

مقاله پژوهشی

روش برآورد رطوبت خاک با استفاده از تکنیک سنجنش از دور توسط ماهواره Landsat

سید فرشید موسوی زاده^۱ - حسین انصاری^{۲*} - علیرضا فریدحسینی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۴

چکیده

خشکسالی یک فاجعه طبیعی پیچیده است که در سطح جهان زیاد اتفاق می‌افتد. رطوبت خاک به عنوان مستقیم‌ترین و مهم‌ترین متغیر توصیف خشکسالی، از جمله اطلاعات اساسی برای نظارت از راه دور بر وقایع خشکسالی و تخمین عملکرد محصول می‌باشد. برای کاهش نمونه‌برداری میدانی و استفاده همزمان از مدل‌های گیاهی برای تخمین عملکرد محصول استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سهل‌ترین راه حل می‌باشد. در این پژوهش، با استفاده از روشی رطوبت خاک با فضای بازتاب طیفی نزدیک به مادون قرمز در مقابل باند طیفی قرمز (Red - NIR) تخمین و توسعه داده شد. در ابتدا فضای انعکاس طیفی Red-NIR پس از تصحیحات اتمسفری به صورت نمودار با استفاده از تصاویر ماهواره Landsat 7 و سنجنده ETM⁺ با روش اصلاح شده هندسی ایجاد شد. سپس با استفاده از معادله خط برازش شده در این نمودارها، مقادیر با محاسبات ریاضی به رطوبت حجمی تبدیل و با میانگین مقادیر رطوبت خاک اندازه‌گیری شده در دشت نیشابور (خراسان رضوی) در وسعت ۱۳ هکتار در شش روز در طی دوران کشت محصول مقایسه و اعتبارسنجی شد. نتایج نشان داد برآورد رطوبت خاک که با روش هندسه فضایی در سطح خاک صورت گرفت با توجه به تطابق شش تصویر ماهواره‌ای از لحاظ زمان با اندازه‌گیری‌های میدانی، شاخص آماری NRMSE برابر ۱۸ درصد بدست آمد که می‌توان دقت انجام کار را به غیر از زمان‌های ۲۸ نوامبر و ۳۰ دسامبر که وضعیت ابرناکی وجود داشت و باعث شد تصویربرداری خطای بیشتری داشته باشد، رضایت‌بخش دانست. بنابراین نتیجه‌گیری شد که مدل ساده و کارآمد هندسه فضایی Red-NIR توانایی زیادی برای تخمین رطوبت سطح خاک در شرایط جوی مساعد را داشته باشد و می‌توان از این روش برای مدل‌سازی گیاهی به عنوان اطلاعات ورودی استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: آب خاک، بازتاب طیفی، محاسبات ریاضی، مدل هندسه فضایی Red-NIR

مقدمه

اصلی میزان تبخیر و تعرق است که می‌تواند آن را تحت تأثیر قرار دهد. رطوبت خاک را می‌توان به عنوان مستقیم‌ترین و مهم‌ترین متغیر توصیف‌کننده خشکسالی دانست که به عنوان پارامتر اصلی توصیف گردش آب و تبادل انرژی بین سطح و جو است (۳). روش‌های کوچک‌سازی از لحاظ مقیاس برای رطوبت خاک را می‌توان در سه گروه عمده شامل روش مبتنی بر ماهواره، روش استفاده از داده‌های اطلاعات جغرافیایی و روش‌های مبتنی بر مدل تقسیم‌بندی کرد (۴). از همین روش‌ها برای الگوهای طیفی متفاوت در طول موج‌های مختلف، داده‌های سنجنش از دور از مرئی تا مایکروویو به طور گسترده‌ای در پایش رطوبت خاک استفاده شده است که نتیجه می‌شود بازتاب طیفی با افزایش رطوبت خاک در محدوده مرئی و مادون قرمز نزدیک (NIR) کاهش می‌یابد. بنابراین از این روش‌ها برای برآورد

در دهه گذشته روش‌های مبتنی بر ماهواره از جمله روش‌های سنجنش از دور حرارتی و مایکروویو، در بسیاری از مطالعات برای تشخیص رطوبت سطح خاک به صورت منطقه‌ای استفاده شده است (۱). روش سنجنش از دور حرارتی برای بررسی رطوبت برای خاک لخت کاملاً موثر است اما همبستگی ضعیفی برای سطوح با پوشش گیاهی نشان می‌دهد. علاوه بر این، در صورت وجود اختلاف دما در روز استفاده گسترده از این روش را به چالش می‌کشد. تصاویر ماهواره‌ای توانایی اندازه‌گیری رطوبت را با توجه به شرایط محیطی در سطح را امکان‌پذیر می‌کند. بنابراین در مقایسه با اندازه‌گیری میدانی، تکنیک‌های سنجنش از دور امیدوارکننده هستند زیرا آن‌ها قادر به اندازه‌گیری‌های مکانی با هزینه نسبتاً کم است (۲). تأمین آب از علل

(Email: Ansary@um.ac.ir

(*) - نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/JSW.2021.71524.1070

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی

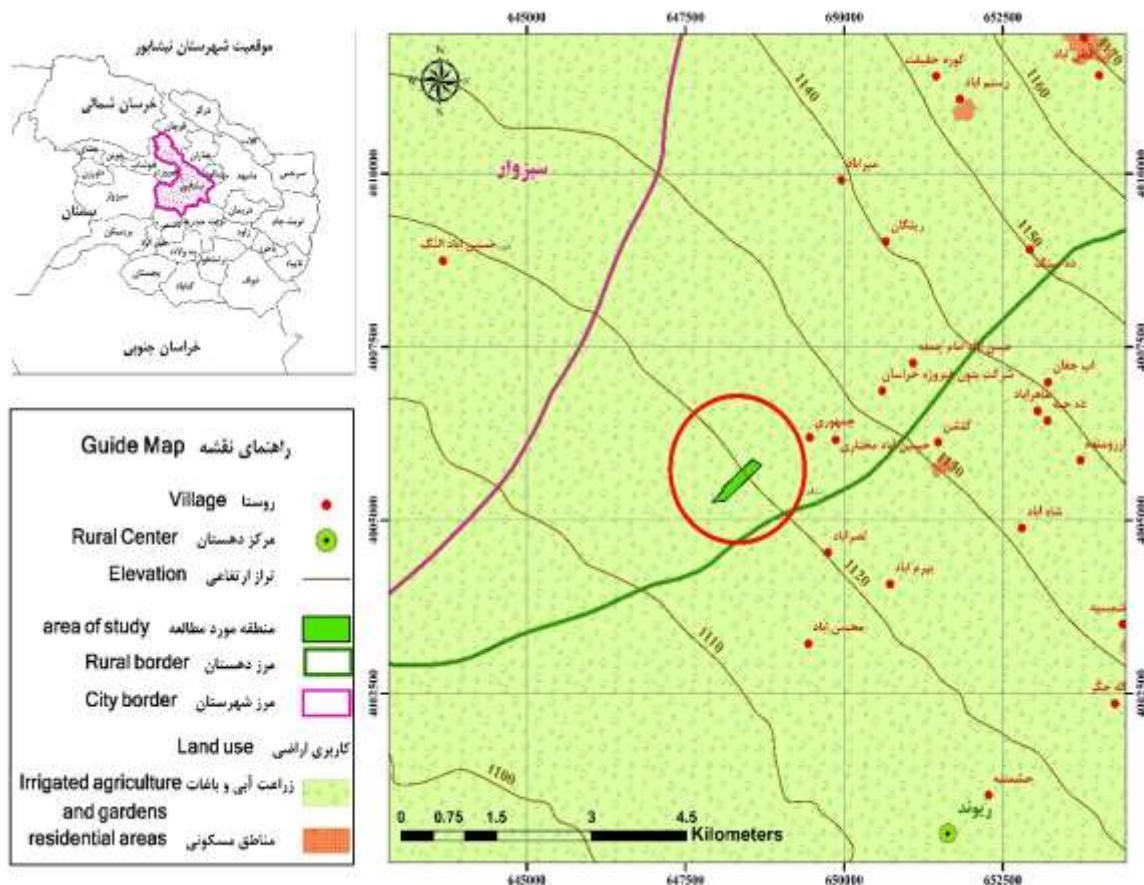
در این مطالعه با استفاده از اطلاعاتی که توسط زکی (۱۱) ارائه شد رطوبت اندازه‌گیری شده توسط سنسور رطوبتی با رطوبت بدست آمده توسط تصاویر ماهواره مقایسه خواهد شد. این مطالعه در دشت نیشابور استان خراسان رضوی جهت اندازه‌گیری رطوبت در ۱۶ نقطه به وسعت ۱۳ هکتار نمونه‌برداری شد (شکل ۱). نمونه‌برداری به صورت روزانه انجام شد که با زمان‌هایی که تصویربرداری شده بود مطابقت صورت پذیرفت. اغلب در این منطقه گندم، پنبه و کلزا کشت می‌شود و بافت خاک در ۱۰ سانتی‌متری لومی است اقلیم منطقه نیز گرم و خشک می‌باشد ضمن اینکه در مزرعه انتخاب شده محصول گندم زمستانه کشت شده بود که از نوامبر ۲۰۱۲ تا مارس ۲۰۱۳ به طول انجامید (۱۱). برای تخمین رطوبت خاک توسط ماهواره نیاز است تا شرایط محیطی و رشد گیاه مشخص باشد بنابراین در اوایل دوره رشد بدلیل اینکه محصول رشد کمی دارد می‌توان گفت که خاک لخت است و رفته رفته گیاه رویش پیدا می‌کند بنابراین رویش گیاه به دلیل پوشاندن خاک مورد اهمیت می‌باشد. از لحاظ تغذیه آب ورودی به زمین، محل مورد مطالعه را علاوه بر بارندگی تحت تاثیر آبیاری و لزوماً تبخیر و تعرق در نظر گرفته خواهد شد که این خود هنگام تصویربرداری توسط ماهواره حائز اهمیت است. با توجه به قدرت تصویربرداری ماهواره، در این مطالعه بررسی بافت خاک در نظر گرفته نشد (۱۲). بنابراین حجم رواناب سطحی و شارژ مجدد آب زیرزمینی از طریق میزان نفوذ آب در خاک به رطوبت‌خاک نسبت داده خواهد شد (۱۳).

