



دانشگاه گوارش و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و ششم، شماره چهارم، ۱۳۹۸
۲۳۹-۲۵۴

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2019.15306.3053

تابع انتقالی به منظور برآورد رطوبت خاک به کمک شاخص‌های پوشش گیاهی، دمای سطح خاک و شاخص نرمال شده رطوبت

فرشید حسینی چمنی^۱، *احمد فرخیان فیروزی^۲ و هادی عامری خواه^۳

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ^۲دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ^۳مربی گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۰۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۲۷

چکیده

سابقه و هدف: رطوبت خاک یکی از متغیرهای کلیدی است که با کنترل فرآیند تبخیر و تعرق بر چرخه آب و تبادل حرارت بین زمین و اتمسفر تأثیر می‌گذارد. مقدار این رطوبت برای چرخه‌های هیدرولوژیکی، بیولوژیکی و بیوشیمیایی نیز دارای اهمیت می‌باشد. به کمک اطلاعات رطوبت خاک در بازه‌های زمانی منظم، می‌توان درجه پیشرفت خشک‌سالی را در مناطق با آب‌وهوای خشک تعیین کرد. همچنین پایش مستمر رطوبت خاک اراضی کشاورزی، به برنامه‌ریزی آبیاری محصولات به شکلی مؤثر کمک می‌کند. از رطوبت خاک همچنین برای شناسایی مناطق حساس به آتش‌سوزی در مناطق جنگلی استفاده می‌شود. بنابراین پایش رطوبت خاک در هر منطقه و در مقاطع زمانی مختلف امری مهم است. با توجه به عواملی مانند عدم یکنواختی در ویژگی‌های فیزیکی خاک، توپوگرافی، پوشش زمین، تبخیر و تعرق و میزان بارش، رطوبت خاک به‌عنوان عاملی متغیر در بازه‌های مکانی و زمانی شناخته می‌شود. بنابراین استفاده از روش‌های سنتی تعیین رطوبت خاک (مانند روش وزنی و نوترون‌متر) برای درک رفتار مکانی و زمانی این متغیر در سطوح وسیع کارا نیست. برای رفع این مشکل در دو دهه گذشته فناوری سنسجس از دور (به‌خصوص در حوضه مرئی / مادون‌قرمز نزدیک و حرارتی) به‌طور گسترده برای تخمین غیرمستقیم رطوبت خاک مورد استفاده قرار گرفته است. هدف از انجام این پژوهش، برآورد رطوبت خاک سطحی با استفاده از شاخص‌های نرمال شده رطوبت (NDMI)، پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) و دمای سطح زمین (LST) بود.

مواد و روش‌ها: بدین منظور تصاویر ماهواره لندست ۸ هم‌زمان با نمونه‌برداری زمینی تهیه شدند. نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و رطوبت خاک نمونه‌ها به روش وزنی اندازه‌گیری سپس با استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی ArcGIS شاخص‌های موردنظر برآورد شد و مقادیر این شاخص‌ها برای اجرای رگرسیون آماری به نرم‌افزار SPSS منتقل و آنالیزهای آماری بین شاخص‌های نرمال شده رطوبت (NDMI)، پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) و دمای سطح زمین (LST) و رطوبت خاک انجام شد. سپس تابع انتقالی برآورد رطوبت خاک به روش رگرسیون خطی چندگانه به‌دست آمد. این پژوهش در منطقه دهدز از توابع شهرستان ایذه استان خوزستان انجام شد.

* مسئول مکاتبه: a.farrokhan@scu.ac.ir

یافته‌ها: نتایج نشان داد بین مقادیر رطوبت خاک سطحی با شاخص‌های NDVI، NDMI و LST همبستگی ۷۸ درصدی وجود داشت. همچنین نتایج صحت‌سنجی تابع انتقالی برآورد رطوبت خاک با شاخص‌های آماری ضریب جرم باقی‌مانده (CRM)، میانگین خطای مطلق (MAE)، ضریب کارایی اصلاح‌شده (E) و شاخص مطابقت اصلاح‌شده (d) نشان داد که این تابع عملکرد خوبی داشته و مقادیر این شاخص‌ها به ترتیب ۰/۰۰۱۳، ۰/۹۹۹۸ و ۰/۹۹۹۹ به دست آمد که نشان‌دهنده دقت زیاد مدل پیشنهادی برای برآورد رطوبت خاک سطحی می‌باشد.

نتیجه‌گیری: نتیجه این پژوهش در قالب توابع انتقالی و نقشه رطوبتی خاک ارائه شده است. نقشه رطوبت خاک شبیه‌سازی شده به وسیله این مدل قادر است تغییرات رطوبت خاک را در منطقه مطالعاتی در دامنه داده‌ها و فصل مورد مطالعه به خوبی پیش‌بینی کند.

واژه‌های کلیدی: رطوبت خاک، توابع انتقالی (PTFs)، شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده (NDVI)، دمای سطح زمین (LST)، شاخص رطوبتی نرمال‌شده (NDMI)

مقدمه

می‌توان به دو گروه روش‌های معمول همانند روش وزنی و روش‌های الکترومغناطیسی هم‌چون TDR^۱ و GPR^۲ و سنجش از دور تقسیم‌بندی کرد (۱، ۹ و ۱۰). روش‌های معمول اندازه‌گیری رطوبت خاک مانند روش وزنی و روش نوترون‌متر برای فهم رفتار رطوبت خاک در مقیاس بزرگ مناسب نیستند (۱۳). روش وزنی در عین سادگی دارای معایبی همچون زمان‌بر بودن، قابلیت جمع‌آوری محدود داده‌ها و کاربرد در مقیاس‌های کوچک می‌باشد. محدودیت‌های حاصل از تغییرپذیری مکانی و زمانی و زمان‌بر بودن، جستجو برای یافتن روش‌های جدید برآورد سریع رطوبت خاک را فراهم می‌نمایند. در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی برای ارائه راه‌حلی در این زمینه صورت گرفته است که مشخصاً می‌توان به ارائه مدل‌های شبیه‌ساز و ایجاد توابع انتقالی خاک (PTFs^۳) اشاره نمود (۷). در مدل‌های شبیه‌ساز با واسنجی مدل برای یک منطقه مورد مطالعه، تلاش می‌شود که مشکل تغییرپذیری مکانی- زمانی خاک تا حدودی

پایش رطوبت خاک از مقیاس محلی تا جهانی برای بسیاری از برنامه‌های کاربردی هم‌چون هیدرولوژی، کشاورزی (۲) اقلیم‌شناسی و هواشناسی، علوم خاک، بوم‌شناسی و زراعت (۱۰)، جنگلداری و مهندسی منابع آب (۱۳)، تبادل جریان انرژی و آب بین سطح زمین و اتمسفر ضروری است. رطوبت خاک، به‌ویژه رطوبت خاک سطحی در مدیریت منابع آب و خاک اهمیت شایانی دارد. رطوبت بخش غیراشباع نقشی مهم در تبخیر تعرق و انتقال املاح در خاک داشته و یکی از عوامل کلیدی در رشد گیاهان و پویایی بوم‌سازگار است. رطوبت خاک نقشی مهم در چرخه آبی طبیعت، به‌ویژه در توزیع باران بین رواناب سطحی و نفوذ، که فرآیندی مهم بعد از فرآیندهای هیدرولوژی و ژئومورفولوژی است، ایفا می‌کند.

