): 261-283.
- Peng, w., Wang J., Zhang, j. and Zhang y. 2020. Soil moisture estimation in the transition zone from the Chengdu Plain region to the Longmen Mountains by field measurements and LANDSAT 8 OLI/TIRS-derived indices, *Arabian Journal of Geosciences*. 1-15, <https://doi.org/10.1007/s12517-020-5152-z>.
- Prashant, K. S. George, P. P. Yann, H. K. 2016. *Satellite Soil Moisture Retrieval Techniques and Applications*, 411 pp.
- Ranjbar, S., Akhoondzadeh, M. 2020. Volumetric soil moisture estimation using Sentinel 1 and 2 satellite images. *Journal of Geospatial Information Technology*, 7 (4) :215-232. [in Persian]
- Sari Sarraf, B., Naghizadeh, H., Rasouly, A., Jahanbakhsh, S., Babaeyan, I. 2019. Modeling and spatial analysis of snow depth in Northern Iran based on database from European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). *Physical Geography Research Quarterly*, 51(4): 651-671. doi: 10.22059/jphgr.2019.268047.1007289. [in Persian]
- Sadeghi, m., Babaeyan, e., Tuller, m. and Jones, s. 2017. The optical trapezoid model: A novel approach to remote sensing of soil moisture applied to Sentinel-2 and Landsat-8 observations, *Journal Remote Sensing of Environment* <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2017.05.041> t, 52-68.
- Sheikh, h., Parizadi, t., Rezaei, m., Sajadi, m. 2012. Analysis and determination of physical form in Isfahan using modeling and Moran, *Urban planning*, 3(9): 117-174. [in Persian]
- Shafian, s. and maas, s. 2015. Improvement of the Trapezoid Method Using Raw Landsat Image Digital Count Data for Soil Moisture Estimation in the Texas (USA) High Plains, *Sensors*, doi:10.3390/s150101925, 1925-1944.
- SUTARIYA, s., HIRAPARA, a., MEHERBANALI, m., TIWARI, m., SINGH, v. and KALUBARME, m. 2021. Soil Moisture Estimation using Sentinel-1 SAR data and Land Surface Temperature in Panchmahal district, Gujarat State, 8(1): 2148-9173.
- Yousefzadeh, A., Zeynali, B., Valizadeh Kamran, K., Asghari Sarskanrood, S. 2019. The Estimation of Soil Moisture Using the New Visible Trapezoidal Model for Simineh Basin Using Images of Landsat 8 Satellite. *Hydrogeomorphology*, 6(18): 181-205. [in Persian]
- Yadav, s., Singh, p., Pal Singh Jadaun, s., Kumar, n. and Upadhyay, r. 2019. SOIL moisture analysis of lalitpur district uttar pradesh india using landsat and sentinel data *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 3(6): 1-7.



Print ISSN: 2251-7480  
Online ISSN: 2251-7400

Journal of  
**Water and Soil  
Resources Conservation  
(WSRCJ)**

**Web site:**

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

**Email:**

[iauwsrcj@srbiau.ac.ir](mailto:iauwsrcj@srbiau.ac.ir)  
[iauwsrcj@gmail.com](mailto:iauwsrcj@gmail.com)

**Vol. 11  
No. 4  
Summer 2022**

**Received:**  
2021-11-20

**Accepted:**  
2022-04-21

**Pages: 89-103**



 10.30495/WSRCJ.2022.20006

## Investigation of Soil Surface Moisture in Ardabil City Using Landsat 8 and Sentile 1 satellite Data

Sayyad Asghari Saraskanrod<sup>1\*</sup>, Fariba Esfandayari Darabad<sup>2</sup>, Elham Mollanouri<sup>3</sup> and Shiva Safary<sup>4</sup>

- 1) Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.
  - 2) Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.
  - 3) Master student of Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.
  - 4) Master student of Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.
- \*Corresponding author email: [s.asghari@uma.ac.ir](mailto:s.asghari@uma.ac.ir)

**Abstract:**

**Background and Aim:** Surface soil moisture is an important variable in nature's water cycle and can be affected by various factors, including temperature and soil characteristics. The use of ground sensors for measuring moisture can lead to spending time and expense and inappropriate distribution of samples on large scales. Therefore, Remote sensing observations can be an important tool in estimating soil moisture. The present study aims to use the TOTRAM model using Landsat 8 images and the SVR method using Sentile 1 images to estimate soil moisture.

**Methods:** In the present study, two TOTRAM methods based on pixel distribution in LST- VI space and the SVR method were used to extract soil moisture using the SAR technique and Sentinel 1 data. To implement the TOTRAM method, Landsat 8 images related to 4/29/1398 and 5/30/1398 are downloaded and after extracting NDVI and LST maps, The correlation between the dependent variable of moisture and independent temperature variables and vegetation variables has been investigated using Geographically weighted regression (GWR). To implement the SVR method after acquiring Sentinel 1 images related to 31/05/1398 and 27/04/1398, Soil Moisture Data Product FLDAS and 500 meters product of Modis Satellite (MCD12q1) were called to classify land cover in the Google Earth Engine system, and maps related to soil moisture were extracted. After extracting the moisture maps the distribution of moisture using the local Moran index has been investigated. By defining this index, positive values for this index represent the cluster of distribution.

**Results:** Examination of the soil moisture map obtained by the SVR method showed the concentration of moisture in areas with vegetation and water and the change in moisture status from July to August was visible. The humidity pattern has shown the reflection of the precipitation pattern so that maximum precipitation and humidity were observed in April and in summer both precipitation and humidity components decreased. Examination of the TOTRAM method and application of the GWR method has shown a complete correlation between NDVI LST and moisture. However, the correlation between LST and humidity with B (values) and standard error (SE) of 0.995 and zero corresponding to July and 0.981 and zero corresponding to August showed the highest correlation with vegetation variable with moisture dependence parameter, which this correlation In August, with increasing the coefficient of determination of R<sup>2</sup> to 0.997 and a significant decrease of NDVI to the value of 0.415 in July, it has increased much more. Application of Moran local index with values less than 0.05 for p-value and positive values for z and near positive number 1 for Moran index showed the cluster distribution of moisture variable.

**Conclusion:** The results of TOTRAM and SVR methods showed the dependence of soil moisture status on conditions and cluster moisture distribution. According to the correlation coefficients of geographical regression, there is a greater correlation between temperature and humidity variables, especially in August, due to the decrease in vegetation density. The results of the SVR algorithm maps showed that in areas with the presence of vegetation, especially dense vegetation, we see an increase and with increasing temperature, we see a decrease in humidity. Also, the coordination of moisture patterns of the SVR algorithm and precipitation showed a direct relationship between moisture and precipitation. Considering that the SVR method uses parameters such as radar scattering intensity and land cover classification, as well as the use of Sentinel 1 radar images by this algorithm, more accurate results can be expected from this algorithm.

**Keywords:** LST, NDVI, Support vector regression, TOTRAM