اطلاعات و داده‌های مورد استفاده

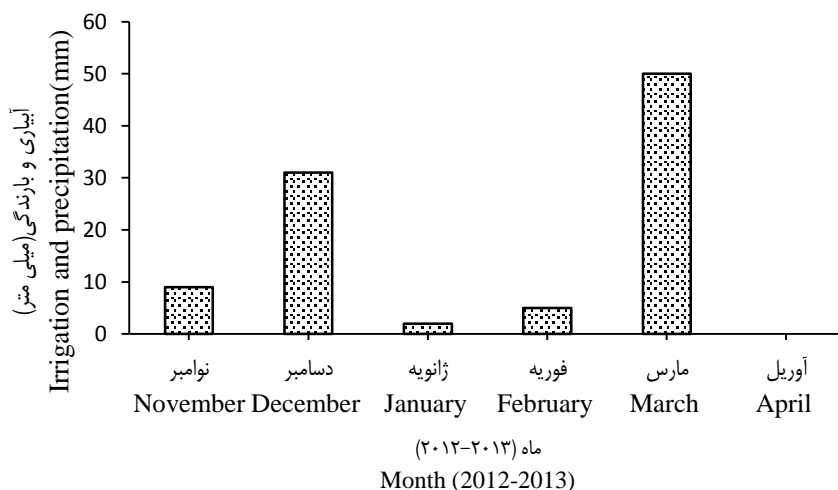
شکل ۲ مجموع میزان تغذیه ورودی به زمین را در ماه‌های مختلف طی دوران کشت گیاه نشان می‌دهد که بیشترین تغذیه در مارس ۲۰۱۳ به میزان ۵۰ میلی‌متر اتفاق افتاده است. مقدار بارندگی با توجه به اطلاعات حاصل از ایستگاه باران‌سنجی روح‌آباد در نیشابور بدست آمده است که شکل ۳ تغییرات دمایی در ایستگاه فدیشه نیشابور به صورت حداکثر و حداقل دما در ماه‌های مختلف مشخص شده است. ایستگاه فدیشه و روح‌آباد به دلیل نزدیکی به محل انتخاب شد. با توجه به اینکه ماهواره Landsat 7 با فواصل زمانی متفاوت تصویربرداری انجام می‌دهد تعداد شش تصویر (۱۲ نوامبر ۲۰۱۲، ۲۸ نوامبر ۲۰۱۲، ۱۴ دسامبر ۲۰۱۲، ۳۰ دسامبر ۲۰۱۲، ۱۶ فوریه ۲۰۱۳ و ۴ مارس ۲۰۱۳) در مدت زمان کاشت گیاه انتخاب و بررسی شد.

رطوبت‌خاک با استفاده از اطلاعات ماهواره برای بودجه‌بندی آب و سایر کاربردهای هواشناسی و کشاورزی می‌توان استفاده کرد (۵). از تکنیک سنجش از دور با استفاده از ماهواره‌های Landsat 7 و 8 در مزرعه برنج که در کشور چین صورت گرفت، نتایج نشان از دقت بالا داشت (۶). در مطالعه‌ای دیگر، یک روش جدید برای بازیابی رطوبت‌خاک‌سطح تحت شرایط پوشش گیاهی جزئی براساس همکوشی بین داده‌های رادار ماهواره Sentinel و Landsat برای حذف اثر پوشش گیاهی انجام شد که با ساخت مدلی برای برآورد محتوای آب پوشش گیاهی به مدل ابر-آب تبدیل شد. این روش در انگلستان و اسپانیا مورد آزمایش قرار گرفت که در نتیجه مدل توانست در حذف ابر و آب موجود در جو خوب عمل نماید (۷). در مطالعه محمد و همکاران (۸) که در مصر انجام شد بررسی‌ها با استفاده از ماهواره Landsat 7 و Sentinel 1 بدست آمد. نتایج آنان نشان داد با محاسبه شاخص آماری R^2 برای پیش‌بینی رطوبت خاک همبستگی بالایی برای رطوبت حجمی خاک و شاخص رطوبت‌خاک وجود دارد. در پژوهشی با استفاده از تصاویر Sentinel 1 در کشور ایتالیا برای چمن جهت بازیابی اطلاعات رطوبت‌خاک استفاده شد و روش‌های متفاوتی بررسی شد که روش ساده‌سازی پارامترها توصیه گردید (۹). همچنین با استفاده از تصاویر همین ماهواره در ایران با سه الگوریتم با رطوبت‌خاک واقعی نتایج بررسی شد و الگوریتم شبکه عصبی رضایت‌بخش بود (۱۰).