تغییرات در عواملی همچون بافت خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و روش‌های آبیاری، باعث تغییرپذیری زیاد زمانی- مکانی رطوبت خاک می‌شود (۱۹). رطوبت خاک به روش‌های مختلفی اندازه‌گیری می‌شود. در یک دسته‌بندی کلی، این روش‌ها را

1- Time Domain Reflectometry
2- Ground Penetrating Radar
3- Pedo-Transfer Functions

مؤثر برای برآورد رطوبت خاک هستند، ولی با توجه به محدودیت دسترسی به اطلاعات رادار، تمرکز بر محدوده مادون قرمز نزدیک می‌باشد. تخمین رطوبت خاک با این روش، نیاز به برآورد دمای سطحی خاک و شاخص گیاهی (NDVI) دارد (۱۸). در پژوهشی دیگر نشان داده شد که پوشش گیاهی و دمای سطحی زمین^۱ (LST)، وابستگی پیچیده‌ای با مقدار رطوبت خاک دارند. کارلسون و همکاران (۱۹۹۴) نشان دادند از ترکیب این دو شاخص می‌توان برای برآورد رطوبت خاک با دقت قابل قبول استفاده کرد. تغییرات رطوبت خاک، تأثیرات زیادی بر ویژگی‌های حرارتی دارد (۲). به عبارت دیگر، تغییرات روزانه دما، همبستگی بالایی با مقدار رطوبت خاک دارد (۵). ونگ و کو (۲۰۰۷) با تلفیق داده‌های رطوبت خاک زمینی با شاخص‌های NDVI^۲ و LST حاصل از محصولات شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح تصاویر مودیس، روابط رگرسیونی را برای برآورد رطوبت خاک به دست آوردند که نتایج حاصله همبستگی بالایی را با مشاهدات زمینی نشان داده است (۱۷). یکی دیگر از شاخص‌های رطوبتی شاخص NDMI^۳ است که از تلفیق با شاخص NDVI برای بررسی وضعیت خشک‌سالی و همچنین برآورد مقدار رطوبت خاک استفاده شده است.

شماری از پژوهشگران نیز استفاده ترکیبی از اطلاعات ماهواره‌ای دمای سطح زمین (LST) و شاخص‌های گیاهی را در برآورد رطوبت خاک پیشنهاد کرده و اعتقاد دارند که ترکیب این داده‌ها می‌تواند اطلاعات بهتری از شرایط رطوبتی خاک سطحی و تنش‌های گیاهی فراهم آورد (۳). یکی از روش‌های تخمین رطوبت خاک در حوزه مرئی/مادون قرمز نزدیک و حرارتی روش تشکیل فضای

برطرف شود. صرف نظر از این که چنین واسنجی‌هایی تا چه اندازه می‌توانند غیرهمگنی ویژگی‌های فیزیکی خاک را توضیح دهند، این مدل‌ها نیازمند ارقام واقعی زیادی هستند که باید به صورت داده‌های ورودی، به مدل داده شوند تا امکان واسنجی فراهم گردد. بدیهی است در پهنه‌های بزرگ، دستیابی به چنین داده‌هایی بسیار دشوار و هزینه‌بر است. به همین منظور طی دهه‌های اخیر تلاش زیادی صورت گرفته تا بتوان پارامترهای ورودی مدل‌ها را نیز با استفاده از روابط رگرسیونی و یا شبکه عصبی مصنوعی برآورد و آن‌ها را به عنوان ورودی‌های مدل‌های شبیه‌ساز به کار گرفت. در این روش که به آن توابع انتقالی گویند، عموماً با استفاده از ویژگی‌های زود یافت مانند فراوانی نسبی اندازه ذرات خاک و یا جرم ویژه ظاهری خاک ویژگی‌های دیریافت خاک مانند ویژگی‌های هیدرولیکی خاک برآورد می‌گردد (۷). هر چند اشتقاق و به‌کارگیری توابع انتقالی برای برآوردهای سریع در پهنه‌های نسبتاً بزرگ سودمندی‌های زیادی دارد، ولی این روش نیز در پهنه‌های منطقه‌ای و ملی همچنان دارای محدودیت‌های ورودی می‌باشد. به همین دلیل تلاش برای دستیابی به روش‌هایی دیگر برای چنین مقیاس‌های بزرگی اجتناب‌ناپذیر است.

اخیراً پیشرفت‌های تکنولوژی امکان استفاده از فن‌های سنجش از دور در اندازه‌گیری رطوبت خاک را فراهم نموده است. فن‌های سنجش از دور برای برآورد رطوبت خاک شامل روش‌های نوری، مادون قرمز حرارتی و مایکروویو فعال و غیرفعال هستند که هر کدام 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 سنجش از دور مبتنی بر امواج مایکروویو تکنیک‌هایی

1- Land Surface Temperature
2- Normalized Difference Vegetation Index
3- Normalized Difference Moisture Index

روش مختلف مثلثی تجربی سندهالت و همکاران (۲۰۰۲)، روش دوزنقه‌ای موران و همکاران (۱۹۹۴) و روش مثلثی کارلسون و همکاران (۱۹۹۴) را مقایسه کردند و دریافتند که مثلث کارلسون پتانسیل مناسبی برای توصیف وضعیت رطوبتی خاک دارد (۶). ایده اصلی در تمامی این روش‌ها این است که مقدار انرژی تابش- بازتابش شده از سطح با حساسیت بسیار بالا وابسته به مقدار رطوبت موجود در خاک سطحی است. به واسطه ارتباط مستقیم رطوبت خاک سطحی با پوشش گیاهی و همچنین با توجه به بازتاب شدید امواج مادون‌قرمز نزدیک از پوشش گیاهی می‌توان از شاخص‌های مرتبط با این مولفه جهت برآورد رطوبت خاک استفاده نمود.

در پژوهش‌های گذشته، رطوبت خاک بر اساس شاخص‌های NDVI و LST و یا شاخص‌های NDMI و NDVI برآورد شده است. از آنجایی‌که شاخص‌های NDVI و LST وابستگی نزدیکی با رطوبت خاک دارند و همچنین با توجه به کارایی شاخص NDMI در مطالعات خشک‌سالی و برآورد رطوبت خاک، ترکیب شاخص‌های LST، NDVI و NDMI می‌تواند موجب افزایش دقت مدل در برآورد رطوبت خاک گردد. در این پژوهش برای اولین بار در ایران تلاش شده است که با استفاده از تصاویر Landsat 8.0 OLI و شاخص گیاهی (NDVI) و شاخص‌های حرارتی (LST, NDMI) مقدار رطوبت سطحی خاک برآورد شود. انتظار می‌رود به واسطه محدوده‌های باندی باریک‌تر و وضوح مکانی بهتر این سنجنده نسبت به سنجنده مودیس که در پژوهش‌های ذکر شده در بالا مورد استفاده قرار گرفته است توابع انتقالی با دقت بهتری برای برآورد رطوبت خاک استخراج شود. بنابراین، هدف از انجام این پژوهش ارائه مدلی برای برآورد رطوبت خاک با استفاده از