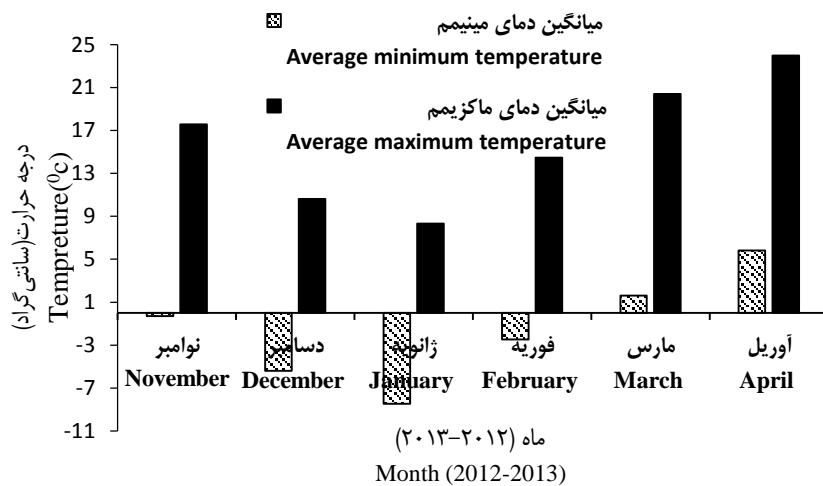
بنابراین، این ضرورت وجود دارد جهت کاهش عملیات اجرایی در مزرعه برای پیش‌بینی عملکرد محصول و سایر اطلاعات خواسته شده توسط کشاورزان از جمله برنامه آبیاری و انتخاب روش آبیاری مناسب از تکنیک معرفی شده در این پژوهش برای شبیه‌سازی مزرعه کشاورزی استفاده نمود تا کشاورزانی که از مسئولین جهاد کشاورزی درخواست برنامه برای محصول خود می‌نمایند راه کاری ارائه شود. بنابراین می‌توان هدف از این مقاله را ارائه روشی به عنوان اطلاعات ورودی برای برآورد رطوبت‌خاک جهت مدل‌سازی گیاهی دانست. با توجه به این که اطلاعات مورد نیاز برای مدل‌سازی گیاهی، در اختیار داشتن رطوبت‌خاک طی دوره کشت است می‌توان با تلفیق سایر اطلاعات عملکرد گیاه را تخمین زد. بنابراین برای تخمین رطوبت سطحی خاک (۰-۱۰ سانتی‌متر) با برآزش معادله خط نمودار باند قرمز و باند مادون قرمز نزدیک و انجام عملیات ریاضی می‌توان پهنه‌بندی رطوبت سطحی خاک را بدست آورد. به طور ساده‌تر می‌توان بیان کرد که نوآوری این مطالعه ارائه روشی ساده جهت استفاده از تصاویر ماهواره Landsat 7 است که برای تخمین رطوبت سطحی مناطقی از کره زمین جهت حذف نمونه‌برداری میدانی و استفاده بهینه برای کشاورزی است. یکی از مزیت‌های این روش تخمین یکی از اطلاعات ضروری مزرعه است که به عنوان مقادیر ورودی برای مدل‌سازی گیاهی نیاز است.



شکل ۱- موقعیت مکانی محل مورد مطالعه در دشت نیشابور
Figure 1- Location of the study site in Neishabour plain



شکل ۲- مجموع تغذیه ورودی به زمین (بارندگی و آبیاری) در منطقه مطالعاتی در دشت نیشابور
Figure 2- Total inlet feeding to the ground (rainfall and irrigation) in the study area in Neishabour plain



شکل ۳- تغییرات دمایی طی سال های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۳ در ایستگاه فدیسه نیشابور در منطقه مطالعاتی
Figure 3- Temperature changes during 2012 to 2013 at Fadisheh station in Neishabour in the study area

قسمت توصیف کرد: یکی از پراکندگی ناشی از پوشش گیاهی و دومی پراکندگی از زمین بدون پوشش گیاهی است. این مدل نسبتا ساده و عملی اغلب برای تخمین اطلاعات مرتبط در مناطق تحت پوشش گیاهی استفاده می شود (۱۵). از معادلات ۱ تا ۳ برای حذف ابر و آب در اتمسفر استفاده شد:

$$\sigma^0 = \sigma_{veg}^0 + T^2 \sigma_{soil}^0 \quad (1)$$

$$\sigma_{veg}^0 = AM_v \cos(\theta)(1-T^2) \quad (2)$$

$$T^2 = \exp(-2M_v \sec(\theta)) \quad (3)$$

که در آن σ^0 ضریب سطح سایه انداز گیاهی پراکنش شده، σ_{veg}^0 ضریب پوشش سطح پراکنش شده، σ_{soil}^0 ضریب خاک پراکنش شده، M_v مقدار آب گیاه ($\frac{kg}{m^2}$)، T^2 نیز فاکتور موج عبوری از گیاه و θ زاویه تابش برحسب درجه است و A نیز سطح مورد بررسی می باشد (۱۶). مقادیر مذکور در فایل متادیتا تصاویر استخراج شده از ماهواره قابل دریافت است ضمن اینکه مقدار M_v برای گیاه گندم از اطلاعات موجود در مدل گیاهی WOFOST استفاده شد (۱۷). در این مطالعه شش تصویر به طور کامل دانلود گردید که تصاویر دریافتی دارای رقوم دیجیتالی است و با توجه به اطلاعات موجود در فایل متادیتا باید سایر امواج که از سطح زمین دورتر هستند، حذف گردد بنابراین با توجه به منطقه براساس زاویه تابش و ارتفاع خورشید نسبت به تابش طیفی و بازتاب در بالای

مواد و روش ها

تصحیحات اتمسفری داده های ماهواره ای

برای حذف اثر پوشش گیاهی بر روی برآورد رطوبت خاک، مدل ابر- آب در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. سنجنده ETM+ شامل ۸ باند موج کوتاه است و تصاویر استفاده شده در این مطالعه دارای وضوح ۳۰ متری هستند. برای تصحیح اتمسفری، مقادیر اعداد در تصاویر باید به تابش طیفی و سپس بازتاب اتمسفر تبدیل شوند که با این کار گازهای اتمسفری و آيروسول های موثر در تصویربرداری حذف می شوند. بنابراین با انجام تصحیحات اتمسفری دقت باندهای تصویر در محدوده مرئی بالا خواهد رفت (۱۴). که با رجوع به فایل متادیتا از مجموعه تصاویر دانلود شده از سایت GLOVIS و اعمال ضرایب معرفی شده در آن تصحیحات انجام شد.

مدل ابر- آب

مدل پراکنش پوشش گیاهی یک ابزار مهم برای رابطه بین پوشش خاک و رطوبت خاک است. برای توصیف بهتر در مناطق پوشیده از پوشش گیاهی، مدل ابر-آب توسط آتما و الابی (۱۴) ارائه شد که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. مدل ابر- آب براساس مدل انتقال تشعشع است و پوشش گیاهی به صورت ابرهای افقی یکنواخت فرض می شود که در نتیجه پراکندگی چندگانه شامل ساختمان، آب و خشکی را تفکیک می نماید. در این مدل نواحی پوشیده از پوشش گیاهی را در نظر می گیرد که می توان به صورت دو

5- double attenuation factor for radar waves passing through vegetation
6- incident angle

1- total canopy backscattering coefficient
2- vegetation backscattering coefficient
3- soil backscattering coefficient
4- vegetation water content