مثلث^۱ است (۱۴ و ۱۶). ارتباط بین رطوبت خاک و شاخص پوشش گیاهی (VI) و دمای سطح زمین (LST) به مثلث جهانی^۲ معروف است. پوشش گیاهی و دمای سطح زمین وابستگی پیچیده‌ای با رطوبت خاک دارند. شاخص پوشش گیاهی اطلاعاتی را درباره وضعیت رشد و شرایط پوشش گیاهی سطح زمین ارائه می‌دهد و از طرفی دمای سطح زمین نیز وضعیت رطوبت خاک را منعکس می‌کند، بنابراین ترکیب این دو می‌تواند رابطه بالقوه را برای آشکار نمودن وضعیت رطوبتی خاک ایجاد نماید. مدل دیگری که برای برآورد رطوبت خاک در مناطق دارای تنوع پوشش گیاهی (پوشش گیاهی متراکم، تنک و خاک عاری از پوشش گیاهی) استفاده شده است، مدل دوزنقه‌ای^۳ است. این روش توسط کارلسون و همکاران (۱۹۹۴) ارائه شد (۲). این روش نشان داد که رابطه‌ای فراگیری بین مقدار رطوبت خاک با شاخص‌های NDVI و LST وجود دارد. به طوری‌که نمودار پراکندگی دوبعدی از شاخص گیاهی و دمای سطح زمین معمولاً تشکیل یک مثلث (۱۴) و یا دوزنقه (۱۱) را می‌دهد. این نمودار پراکندگی را مثلث فراگیر (دوزنقه) گویند فضای مثلث که به فضای LST-VI نیز معروف است از دو محور شاخص گیاهی (مانند NDVI) و دمای سطح زمین تشکیل می‌شود. با تشکیل این فضا، پژوهشگران مختلف با توجه به وابستگی این دو پارامتر (LST و NDVI) با رطوبت خاک، از روش‌های گوناگون برای برقراری ارتباط بین این آن‌ها استفاده می‌کنند.

کراپز و همکاران (۲۰۰۹) بیان نمودند، روش مثلثی روشی مناسب برای تخمین رطوبت خاک از طریق دما و شاخص پوشش گیاهی به دست آمده به‌وسیله سنجنش از دور است. این پژوهشگران سه

- 1- Triangular NDVI-T space
- 2- Universal VI-T Triangle
- 3- Trapezoid model

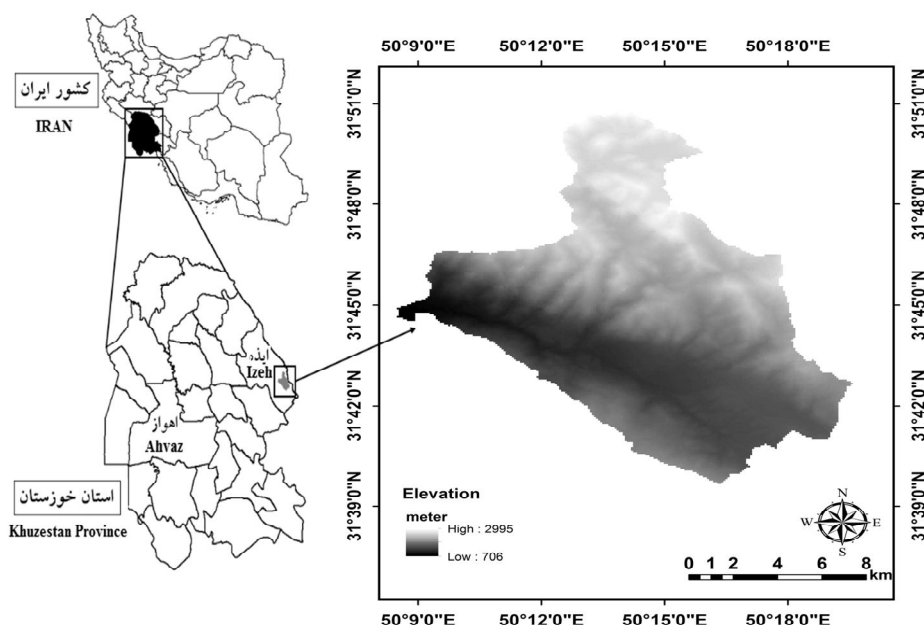
۱۶۳۴۴ هکتار است، که ۱۷/۲۱ درصد آن کاربری زراعت و ۲۴/۴۱ درصد مرتع و کاربری‌های جنگل با زیر اشکوب مرتع ۵۸/۳۸ درصد است. بنابراین بخش عمده منطقه مطالعاتی دارای کاربری جنگل است. بخش زراعی منطقه شامل کشاورزی دیم است که تحت کشت گندم و جو است. نقشه کاربری اراضی منطقه در شکل ۲ نشان داده شده است. آب‌وهوای منطقه مطالعاتی، تحت تأثیر ارتفاعات بلند و همچنین مجاورت با بخش‌های جنوبی کشور و خلیج فارس می‌باشد، بنابراین شرایط آب‌وهوایی کوهستانی بر آن حاکم می‌باشد. با توجه به روش طبقه‌بندی آمبرژه منطقه مطالعاتی دارای اقلیم نیمه‌مرطوب- مرطوب سرد می‌باشد. میانگین بارش سالانه منطقه مطالعاتی بر اساس داده‌ای سازمان هواشناسی استان خوزستان در دوره ۱۰ ساله (۱۳۸۶-۱۳۹۵) برابر ۴۸۸/۴ میلی‌متر محاسبه شد.

شاخص‌های LST، NDVI و NDMI بوده است. بدین‌منظور شاخص‌های مورد مطالعه از طریق تصاویر لندست محاسبه و مدل رگرسیونی به‌دست آمد و در نهایت مدل به‌دست آمده صحت‌سنجی شد.

مواد و روش‌ها

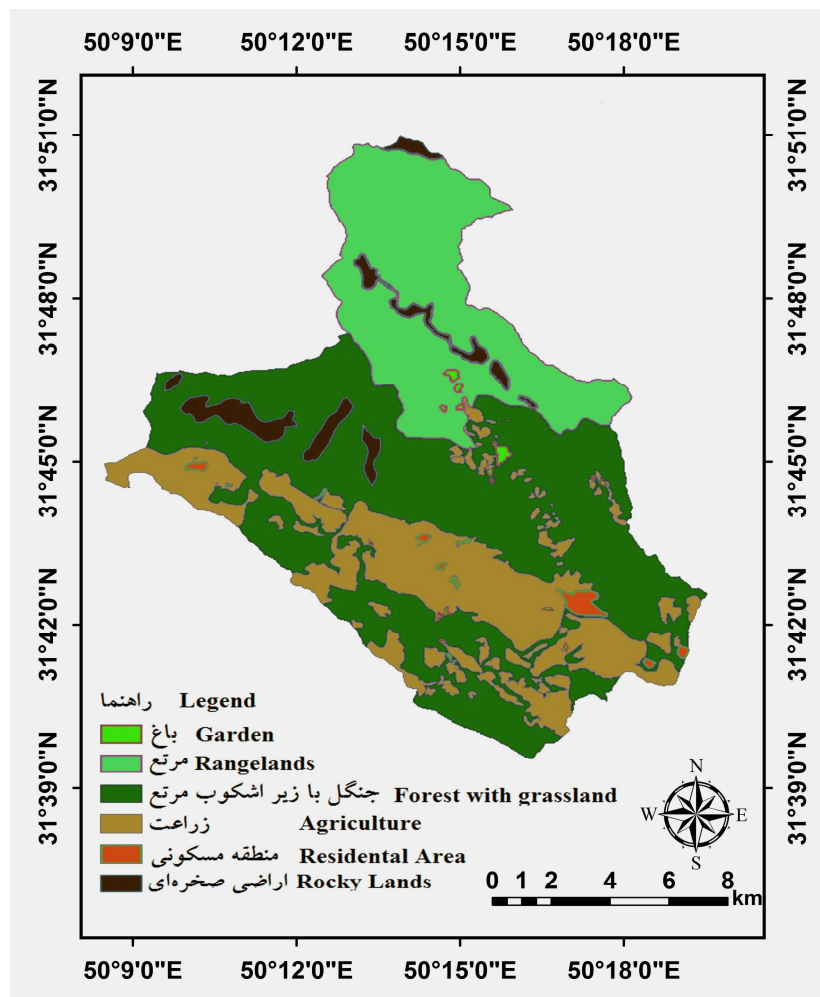
در این بخش ابتدا منطقه مورد مطالعه و سپس نحوه محاسبه شاخص‌ها شرح شده است. در انتها با استفاده از شاخص‌های محاسبه‌شده، تابع انتقالی جهت برآورد رطوبت خاک به‌دست آمد. و کارایی آن با استفاده از آماره‌های مختلف صحت‌سنجی شد.

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه، در استان خوزستان در حدود ۵۵ کیلومتری شرق شهرستان ایذه، در محدوده شهر دهدز و در موقعیت طول جغرافیایی $50^{\circ}08'06''$ تا $50^{\circ}20'03''$ شرقی و عرض جغرافیایی $31^{\circ}34'34''$ تا $31^{\circ}50'60''$ شمالی واقع شده است (شکل ۱). مساحت کل منطقه



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و نقشه ارتفاع منطقه مورد مطالعه.

Figure 1. Geographic location and elevation map the study area.



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه.

Figure 2. Land-use map of the study area.

استفاده از نرم‌افزار ENVI 5.1 انجام شده و شاخص‌های به‌کار رفته در این پژوهش به کمک نرم‌افزارهای ENVI 5.1 و ArcGIS10.3 به دست آمدند که در ادامه، روش‌شناسی هر یک از شاخص‌ها ارائه می‌شود.

شاخص اختلاف گیاهی نرمال شده (NDVI): این شاخص گیاهی از معروف‌ترین، ساده‌ترین و کاربردی‌ترین شاخص‌های گیاهی شناخته شده تا به امروز است. این شاخص برای اولین بار توسط روس (۱۹۷۳) ارائه شد. فرمول محاسبه این شاخص عبارت است از (۱۵):

تعداد ۴۵ نمونه خاک دست‌خورده با وزن تقریبی ۵۰۰ گرم از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر هم‌زمان با فصل رشد گندم و جو (کاربری زراعت) در تاریخ ۲ فوریه ۲۰۱۸ (۱۳ بهمن‌ماه ۱۳۹۶) برداشت و رطوبت خاک به روش وزنی اندازه‌گیری گردید. بافت خاک به روش هیدرومتری و مقدار مواد آلی خاک به روش اکسیداسیون تر و تیتراسیون با فروآمونوم سولفات اندازه‌گیری شد (۱۲). تصویر سنجنده لندست ۸ متناظر با اندازه‌گیری زمینی رطوبت خاک از سایت [usgs](https://earthexplorer.usgs.gov/) به نشانی: <https://earthexplorer.usgs.gov/> به شمار LC08_L1TP_164038_20180202 دانلود شد. سپس، پردازش‌های اولیه بر روی تصاویر با

K_2 ثابت حرارتی برای هر باند هستند که به ترتیب واحد آن‌ها $W/m^2/\mu m$ و درجه کلونین ($^{\circ}K$) است. در سنجنده حرارتی لندست ۸ برای باند ۱۰ مقادیر K_1 و K_2 به ترتیب برابر با $774/89$ و $1321/08$ است و برای باند ۱۱ مقادیر K_1 و K_2 به ترتیب برابر با $480/89$ و $1201/14$ است. λ طول موج مرکزی هر باند (میکرومتر) می‌باشد. پارامترهای به کار رفته در رابطه ۲ و ۳ در فایل فراداده تصاویر لندست ۸ وجود دارد. دمای به دست آمده بر حسب درجه کلونین می‌باشد، بنابراین برای تبدیل به درجه سانتی‌گراد از آن عدد $273/15$ کم می‌شود. بدین ترتیب دمای سطح زمین (در بالای جو یعنی سنجنده) محاسبه می‌شود.

شاخص اختلاف رطوبتی نرمال شده (NDMI):
این شاخص از داده‌های باندهای مادون‌قرمز نزدیک (P_{NIR}) و مادون‌قرمز میانی (P_{MIR}) با استفاده از رابطه ۴ به دست می‌آید

$$NDMI = \frac{P_{NIR} - P_{MIR}}{P_{NIR} + P_{MIR}} \quad (4)$$

باندهای مربوط به طول موج مادون‌قرمز نزدیک و میانی در لندست ۸ به ترتیب باندهای ۵ و ۶ می‌باشند (۴).

ایجاد تابع انتقالی: در این پژوهش به منظور برآورد رطوبت خاک در سطح وسیع تابع انتقالی ایجاد شد. برای ایجاد این تابع از رگرسیون خطی چندگانه^۴ استفاده شد؛ متغیر وابسته مقدار رطوبت خاک و متغیرهای مستقل شاخص‌های $NDVI$ ، LST و $NDMI$ بودند. تعداد ۳۰ نمونه خاک برای ایجاد تابع $NDMI$ و تعداد ۱۵ نمونه برای تعیین صحت تابع به دست آمده استفاده شد. برای ایجاد توابع انتقالی از برنامه SPSS نسخه ۲۲ استفاده شد.

4- Normalized Difference Moisture Index
5- Multiple Linear Regression

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

که در آن، RED باند قرمز، NIR مادون‌قرمز نزدیک است که در ماهواره لندست ۸ باندهای شماره ۴ و ۵ می‌باشند. این اندیس همان‌طور که از نام آن پیداست مقادیر نرمال دارد، یعنی دارای قدرمطلق کوچک‌تر یا مساوی یک می‌باشد. از این‌رو، بررسی آن توسط نمودارها و هیستوگرام‌ها به راحتی امکان‌پذیر است. مقدار اندیس گیاهی $NDVI$ برای مناطق تنک بین $0/05$ تا $0/1$ ، برای مناطق گیاهی معمولی بین $0/1$ تا $0/6$ و برای مناطق گیاهی بسیار متراکم و غنی بین $0/6$ تا $0/7$ است. مقدار آن برای آب، برف و یخ منفی است. برای خاک‌ها دارای مقادیر کم‌تر از $0/05$ و برای ابرها معمولاً برابر صفر است.