با قراردادن باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک در مقابل یکدیگر تصویر فرضی مطابق با شکل ۴ بدست آمد که این هندسه توسط ریچاردسون و ویگند (۲۲) ارائه شد و یک محدوده هندسی مثلثی شکل را تشکیل می‌دهد که یکی از خطوط اطراف آن معرف خط خاک (BC) می‌باشد. این خط به گونه‌ای برآش داده می‌شود که به انتهایی‌ترین نقطه در شکل مماس باشد و تمام نقاط مشخص شده در یک سمت خط قرار گیرد. این خطوط سطح مرطوب و خشک را نشان می‌دهد. خط L نیز عمود بر خط خاک و از مبدا مختصات عبور می‌کند. بنابراین هر نقطه انتخابی تا خط L به عنوان خط EF معرفی می‌گردد. این محدوده نه تنها می‌تواند وضعیت پوشش سطح را نشان دهد بلکه می‌تواند خشکسالی در سطح و همچنین شدت خشکسالی را نشان دهد. هرچه نقاط از خط L فاصله بیشتری داشته باشد به عبارتی مقدار EF بیشتر باشد می‌توان نتیجه گرفت که رطوبت در آن نقطه از محدوده مطالعاتی بیشتر است (۱۸). ضمن اینکه برای مقایسه رطوبت اندازه‌گیری شده در محل با تکنیک سنجش از راه دور باید رطوبت حجمی را با استفاده از معادله خط محاسبه نمود که این رطوبت تخمین مناسبی تا عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متر است (۲۳). در شکل ۵ یک نمونه از تصاویر دریافت شده از ماهواره Landsat 7 را در مورخ ۲۸ نوامبر ۲۰۱۲ و رقوم دیجیتالی منتسب به آن مشخص شده که شکل ۵ (آ) مربوط به باند ۳ و شکل ۵ (ب) مربوط به باند ۴ پس از تصحیح اتمسفری را نشان می‌دهد. دامنه نوسان رقوم دیجیتالی در باند ۳ از ۰/۳۷ تا ۰/۴۶ می‌باشد در حالی که رقوم باند ۴ از ۰/۳۷ تا ۰/۴۷ است. با توجه به اینکه در ۲۸ نوامبر در اوایل دوره رشد است و خاک عمدتاً لخت می‌باشد، هرچند گیاه مرحله جوانه‌زنی را گذرانده است انتظار می‌رود تصویربرداری از دقت خوبی برخوردار باشد. بنابراین روش کار با انجام عملیات ریاضی قابل توصیف است. جهت مقایسه نتایج بدست آمده از روش Red-NIR با رطوبت اندازه‌گیری شده میدانی با استفاده از شاخص نرمال انحراف جذر میانگین مربعات (NRMSE) استفاده شد (۲۴).

روش کار به این صورت است که پس از تصحیح اتمسفری باندهای ۳ و ۴ در مقابل یکدیگر قرار می‌گیرند و فضای هندسی را تشکیل می‌دهند. پس از استخراج معادله خط، برای بیان ریاضی خط خاک می‌توان از معادله ۴ استفاده کرد:

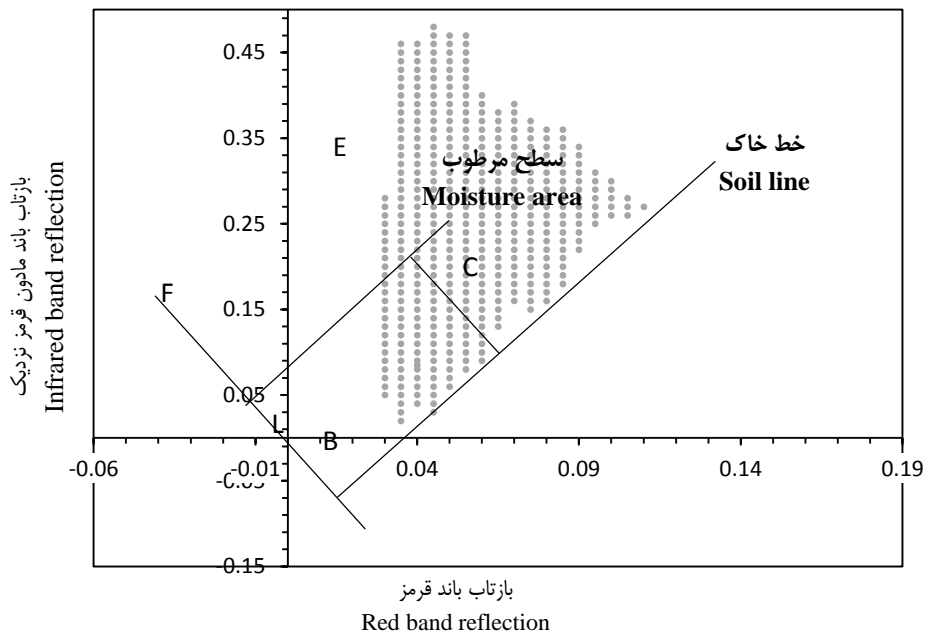
$$R_{NIR} = MR_{Red} + I \quad (4)$$

که در اینجا R_{NIR} مربوط به باند مادون قرمز نزدیک و R_{Red} مربوط به باند قرمز و M شیب خط خاک و I عرض از مبدا خط خاک می‌باشد. فاصله هر نقطه بر روی فضای بازتابی باند مادون قرمز نزدیک و قرمز تا خط L نشان دهنده رطوبت سطحی خاک می‌باشد. بنابراین برای محاسبه این فاصله از فرمول ۵ استفاده می‌شود:

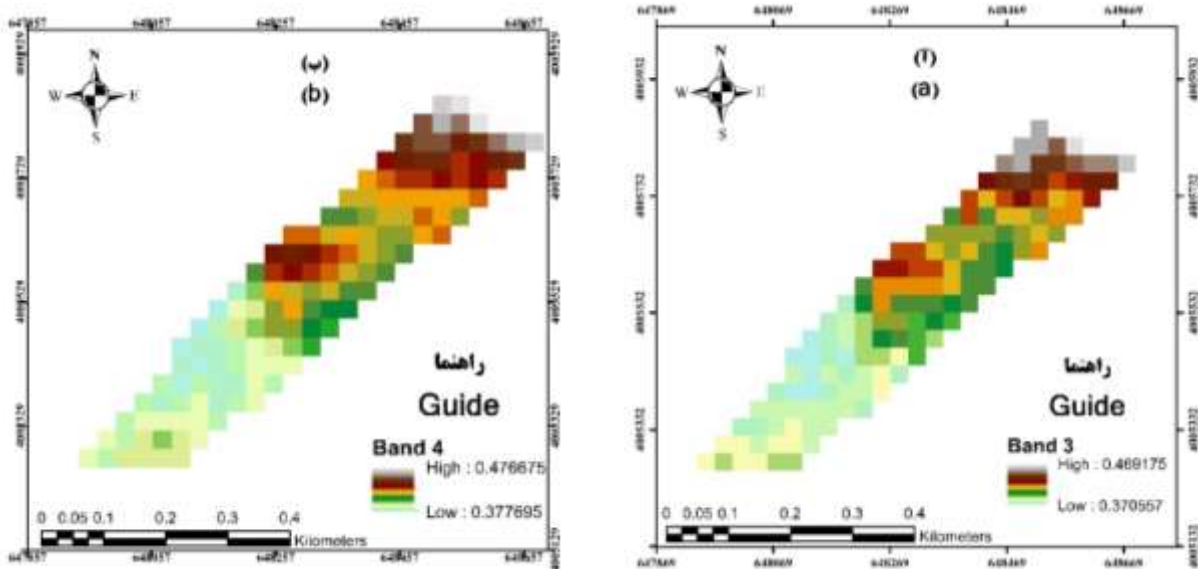
اتم‌سفر برای باندهای ۳ و ۴ که معرف باند قرمز و مادون قرمز نزدیک (Red و NIR) است مورد تصحیح اتمسفری قرار گیرد در واقع امواجی که در نتیجه انعکاس از سطح زمین نمی‌باشد باید حذف گردد که به اصطلاح تصحیح اتمسفری گفته می‌شود. باند ۳ (قرمز) در محدوده ۶۳۰ تا ۶۹۰ نانومتر و باند ۴ (مادون قرمز نزدیک) در محدوده ۷۸۰ تا ۹۰۰ نانومتر قرار می‌گیرد. بنابراین پس از محاسبه σ^0 با استفاده از اطلاعات موجود در فایل متادیتا، در زمان‌هایی که پوشش گیاهی در سطح زمین وجود دارد ضریب سطح سایه‌انداز در رقوم دیجیتالی ضرب می‌شود و با این روش پوشش گیاهی از سطح حذف می‌شود و دقت اندازه‌گیری رطوبت خاک بالا می‌رود.

معرفی ساختار مدل Red-NIR

بافت لایه‌های گیاهی به شدت نورهای آبی و قرمز را جذب و نور سبز به ویژه مادون قرمز نزدیک را منعکس می‌کند. بازتاب از خاک لخت به شدت زیاد است البته افزایش آن به آرامی صورت می‌گیرد. هرچه تراکم پوشش گیاهی ضخیم‌تر باشد، بازتاب از رنگ قرمز کوچک‌تر و بازتابندگی در نور مادون قرمز نزدیک بیشتر می‌شود. از آنجا که جذب در محدوده نور قرمز به سرعت اشباع می‌شود، تنها افزایش بازتاب در محدوده مادون قرمز نزدیک می‌تواند افزایش پوشش گیاهی را منعکس کند (۱۸). باند قرمز (باند ۳) در واقع برای تشخیص گیاهان از یکدیگر اهمیت فراوانی دارد. این محدوده که در یکی از محدوده‌های جذب کلروفیل قرار گرفته است برای شناسایی مناطق پوشش گیاهی از مناطق عاری از پوشش گیاهی و نیز برای شناسایی گونه‌های مختلف گیاهی به کار می‌رود. باند مادون قرمز نزدیک (باند ۴) در جهت تخمین مقادیر پوشش‌های گیاهی بهره‌برداری می‌شود. علاوه بر این از بررسی داده‌های این باند می‌توان در تمایز خاک بایر از مزارع یا آب از خاک استفاده نمود. با این اوصاف از هرگونه عملیات ریاضی که تفاوت بین مادون قرمز نزدیک و قرمز را نشان دهد می‌توان برای توصیف خصوصیات پوشش گیاهی استفاده نمود. به منظور ترسیم فضایی بین محدوده باند قرمز و مادون قرمز نزدیک برای مناطق مختلف می‌توان فضای انعکاسی این دو باند را مورد بررسی قرار داد (۱۹). در تحقیقی که توسط بابائیان و همکاران (۲۰) در چهار منطقه از آمریکا انجام شد با استفاده از تصاویر ماهواره MODIS فضای انعکاسی موسوم به CRN که به شکل دوزنقه‌ای می‌باشد با قراردادن باند مربوط به مادون قرمز نزدیک و شاخص NDVI در مقابل یکدیگر و محاسبه سایر عملیات ریاضی توانستند رطوبت خاک را تخمین بزنند و با استفاده از شاخص‌های آماری R^2 و RMSE دقت کار را مورد بررسی قرار دهند. می‌توان گفت که مدل دوزنقه‌ای یا مثلثی محبوب‌ترین روش برای سنجش از راه دور برای رطوبت سطحی خاک است (۲۱). اما در این مطالعه به عنوان نوآوری در ایران



شکل ۴- نقشه فرضی طرح رطوبت خاک توسط اتما و البی (۱۴) با قرار گرفتن بازتاب باند قرمز در مقابل باند مادون قرمز نزدیک
 Figure 4- Hypothetical map of soil moisture design by Attema and Ulaby (14) with the red band reflection in front of the near infrared band



شکل ۵- تصاویر ماهواره Landsat 7 در تاریخ ۲۸ نوامبر ۲۰۱۲ مربوط به باند قرمز (ا) و باند مادون قرمز نزدیک (ب)
 Figure 5- Landsat 7 satellite images on November 28, 2012 of the red band (a) and the near infrared band (b)

است کمترین رطوبت سطحی خاک متعلق به نقطه‌ای است که کمترین فاصله را با خط L دارد و بیشترین رطوبت سطحی خاک مربوط به نقطه‌ای است که بیشترین فاصله را از خط L دارد.

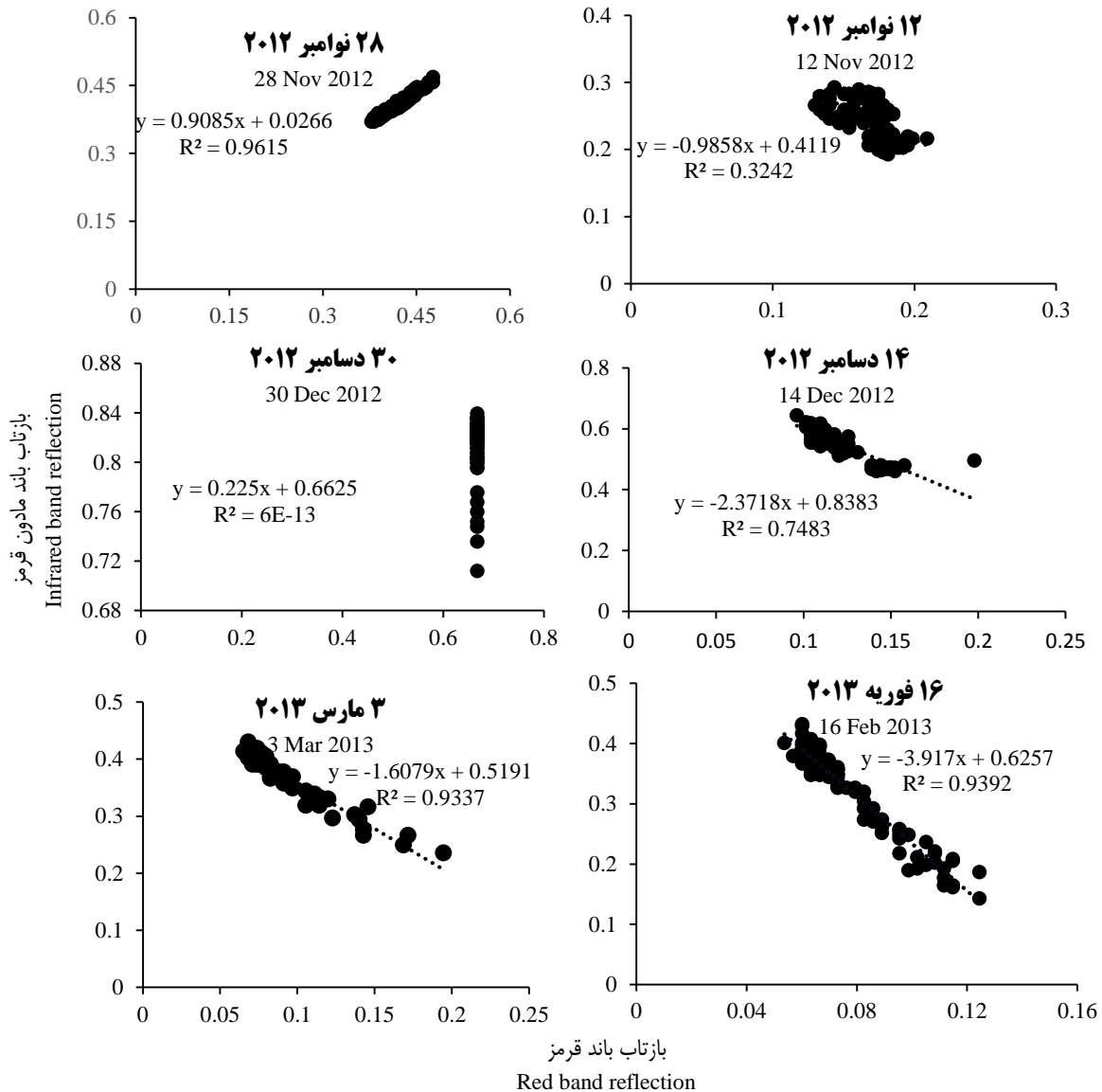
$$ESM = \frac{1}{\sqrt{M^2 + 1}} (R_{NIR} + MR_{red}) \quad (5)$$

در معادله ESM معرف رطوبت خاک برآورده شده با سنجش از راه دور می‌باشد که در واقع همان خط EF است. همانطور که مشخص

نتایج و بحث

در ۱۲ نوامبر که در واقع ۱۲ روز پس از کشت گیاه است گیاه در حال ورود به مرحله جوانه زنی است و خاک عمدتاً لخت است. بدلیل اینکه ماهواره نور سبز منعکس شده را به مقدار کافی دریافت نمی کند دقت تصویر در اندازه گیری رطوبت خاک کاهش می یابد اما پس از رویش گیاه، نور سبز منعکس شده و مقدار رطوبت دیجیتال باند ۴ تحت تاثیر قرار می گیرد و در نتیجه مقدار رطوبت موجود در برگ و ساقه گیاه در اندازه گیری رطوبت خاک دخالت می نماید که با نتایج تحقیق پتروپولوس و همکاران (۲۵) مطابقت دارد.