دمای سطح زمین^۱ (LST): محاسبه دمای سطح زمین در تصاویر ماهواره‌ای مختلف، متفاوت می‌باشد. در تصاویر لندست ۸ باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ برای برآورد دمای سطح زمین قابل‌استفاده هستند. برای این کار نخست DN^2 تصاویر به تابندگی^۳ تبدیل (رابطه ۲)، سپس رادیانس به دمای روشنایی تبدیل می‌شود (رابطه ۳).

$$LY = ML \times Qcal + AL \quad (2)$$

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (3)$$

که در آن، LY تابش طیفی ($W/m^2/\mu m$)، ML و AL ضرایب تبدیل مقدار پیکسل به بازتابش‌اند که به‌ازای هر باند مقادیر متفاوتی دارند. $Qcal$ عدد رقومی باند مربوطه است. T دمای سطح زمین، K_1 و

1- Land Surface Temperature
2- Digital Number
3- Radiance

سنجش آماری نتایج: برای بررسی آماری صحت پیش‌بینی مدل‌ها، از چهار شاخص آماری ضریب جرم باقی‌مانده^۱ (CRM) (رابطه ۵)، میانگین خطای مطلق^۲ (MAE) (رابطه ۶)، ضریب کارایی اصلاح‌شده^۳ (E) (رابطه ۷) و شاخص مطابقت اصلاح‌شده^۴ (d) (رابطه ۸) استفاده شد:

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (5)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |O_i - P_i| \quad (6)$$

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - P_i|}{\sum_{i=1}^n |O_i - \bar{O}|} \quad (7)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - P_i|}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)} \quad (8)$$

که در آن، O_i و P_i به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری‌شده و برآوردشده و n تعداد زوج مقادیر اندازه‌گیری‌شده برآورد شده رطوبت می‌باشد. مقدار CRM بیان‌کننده آن است که مدل موردنظر مقدار رطوبت خاک را بیش‌تر (مقادیر منفی) یا کم‌تر (مقادیر مثبت) از مقادیر واقعی برآورد می‌نماید (۱۵). مقدار MAE برابر صفر نشان‌دهنده تطبیق کامل مقادیر برآوردشده و اندازه‌گیری‌شده است. شاخص E نسبت بین پراکنش داده‌های اندازه‌گیری‌شده و برآوردشده را نشان می‌دهد. محدوده E از یک تا منفی بی‌نهایت است. E برابر یک نشان‌دهنده برابری مقادیر برآوردشده و اندازه‌گیری‌شده بوده و هرچه مقدار آن

از یک کم‌تر باشد دقت مدل کم‌تر است. شاخص d مقادیر برآوردشده را نسبت به اندازه‌گیری‌شده مقایسه می‌کند. مقدار شاخص d از صفر تا یک تغییر می‌کند مقدار d هرچه بیش‌تر باشد بدین معناست که مقادیر برآوردشده به مقادیر اندازه‌گیری‌شده نزدیک‌تر می‌باشد. بنابراین اگر تمامی مقادیر برآوردشده و اندازه‌گیری‌شده یکسان باشند، نتایج آمارها به صورت $CRM=0$ ، $MAE=0$ ، $E=1$ و $d=1$ خواهد بود.

نتایج و بحث

با توجه به اندازه‌گیری‌های زمینی در کاربری زراعی، خاک منطقه از لحاظ بافتی دارای بافت سنگین، و اکثریت منطقه دارای کلاس بافتی: لوم، لوم رسی و لوم رسی-سیلتی می‌باشد. از لحاظ ساختمان دارای ساختمان دانه‌ای و در بعضی نواحی بدون ساختمان است همچنین ماده آلی منطقه طبق نقاط اندازه‌گیری‌شده در بخش زراعی از ۱/۰۲ تا ۲/۳۹ بود. از آن‌جا که این پارامترها در حفظ و نگهداشت آب در خاک از اهمیت بالایی برخوردار هستند.

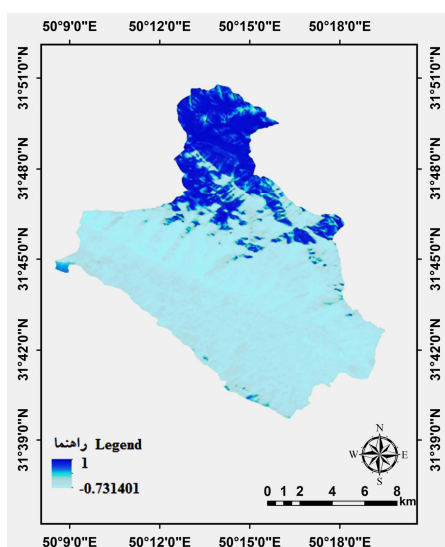
نقشه شاخص‌های پوشش گیاهی نرمال‌شده (NDVI)، اختلاف گیاهی نرمال‌شده (NMDI) و دمای سطح زمین (LST) مربوط به بهمن ۱۳۹۶ منطقه مطالعاتی به ترتیب در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ آمده است. همان‌طوری‌که ملاحظه می‌گردد بر اساس نقشه شاخص پوشش گیاهی استانداردشده حدود ۸۰٪ منطقه دارای پوشش گیاهی متوسط (۰/۱ تا ۰/۶) است. این مقدار تراکم متوسط پوشش گیاهی منطقه به این دلیل است که مرحله بین پنجه‌زنی و ساقه‌دهی گیاهان زراعی می‌باشد. همچنین در کاربری جنگل نیز زمان برگ‌دهی درختان و سایر زیربخش‌های پوشش گیاهی است. مطابق نقشه NDMI مقدار آن از ۰/۳۳- تا ۱ متغیر است و حدود ۷۰٪ منطقه دارای NDMI منفی می‌باشد که نشان‌دهنده عدم وجود آب سطحی در قسمت‌های مذکور است و بنابراین در جاهایی که آب

- 1- Coefficient of Residual Mass
- 2- Mean Absolute Error
- 3- Modified Coefficient Efficiency
- 4- Modified Index of agreement

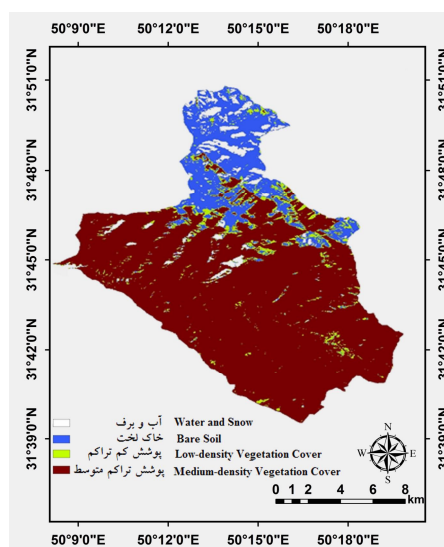
مقادیر دمای مثبت است و تنها حدود ۲۰٪ سطح منطقه دارای دمای منفی و زیر صفر درجه سلسیوس است که نشان‌دهنده وجود یک سطح پوشیده از برف در ارتفاعات منطقه است. همان‌طوری‌که ملاحظه می‌شود در ارتفاعات منطقه NDMI دارای مقادیر مثبت و شاخص پوشش گیاهی دارای مقادیر منفی و دارای خاک برهنه، آب و برف است، که نشان‌دهنده همبستگی کامل این شاخص‌ها با یکدیگر می‌باشد.

سطحی وجود دارد در نقشه با رنگ آبی مشخص شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌گردد مناطق دارای آب در واقع مناطق دارای ارتفاع زیاد و پوشیده از برف می‌باشند (شکل ۴).

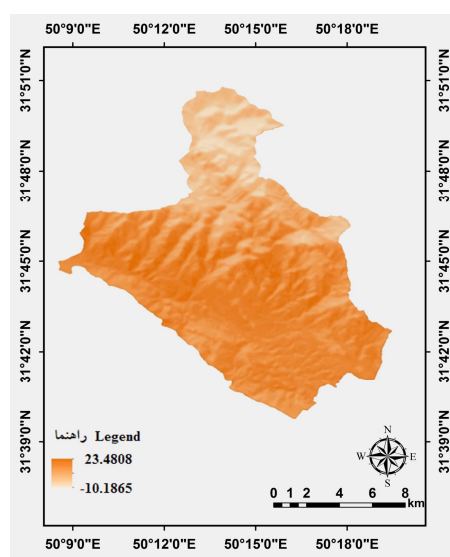
مطابق شکل ۵ دمای سطح زمین در بهمن‌ماه ۱۳۹۶ بین ۱۰- تا ۲۳ درجه سلسیوس متغیر بوده است. همان‌گونه که در نقشه LST مشاهده می‌شود حدود ۷۰-۸۰٪ دمای سطح منطقه دارای



شکل ۴- نقشه شاخص رطوبتی نرمال شده (۱۳ بهمن ۱۳۹۶).
Figure 4. NDMI index map of the study area (18th 2018).



شکل ۳- نقشه شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (۱۳ بهمن ۱۳۹۶).
Figure 3. NDVI map of the study area (18th 2018).



شکل ۵- نقشه دمای سطح زمین (۱۳ بهمن ۱۳۹۶).
Figure 5. LST index map of the study area (18th 2018).

مقادیر رطوبت خاک با شاخص LST، همبستگی منفی معنی‌دار در سطح ۱٪ و بین مقادیر رطوبت خاک با شاخص NDMI، همبستگی مثبت معنی‌دار در سطح ۵٪ و همچنین بین مقادیر NDMI و NDVI همبستگی مثبت معنی‌دار در سطح ۵٪ وجود دارد. بنابراین نتایج به‌دست آمده نشان‌دهنده همبستگی بین مقادیر رطوبت خاک با شاخص‌های موردنظر در این پژوهش است.

پس از محاسبه شاخص‌های NDVI، LST و NDMI توزیع نرمال بودن داده‌ها به‌وسیله آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف (KS) با استفاده از نرم‌افزار SPSS بررسی شد. نتایج آزمون نشان داد که داده‌های این شاخص‌ها دارای توزیع نرمال است. در مرحله بعد، به‌منظور بررسی ارتباط بین مقادیر رطوبت خاک و شاخص‌های فوق، آزمون همبستگی پیرسون انجام گرفت، نتایج این آزمون در جدول ۱ آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بین

جدول ۱- همبستگی بین مقادیر رطوبت خاک، NDMI، NDVI و LST.

Table 1. Correlation between soil moisture content (θ), NDMI, NDVI, LST.

	رطوبت خاک Soil Moisture	NDVI	NDMI	LST
LST	-0.684**	0.344	-0.059	1
NDMI	0.521*	0.581*	1	
NDVI	0.269	1		
رطوبت خاک Soil Moisture	1			

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده همبستگی معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد است.

Respectively, represents a significant correlation at the level of 5% and 1% respectively.

به‌دست آمده برابر ۰/۷۸ است. همچنین بر اساس اوزان ضرایب بتای استاندارد رگرسیون که از آن به‌عنوان ضریب تأثیر نیز یاد می‌شود. بیش‌ترین و کم‌ترین وزن‌ها به ترتیب با ۰/۸۱۲- و ۰/۲۳۳ مربوط به LST و NDMI می‌باشد، که نشان‌دهنده تأثیر منفی دمای سطح زمین بر رطوبت خاک است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که دما نقش مهمی در رطوبت خاک دارد، به طوری که با افزایش دما تبخیر و تعرق بالا رفته و رطوبت خاک کاهش می‌یابد و بنابراین بر فعالیت‌های زیستی و متابولیکی گیاه اثرگذار خواهد بود که به تبع آن تولید محصول نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در همین راستا انگمان (۱۹۸۵) در پژوهشی

همچنین در این پژوهشی تابع انتقالی جهت برآورد رطوبت خاک (θ) با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی و دمای سطح خاک و شاخص نرمال شده رطوبت ارائه شد. بدین‌منظور پس از محاسبه شاخص‌ها و آزمون آن‌ها، به‌منظور برآورد رطوبت خاک با استفاده از شاخص‌های LST، NDMI و NDVI به کمک نرم‌افزار SPSS رابطه رگرسیونی بین مقادیر رطوبت خاک و شاخص‌های ذکر شده، به‌دست آمد. رابطه رگرسیون خطی به روش ENTER بین مقادیر رطوبت خاک (θ) و مقادیر شاخص‌های NDVI، LST و NDMI به‌دست آمد (جدول ۲). براساس این جدول مقدار ضریب تبیین برای تابع

طریق تصاویر ماهواره‌ای قابل محاسبه هستند، برآورد نمود.

$$\theta = 27.704 - 1.223 LST + 17.976 NDMI + 19.131 NDVI \quad (9)$$

که در آن، θ مقدار رطوبت وزنی خاک (%) سطحی است.

به این نتیجه رسید که تغییرات رطوبت خاک، تأثیرات زیادی بر ویژگی‌های حرارتی خاک دارد. به عبارت دیگر، تغییرات روزانه دما، همبستگی بالایی با مقدار رطوبت خاک دارد. بر اساس نتایج به دست آمده و برای دستیابی به رابطه برآورد رطوبت خاک با شاخص‌های ذکر شده، بر اساس تابع به دست آمده (رابطه ۹) می‌توان مقدار رطوبت خاک را به وسیله شاخص‌های NDVI، LST و NDMI که از

جدول ۲- ضرایب رگرسیونی و معیارهای آماری تابع رگرسیونی به دست آمده.

Table 2. Regression coefficients and statistical measures of regression function.

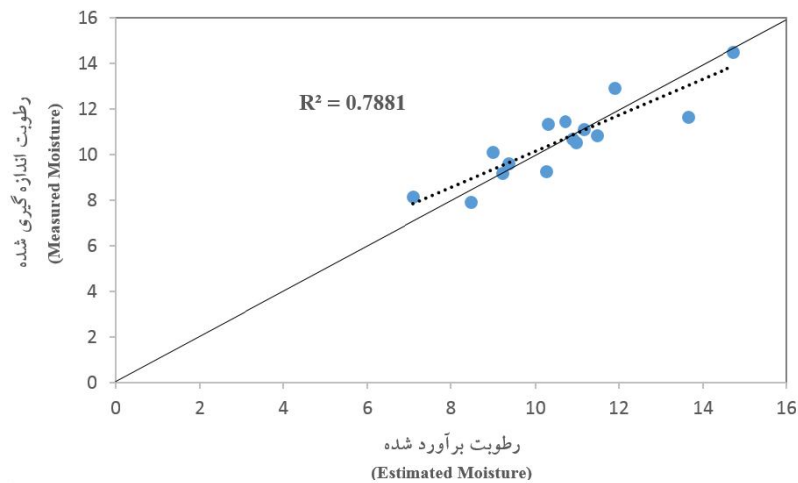
مدل Model	ضریب استاندارد نشده		ضریب استاندارد بتا	t	Sig.	r	R ²	R ² _{adj}
	Unstandardized Coefficients	انحراف استاندارد Std. Error	Standardized Coefficients Beta					
ثابت Constant	27.704	3.417		8.105				
LST	-1.223	0.236	-0.812	-5.172	0.001	0.888	0.788	0.73
NDMI	17.976	14.009	0.233	1.283				
NDVI	19.131	8.910	0.414	2.147				