با توجه به شکل ۶ و قرار گرفتن رقوم باند ۳ و ۴ در مقابل یکدیگر برای محاسبه M، معادله خط برازش داده شد. از آنجایی که تصویربرداری از سطح زمین توسط ماهواره به طور روزانه انجام نمی گیرد تعداد شش تصویر در طول فصل کشت استخراج شد و معادله خط و R² در شکل ۶ برای هر زمان تصویربرداری نشان داده شد.

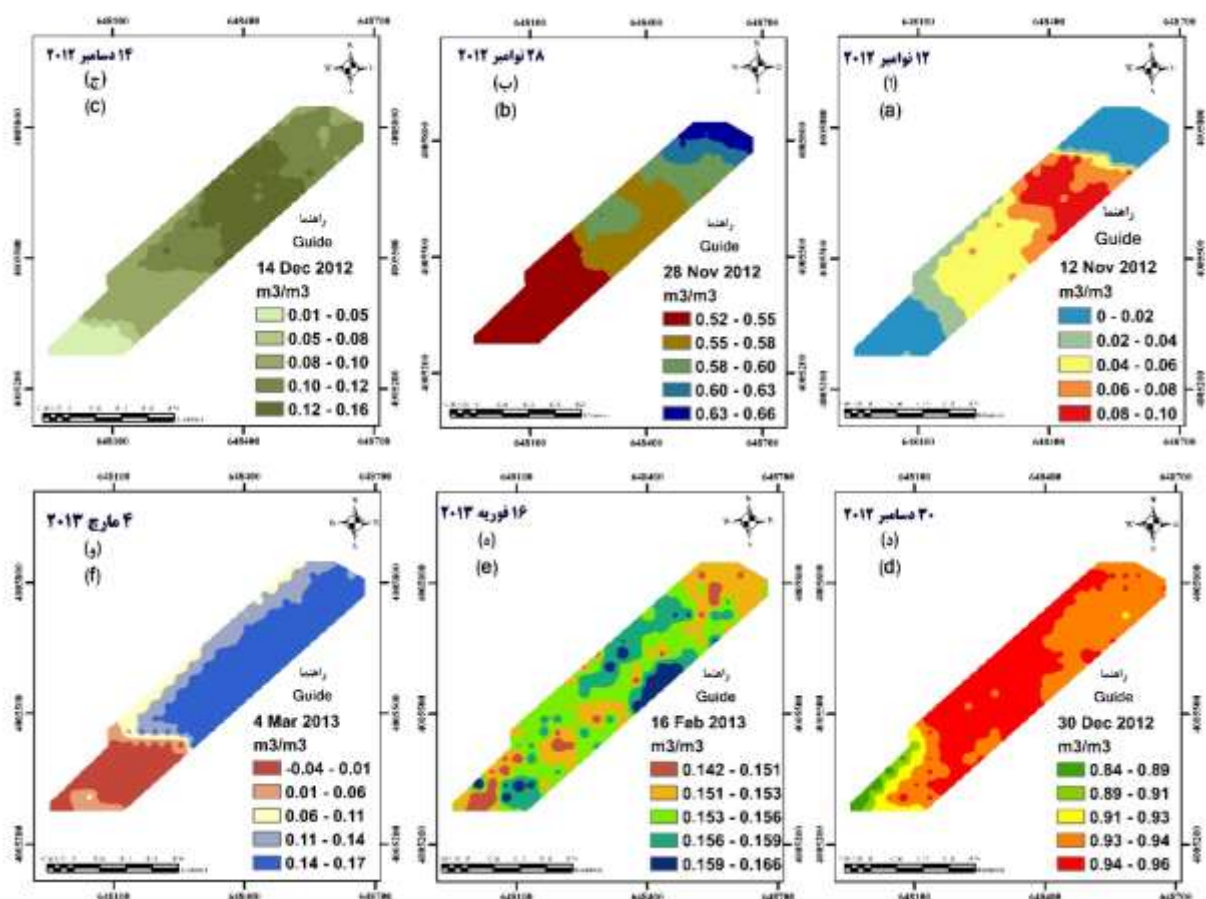


شکل ۶- بازتاب باند مادون قرمز و باند قرمز اصلاح شده اتمسفری در مقابل یکدیگر و نمایش معادله خط برازش داده شده و محاسبه شاخص آماری مجذور خطا (R²) برای هریک از تصاویر خروجی توسط ماهواره Landsat 7

Figure 6- Infrared band reflection in front of atmospheric correction red band and display of the fitted line equation and calculation of the error square (R²) statistical index for each of the output images by Landsat 7 satellite

توسط ماهواره Landsat 7 ارائه نشد از مقایسه آن اجتناب شد ولی با توجه به روند انعکاس باندهای ماهواره انتظار می‌رود با توجه به رشد گیاه نور قرمز بیشتری منعکس شود به دلیل اینکه کلروفیل در گیاه شکل می‌گیرد که از جمله خصوصیات این باند توانایی تشخیص انواع گیاه می‌باشد (۲۶). همچنین مقادیر شکل ۶ به صورت آماری مورد تحلیل قرار گرفت که آزمون f تست ارائه شده توسط ژنگ و همکاران (۲۷) در سطح ۵ درصد برای تمام تصاویر برای شیب معنی‌دار شد و برای عرض از مبدا معنی‌دار نشد و فقط در ۲۸ نوامبر برای عرض از مبدا نیز معنی‌دار شد. در شکل ۷ پهنه‌بندی رطوبت پس از انجام محاسبات ریاضی در زمان‌هایی که تصویربرداری شد ارائه می‌گردد. میانگین رطوبت حجمی به صورت میدانی در کل دوره رشد گیاه به صورت روزانه با استفاده از سنسور رطوبتی اندازه‌گیری شد. همانطور که در شکل ۷ مشخص است در ۱۲ نوامبر ۲۰۱۲، دامنه نوسان رطوبت حجمی بین ۰ تا ۰/۱ می‌باشد و عمدتاً رطوبت تجمع یافته در مرکز بیشتر است.

در ۲۸ نوامبر با توجه به وضعیت ابرناکی و کاهش دما که از عوامل تاثیرگذار محیطی در تصویربرداری است نشان می‌دهد شیب معادله خط نسبت به تصویر ۱۲ نوامبر معکوس می‌شود که از علل آن می‌توان به انعکاس بیشتر نور قرمز اشاره کرد. در ۱۴ دسامبر انعکاس نور قرمز کمتر می‌شود و بدلیل اینکه پوشش گیاهی بیشتر می‌شود انعکاس نور مادون قرمز نزدیک نسبت به نور قرمز پیشی می‌گیرد. در ۳۰ دسامبر تصویر استخراج شده از ماهواره Landsat 7 در باند قرمز به صورت یک‌دست منعکس شد که می‌تواند علل مختلفی داشته باشد. با بررسی وضعیت ابرناکی و بارندگی در آن زمان نشان می‌دهد که در محدوده ۱۰ روزه با توجه به اطلاعات ایستگاه باران‌سنجی روح‌آباد در نیشابور بارندگی اتفاق افتاده و همچنین عمدتاً وجود ابر در انعکاس نور قرمز موثر بوده است که می‌توان گفت این شرایط محتمل‌تر می‌باشد. در ۱۶ فوریه و ۳ مارس با توجه به اینکه پوشش گیاهی افزایش پیدا نموده انعکاس نور مادون قرمز نزدیک بیشتر می‌شود و با توجه به اینکه تصویری در ادامه دوره رشد گیاه



شکل ۷- رطوبت خاک برآورد شده از ماهواره Landsat 7 در شش زمان مختلف

Figure 7- Soil moisture estimated from the Landsat 7 satellite at six different times