باشد و بنابراین ۰/۰۰۱ عدد قابل قبولی است. در شکل ۵ مقدار رطوبت خاک اندازه‌گیری شده و برآورد شده با مدل رگرسیون به دست آمده نشان داده شده است. همان طوری که مشاهده می‌شود مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده همبستگی خوبی دارند. شکل ۶ نشان می‌دهد داده‌های اندازه‌گیری شده و برآورد شده در اطراف خط پراکنده شده‌اند در صورتی که داده‌ها در زیر خط ۱:۱ قرار بگیرند بدین معنی است که مدل برآوردی بیش‌تر از مقادیر اندازه‌گیری شده داشته است و اگر در بالای آن خط قرار گیرند یعنی مدل برآوردی کم‌تر داشته است. همچنین نقشه رطوبتی استخراج شده با استفاده از مدل رگرسیونی در شکل ۶ نشان داده شده است. طبق این شکل محدوده رطوبتی منطقه بین صفر تا ۱۵ درصد است. این مقدار با مقادیر اندازه‌گیری شده میدانی همبستگی بالایی دارد. بنابراین

برای بررسی آماری صحت پیش‌بینی مدل، از شاخص‌های آماری ضریب جرم باقی‌مانده (CRM)، میانگین خطای مطلق (MAE)، ضریب کارایی اصلاح شده (E) و شاخص مطابقت اصلاح شده (d) استفاده شد. با کمک آماره‌های ذکر شده می‌توان ارزیابی صحیحی از تابع انتقالی به دست آمده داشت. نتایج صحت‌سنجی نشان داد مقادیر شاخص‌های آماری MAE، CRM، E و d به ترتیب برابر ۰/۰۰۱۰، ۰/۰۰۱۳، ۰/۹۹۹۸ و ۰/۹۹۹۹ است. این نتایج به خوبی نشان می‌دهد تابع به دست آمده برآورد خیلی خوبی از رطوبت خاک سطحی منطقه مطالعاتی داشته است. مقدار CRM نشان می‌دهد که مدل به دست آمده، مقدار رطوبت خاک را ۰/۰۰۱ بیش‌تر از مقادیر واقعی آن برآورد می‌نماید. که این تفاوت ممکن است به علت خطای نمونه‌برداری و یا سایر خطاهای انسانی حاصل شده

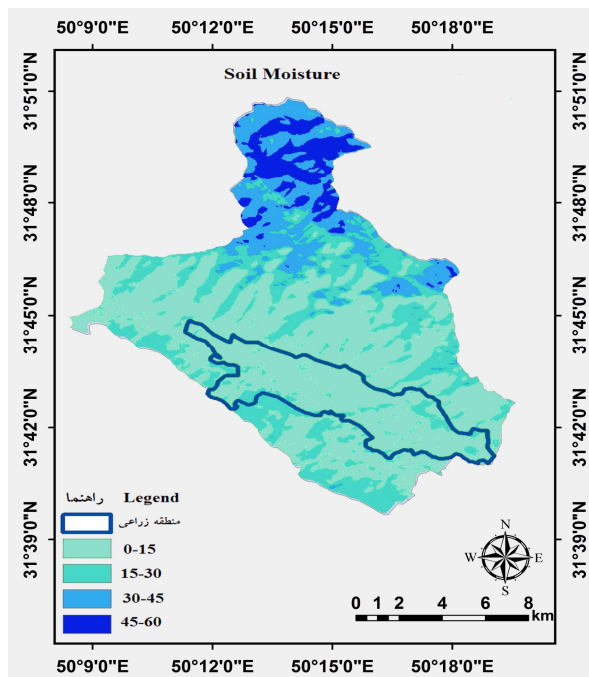
زمینی با شاخص‌های NDVI و LST حاصل از محصولات شاخص گیاهی و دمای سطحی سنجنده MODIS، روابط رگرسیونی را برای برآورد رطوبت خاک به دست آوردند که نتایج حاصله همبستگی بالایی با مشاهدات زمینی نشان داد (۹). نقشه رطوبتی برآوردشده با شاخص‌های گیاهی و حرارتی در شکل ۷ آمده است.

می‌توان نتیجه گرفت که این مدل کارایی بالایی برای برآورد رطوبت خاک دارد. خان‌محمدی و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی با استفاده از تصاویر مودیس مقدار ضریب تبیین ۰/۶۵ را به دست آوردند (۸). همچنین بیان نمودند که، این شاخص‌ها قادر به پیش‌بینی رطوبت خاک سطحی هستند. در پژوهشی دیگر لین (۲۰۰۸) با تلفیق داده‌های رطوبت خاک



شکل ۶- مقایسه مقادیر رطوبت خاک وزنی (%) اندازه‌گیری شده و برآوردشده.

Figure 6. Comparison between measured and estimated soil moisture content.



شکل ۷- نقشه رطوبت وزنی (%) برآوردشده با شاخص‌های گیاهی و حرارتی.

Figure 7. Estimated moisture map by vegetation and thermal indicators.

نتیجه گیری کلی

در این پژوهش تلاش بر آن شد که با استفاده از شاخص گیاهی (NDVI) و شاخص‌های حرارتی (LST, NDMI) استخراج شده از تصاویر Landsat 8.0 OLI تابع انتقالی به دست آید تا مقدار رطوبت سطحی خاک برآورد شود. بدین منظور همزمان با تصویربرداری سنجنده Landsat 8.0 در تاریخ سیزدهم بهمن ۱۳۹۶ (۲ فوریه ۲۰۱۸) نمونه برداری از خاک سطحی منطقه انجام شد و مقدار رطوبت و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد. همزمان با نمونه برداری تصاویر ماهواره‌ای مربوط به همان زمان تهیه شد. سپس شاخص‌های گیاهی و حرارتی ذکر شده محاسبه گردیدند. جهت برآورد رطوبت خاک سطحی تابع انتقالی به روش رگرسیون خطی چندگانه ایجاد شد. این مدل با استفاده از شاخص‌های فوق مقدار رطوبت سطحی خاک را با دقت خوبی برآورد کرد ($R^2=0.78$). نتایج به دست آمده از مدل به دست

آمده برآورد رطوبت خاک در این پژوهش نشان داد که این مدل قادر به برآورد مقدار رطوبت خاک در پهنه‌های وسیع جغرافیایی با دقت قابل قبول است. نقشه خاک شبیه‌سازی شده به وسیله این مدل قادر است ۷۹ درصد تغییرات رطوبت خاک را در منطقه در دامنه رطوبتی و فصل مورد مطالعه پیش‌بینی کند که این نشان‌دهنده کاربرد شاخص‌ها به ویژه NDVI و اهمیت آن در مطالعات و برآورد رطوبت خاک است. در این پژوهش از تصاویر لندست برای برآورد شاخص‌های گیاهی و حرارتی استفاده شده و اولین مدل‌سازی با استفاده از تصاویر لندست در زمینه برآورد رطوبت خاک در ایران ارائه گردید. بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش می‌توان پیشنهاد کرد از تصاویر ماهواره‌ای لندست و شاخص‌های گیاهی و حرارتی می‌توان برای برآورد رطوبت سطحی خاک استفاده کرد.