جدول ۱- مقایسه رطوبت خاک تخمین‌زده با تصاویر ماهواره Landsat 7 و اندازه‌گیری شده میدانی

Table 1- Comparison of estimated soil moisture with Landsat 7 satellite imagery and field measurements

زمان تصویربرداری (وضعیت هوا)	رطوبت خاک تخمین‌زده با Landsat 7 (m ³ /m ³)	رطوبت خاک اندازه‌گیری شده (m ³ /m ³)	خطای نرمال شده (NRMSE%)
Imaging time (weather conditions)	Soil moisture estimated by Landsat 7 (m ³ /m ³)	Soil moisture measurement (m ³ /m ³)	Normalized root-mean-square error (%)
۱۲ نوامبر ۲۰۱۲ (صاف) 12 Nov 2012 (clear)	0.06	0.34	18
۲۸ نوامبر ۲۰۱۲ (ابرناکی) 28 Nov 2012 (cloudy)	0.58	0.23	
۱۴ دسامبر ۲۰۱۲ (تا حدودی ابر) 14 Dec 2012 (Somewhat cloudy)	0.07	0.32	
۳۰ دسامبر ۲۰۱۲ (ابرناکی) 30 Dec 2012 (cloudy)	0.85	0.31	
۱۶ فوریه ۲۰۱۳ (صاف) 16 Feb 2013 (clear)	0.15	0.32	
۴ مارس ۲۰۱۳ (صاف) 4 Mar 2013 (clear)	0.13	0.24	

نتیجه‌گیری

هدف از تخمین رطوبت خاک در این مطالعه، آماده‌سازی اطلاعات برای استفاده در مدل‌های گیاهی است که نتایج قابل اعتماد می‌باشد. در زمانی که کاربر از مدل‌های گیاهی جهت تخمین عملکرد محصول استفاده می‌کند نیاز به اطلاعات هواشناسی، گیاهی و آب دارد که با این روش با در اختیار داشتن اطلاعات رطوبتی خاک تا حدودی برای محاسبه عملکرد محصول با دقت عمل شود بنابراین در این مقاله با استخراج تصاویر ماهواره Landsat 7 با وضوح ۳۰ متری سطح زمین در منطقه دشت نیشابور و اندازه‌گیری تغذیه ورودی آب به زمین در وسعت ۱۳ هکتار با روش آبیاری بارانی جهت تخمین رطوبت انجام شد. با توجه به اینکه شش تصویر در طی دوره کشت محصول گندم موجود بود باندهای ۳ و ۴ این تصاویر در مقابل یکدیگر قرار گرفتند و با مدل ابر- آب تصحیحات اتمسفری صورت پذیرفت که با محاسبه شیب خط برازش داده شده و ترسیم فضای هندسی مثلثی شکل مقدار رطوبت حجمی به صورت میانگین محاسبه شد و با رطوبت اندازه‌گیری شده توسط سنسور رطوبتی REC در محل مقایسه شد و شاخص آماری ۱۸ درصد نشان داد در صورتی که مقایسه در روزهای ابری صورت نپذیرد نتایج رضایت‌بخش است. پیشنهاد می‌شود جهت افزایش دقت بررسی محاسبه رطوبت به روش‌های مختلف دیگر و نیز انتخاب سایر ماهواره‌ها جهت مقایسه دقیق‌تر انجام شود، ضمن اینکه می‌توان محصول‌های دیگر را نیز بررسی نمود به دلیل اینکه پوشش گیاهی هر محصول می‌تواند تاثیرگذار باشد. همچنین از محدودیت‌های تحقیق می‌توان به تعداد کم تصویربرداری در برخی از کشورها اشاره نمود که سبب می‌شود تعداد مقایسه‌ها کاهش یابد.

بدلیل اینکه آبیاری به صورت بارانی انجام شده و در این روز طبق شکل ۲ تغذیه ورودی صورت نگرفته بنابراین پهنه‌بندی رطوبت منطقی به نظر می‌رسد. در ۲۸ نوامبر در قسمت شمالی زمین رطوبت بیشتر است و هر چه به سمت جنوب حرکت می‌کنیم رطوبت کاهش می‌یابد بنابراین میانگین رطوبتی برای آن روز طبق تکنیک سنجش از دور برابر ۰/۵۸ بدست آمد که در جدول ۱ مقادیر رطوبتی آمده است ضمن اینکه وضعیت هوا در آن روز ابری بوده و خطای بیشتری در تصویربرداری بوجود آمده بود. همان‌طور که در شکل ۲ تغذیه ورودی نشان داده شد در این ماه تغذیه به ۳۰ میلی‌متر می‌رسد اما در اوایل دسامبر تغذیه کم می‌شود و در ۱۴ دسامبر هم گویای این مطلب می‌باشد ولی در اواخر دسامبر تغذیه در خاک در اثر بارندگی و آبیاری افزایش می‌یابد و مطمئناً رطوبت تخمین‌زده توسط تکنیک سنجش از دور بالاتر می‌باشد که میانگین رطوبتی به ۸۵ درصد رسید ولی بدلیل عدم تطابق زمانی در ساعت تصویربرداری و همچنین محاسبه رطوبت به صورت میانگین تفاوت در مقدار عددی ملاحظه می‌شود ضمن اینکه وضعیت هوا ابری بوده است. در ۱۶ فوریه و ۴ مارس ۲۰۱۳ با توجه به اینکه گیاه رفته رفته به رشد خود ادامه می‌دهد و روند صعودی دما را شاهد هستیم مطابقت مقدار رطوبت اندازه‌گیری شده با تکنیک سنجش از دور بیشتر می‌شود. بنابراین در جدول ۱ شاخص NRMSE برابر ۱۸ درصد بدست آمد و چون مقدار شاخص بین ۱۰ تا ۲۰ درصد می‌باشد نتایج نسبتاً خوب است و با توجه به اینکه در ۲۸ نوامبر و ۳۰ دسامبر وضعیت ابرناکی بود دقت در مجموع پایین آمد که با حذف آن‌ها نتایج از رضایت کافی برخوردار است (۲۴).

این مطالعه به عنوان طرح مصوب رساله دکتری به شماره ۵۱۷۶۰ در دانشگاه فردوسی مشهد در گروه آب مورد تایید قرار گرفته است و ضمن ادامه پژوهش در قالب طرح تحقیقاتی، بدین وسیله از معاونت مالی دانشگاه فردوسی مشهد و سایر اساتید گروه تشکر و سپاسگزاری می‌شود.

این روش در مزرعه‌های چندین هکتاری دقت بیشتری دارد بدلیل اینکه وضوح تصویربرداری به صورت موزاییک‌هایی با ابعاد معمولاً چند متری است که هرچه تعداد این موزاییک‌ها بیشتر باشد دقت بالاتر خواهد رفت.