منابع

1. Baghdadi, N., Aubert, M., Cerdan, O., Franchisteguy, L., Viel, C., Martin, E., Zribi, M., and Desprats, J.F. 2007. Operational mapping of soil moisture using synthetic aperture radar data: application to the Touch Basin (France). *Sensors*. 7: 10. 2458-2483.
2. Carlson, T., Gillies, R., 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. *Remote Sensing Reviews*. 9: 1-2. 161-173.
3. Cibula, W.G., Zetka, E.F., and Rickman, D.L. 1992. Response of thematic mapper bands to -plant water stress. *Inter. J. Rem. Sens.* 13: 10. 1869-1880.
4. Engman, E.T. 1985. Partial Area Hydrology and Remote Sensing. *J. Hydrol.* 81: 3-4. 211-251.
5. Homae, M., and Farrokhan Firouzi, A. 2008. Deriving point and parametric pedotransfer functions of some gypsiferous soils. *Austr. J. Soil Res.* 46: 3. 219-227.
6. Krapez, J.C., Oliosio, A., and Coudert, B. 2009. Comparison of three methods based on the Temperature-NDVI diagram for soil moisture characterization. P 1-12, In: M.U. Neale Christopher and A., Maltese (eds), *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems and Hydrology XI*, Proc. of SPIE Vol. 7472, 74720Y, Berlin, Germany.
7. Khanmohamadi, F., Homae, M., and Noroozi, A.A. 2015. Soil Moisture Estimating with NDVI and LAND Surface Temperature and Normalized Moisture index using MODIS images. *J. Soil Water Resour. Cons.* 4: 2. 37-45. (In Persian)
8. Lin, M.L. 2009. Monitoring Drought Dynamics in the Ejn Oasis using Drought Indices from MODIS Data. *Geoscience and Remote Sensing Symposium*. 4: 834-837.

9. Lunt, L.A., Hubbard, S.S., and Rubin, Y. 2005. Soil moisture content estimation using ground penetrating radar reflection data. *J. Hydrol.* 307: 1. 254-269.
10. Mekonnen, D.F. 2009. Satellite remote sensing for soil moisture estimation: Gumara Catchment, Ethiopia. M.Sc. Thesis of Geo-information Science and Earth Observation, Specialisation: (Integrated -Watershed Modelling and Management). WREM Department of ITC, Enschede, the Netherlands, 120p.
11. Moran, M.S., Clarke, T.R., Inoue, Y., and Vidal, A. 1994. Estimating crop water deficit using the relation between surface air temperature and spectral vegetation index. *Remote Sens. Environ.* 49: 3. 246-263.
12. Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum. P 181-199, F. Matter (eds.), In: *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties.* American Society of Agronomy, Madison, WI.
13. Nouri, M., Homaei, M., and Bybordi, M. 2013. Parametric Assessment of Soil Retention at Presence of Petroleum in Three-phase system. *J. Soil Water Resour. Cons.* 2: 2. 15-24. (In Persian)
14. Price, J.C. 1990. Using Spatial Context in Satellite Data to Infer Regional Scale Evapotranspiration. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.* 28: 5. 940-948.
15. Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., and Deering, D.W. 1973. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351, Washington DC, 10-14 December 1973, 309-317.
16. Sandholt, I., Rasmussen, K., and Andersen, J. 2002. A Simple Interpretation of the Surface Temperature/Vegetation Index Space for Assessment of Surface Moisture Status. *Remote Sens. Environ.* 79: 2. 213-224.
17. Wang, L., and Qu, J.J. 2007. NMDI: A Normalized Multi-Band Drought Index For Monitoring Soil and Vegetation Moisture with Satellite Remote Sensing. *Geophysical Research Letters.* 34: 20405. 1-5.
18. Western, A.W., and Grayson, R.B. 1998. The Tarrawarra data set: soil moisture patterns, soil characteristics, and hydrological flux measurements. *Water Resource Research.* 34: 10. 2765-2768.
19. Willmott, C.J., and Wicks, D.E. 1980. An empirical method for the spatial interpolation of monthly precipitation within California. *Physical Geography.* 1: 1. 59-73.
20. Yang, X., Wu, J.J., Shi, P.J., and Yan, F. 2008. Modified Triangle Method to Estimate Soil Moisture Status with Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Products. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.* XXXVII: B8. 555-560.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 26(4), 2019

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2019.15306.3053

Difference Vegetation Index (NDVI), land surface temperature (LST) and normalized moisture (NDMI) indices

F. Hosseini Chamani¹, *A. Farrokhian Firouzi² and H. Amerikhah³

¹M.Sc. Student, Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, ²Associate Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, ³Instructor, Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Received: 06.26.2018; Accepted: 04.16.2019

Abstract

Background and Objectives: Soil moisture is one of the key variables which by controlling evapotranspiration processes influences the water cycle and heat exchange between the earth and the atmosphere. The amount of soil moisture is also important for hydrological, biological and biochemical cycles. With the help of soil moisture information in regular intervals, the degree of drought development can be determined in regions with dry climates. Furthermore, continuous monitoring of soil moisture in agricultural areas can help to plan irrigation of crops effectively. Soil moisture is also used to identify areas susceptible to fire in forest areas. Therefore, monitoring of soil moisture is important in any regions and different time periods. Due to factors such as lack of uniformity in physical properties of soil, topography, land cover, evapotranspiration and rainfall, soil moisture is known as a variable factor in spatial and temporal intervals. Therefore, the use of conventional and traditional methods for soil moisture determination (such as gravimetric and neutron probe) is not appropriate to understand the spatial and temporal variation of this parameter in large scales. To resolve this problem in past two decades, remote sensing technology (especially in visible/infrared spectrum) widely used to estimate of soil moisture indirectly. The objective of this study was to estimate surface soil moisture using Normalized Difference Moisture Index (NDMI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Land Surface Temperature (LST).

Materials and Methods: For this purpose, Landsat 8 satellite imagery was downloaded at the same time as ground sampling. The samples were transferred to the laboratory and soil moisture was measured by weighted method. Then, using the expert software such as ArcGIS, the indices were estimated and the values of these indicators were transferred to SPSS software for statistical regression. In this study, a PTF were obtained to predict soil moisture condition using LST and NDVI and NDMI derived from Landsat 8 data. Multiple linear regression method was used to derive the PTF. After derivation of the pedotransfer function, the accuracy of the derived PTF was evaluated. This research was carried out in the Dehzad area of Izeh city of Khuzestan province.

Results: Comparison between measured and predicted soil moisture values indicated that the PTF had good prediction ($R^2=0.78$), Coefficient of Residual Mass (CRM), Mean Absolute Error (MAE), Modified Coefficient Efficiency (E), Modified Index of agreement (d) also showed that the model had good performance (CRM=0.001, MAE=0.0013, E=0.9998 and d=0.9999). Furthermore, a soil moisture map was obtained for the study area. The result indicated that

* Corresponding Author; Email: a.farrokhian@scu.ac.ir

Normalized Difference Moisture *Index* (NDMI), Normalized Difference Vegetation *Index* (NDVI) and Land Surface Temperature (LST) can be used to predict soil surface moisture content successfully.

Conclusion: The result of this research has been presented by a PTF and in the form of soil moisture map. The soil moisture map simulated by this model can predict 78% of soil moisture variation in the region.

Keywords: Land Surface Temperature (LST), Normalized Difference Moisture Index (NDMI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Pedotransfer Functions (PTFs), Soil moisture