سپاسگزاری

منابع

- 1- Pasolli L., Notarnicola C., Bertoldi G., Della Chiesa S., Niedrist G., Bruzzone L., et al. 2014. Soil moisture monitoring in mountain areas by using high-resolution SAR images: Results from a feasibility study. *European journal soil science* 65(6): 852-64.
- 2- Verstraeten WW., Veroustraete F., Van Der Sande CJ., Grootaers I., and Feyen J. 2006. Soil moisture retrieval using thermal inertia, determined with visible and thermal spaceborne data, validated for European forests. *Remote Sensing of Environment* 101(3): 299-314.
- 3- Wagner W., Naeimi V., Scipal K., Jeu R., and Martínez-Fernández J. 2007. Soil moisture from operational meteorological satellites. *Hydrogeol Journal* 15(1):121-31.
- 4- Peng J., Loew A., Merlin O., and Verhoest NEC. 2017. A review of spatial downscaling of satellite remotely sensed soil moisture. *Reviews of Geophysics* 55(2): 341-66.
- 5- Verhoest NEC., Lievens H., Wagner W., Álvarez-Mozos J., Moran MS., and Mattia F. 2008. On the soil roughness parameterization problem in soil moisture retrieval of bare surfaces from synthetic aperture radar. *Sensors* 8(7): 4213-48.
- 6- Li B., Ti C., Zhao Y., and Yan X. 2016. Estimating soil moisture with Landsat data and its application in extracting the spatial distribution of winter flooded paddies. *Remote Sensing* 8(1).
- 7- Bao Y., Lin L., Wu S., Kwal Deng KA., and Petropoulos GP. 2018. Surface soil moisture retrievals over partially vegetated areas from the synergy of Sentinel-1 and Landsat 8 data using a modified water-cloud model. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 72: 76-85.
- 8- Mohamed ES., Ali A., El-Shirbeny M., Abutaleb K., and Shaddad SM. 2019. Mapping soil moisture and their correlation with crop pattern using remotely sensed data in arid region. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences* 23(3) 347-353.
- 9- Montaldo N., Fois L., and Corona R. 2021. Soil moisture estimates in a grass field using sentinel-1 radar data and an assimilation approach. *Remote Sensing* 13(16): 1-25.
- 10- Rabiei S., Jalilvand E., and Tajrishy M. 2021. A method to estimate surface soil moisture and map the irrigated cropland area using sentinel-1 and sentinel-2 data. *Sustainability (Switzerland)*, 13(20).
- 11- Zaki M. Estimation of groundwater recharge from irrigated fields using zero flux method. Msc thesis. 2013. (In Persian with English abstract)
- 12- Carlson TN., and Petropoulos GP. 2019. A new method for estimating of evapotranspiration and surface soil moisture from optical and thermal infrared measurements: the simplified triangle. *International journal remote sensing* 40(20): 7716-29.
- 13- Tuttle SE., and Salvucci GD. 2014. A new approach for validating satellite estimates of soil moisture using large-scale precipitation: Comparing AMSR-E products. *Remote Sensing of Environment* 142: 207-22.
- 14- Attema EPW., and Ulaby FT. 2016. Prevalence of anemia in patients with diabetic kidney disease. *Abstract book - 29th European Diabetic Nephropathy Study Group Meeting* 13(2): 357-64.
- 15- Kumar K., Suryanarayana Rao HP., and Arora MK. 2015. Study of water cloud model vegetation descriptors in estimating soil moisture in Solani catchment. *Hydrological Processes* 29(9): 2137-48.
- 16- Park SE., Jung YT., Cho JH., Moon H., and Han S hoon. 2019. Theoretical evaluation of water cloud model vegetation parameters. *Remote Sens* 11(8).
- 17- de Wit A., Boogaard H., Fumagalli D., Janssen S., Knapen R., and van Kraalingen D. 2019. 25 years of the WOFOST cropping systems model. *Agricultural Systems* 168: 154-67.
- 18- Zhan ZM., Qin QM., Ghulan A., and Wang DD. 2007. NIR-red spectral space based new method for soil moisture monitoring. *Science in China, Series D: Earth Sciences* 50(2): 283-9.
- 19- Foroughi H., Naseri A., Nasab SB., Hamzeh S., and Scott B. 2019. Presenting a New Method for Soil-moisture Estimation Using Optical Remotely-sensed Imagery. *Iranian journal of soil and water research* 50(3):641-52. (In

Persian with English abstract)

- 20- Babaeian E., Sadeghi M., Franz TE., Jones S., and Tuller M. 2018. Mapping soil moisture with the OPTical TRAppezoid Model (OPTRAM) based on long-term MODIS observations. *Remote Sensing of Environment* 211: 425–40.
- 21- Sadeghi M., Babaeian E., Tuller M., and Jones SB. 2017. The optical trapezoid model: A novel approach to remote sensing of soil moisture applied to Sentinel-2 and Landsat-8 observations. *Remote Sensing of Environment* 198: 52–68.
- 22- Richardson AJ., and Wiegand CL. 1977. Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 43(12): 1541–52.
- 23- Welikhe P., Quansah JE., Fall S., and McElhenney W. 2017. Estimation of Soil Moisture Percentage Using LANDSAT-based Moisture Stress Index. *Journal of Remote Sensing & GIS* 06(02).
- 24- Mousavizadeh SF., Honar T., and Ahmadi SH. 2016. Assessment of the AquaCrop Model for simulating canola under different irrigation managements in a semiarid area. *International Journal of Plant Production* 10(4): 425–46.
- 25- Petropoulos GP., Ireland G., Srivastava PK., and Ioannou-Katidis P. 2014. An appraisal of the accuracy of operational soil moisture estimates from SMOS MIRAS using validated in situ observations acquired in a Mediterranean environment. *International Journal of Remote Sensing* 35(13): 5239-5250.
- 26- Ihlen V., USGS. 2019. Landsat 7 (L7) Data Users Handbook. USGS Landsat User Serv .7:151.
- 27- Geng SHU., and Supit I. 1986. *Agricultural and Forest Meteorology* 36: 363–76.



Soil Moisture Estimation Method Using Remote Sensing Technique by Landsat Satellite

S.F. Mousavizadeh¹- H. Ansari^{2*}- A. Faridhosseini³

Received: 24-07-2021

Accepted: 15-12-2021

Introduction: In the last decade, satellite-based methods, including remote sensing and microwave methods, have been used in many studies to detect soil surface moisture regionally. Thermal remote sensing method is quite effective for checking moisture for bare soil but shows poor correlation for vegetated surfaces. In addition, there is a widespread use of this method in the presence of temperature differences during the day. Satellite imagery enables the ability to measure humidity according to the environmental conditions at the surface. Thus, compared to field measurements, remote sensing techniques are promising because they are capable of spatial measurements at a relatively low cost. Water supply is one of the main causes of evapotranspiration, which can affect it. Soil moisture can be considered as the most direct and important variable describing drought and is the main parameter describing water circulation and energy exchange between the surface and the atmosphere. Scale reduction methods for soil moisture can be divided into three main groups including satellite-based method, GIS data and model-based methods. The same methods have been used extensively in monitoring soil moisture for different spectral patterns at different wavelengths, from visible to microwave remote sensing data. Spectral reflectance decreases with increasing soil moisture in the visible and near-infrared (NIR) range. Therefore, these methods can be used to estimate soil moisture using satellite data for water budgeting and other meteorological and agricultural applications.

Materials and Methods: In this study, using the information provided by Zaki (2013), the measured humidity by the sensor was compared with the humidity obtained from the satellite. The soil moisture were measured in 16 points from an area of 13 hectares from Neyshabour plain of Khorasan Razavi province. The novelty of this study is to provide a simple method for using Landsat 7 satellite imagery to estimate the surface moisture of areas of the Earth to eliminate field sampling and optimal use for agriculture. One of the advantages of this method is the reduction of information obtained from the field as input values for crop modeling that can be used to estimate crop yield, so the moisture measured during the winter wheat crop period from November 2012 to March 2013 was used.

Results and Discussion: The placement of band numbers 3 and 4 opposite each other to calculate M, the line equation was fitted. Since satellite imagery is not performed daily by satellite, six images were extracted during the growing season. On November 12, which is actually 12 days after planting, the plant is entering the germination stage and the soil is mostly bare. Because the satellite does not receive enough reflected green light, the accuracy of the image in measuring soil moisture decreases, but after the plant grows, the green light is reflected and the amount of digital digit of band 4 is affected, as a result, the amount of moisture in the plant leaves and stem is involved in measuring soil moisture, which is consistent with the results obtained by Petropoulos et al.

Conclusion: In general, the results of this study showed that the simple and efficient Red-NIR spatial geometry model has a great ability to estimate soil surface moisture in favorable weather conditions and this method can be used for plant modeling as input data.

Keywords: Mathematical calculations, Red-NIR spatial geometry model, Spectral reflection, Soil water

1, 2 and 3- Ph.D. Candidate, Professor and Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: Ansary@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/JSW.2021.71524.1070