

برآورد رطوبت خاک به کمک شاخص‌های پوشش گیاهی و دمای سطح خاک و شاخص نرمال‌شده رطوبت با استفاده از تصاویر MODIS

فاطمه خانمحمدی^۱، مهدی همایی^{۲*}، علی اکبر نوروزی^۳

۱) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد خاکشناسی؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه تربیت مدرس؛ تهران؛ ایران

۲*) استاد گروه خاکشناسی؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه تربیت مدرس؛ تهران؛ ۳۳۶۰-۱۴۱۱۵؛ ایران

* نویسنده مسئول مکاتبات: mhomaee@modares.ac.ir

۳) استادیار پژوهش پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری؛ تهران؛ ۳۳۶۰-۱۴۱۱۵؛ ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۷/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۱۳

چکیده

برآورد رطوبت خاک سطحی برای مدیریت بهینه منابع آب و خاک ضروری است. رطوبت خاک سطحی، متغیری مهم در چرخه آبی طبیعت است که نقش مهمی در تعادل جهانی آب و انرژی به واسطه تاثیر بر فرآیندهای هیدرولوژیک، اکولوژیک و هواشناسی دارد. رطوبت خاک به دلیل تغییرپذیری ویژگی‌های خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و پویایی نیوار در زمان و مکان تغییر می‌کند. اندازه‌گیری رطوبت خاک، به طور مستقیم با استفاده از روش‌های درجا مانند نوترون متر و TDR یا به طور غیر مستقیم به وسیله توابع انتقالی و یا سنجش از دور انجام می‌شود. از آنجا که اندازه‌گیری‌های درجا معمولاً در پهنه‌های وسیع هم هزینه بر و هم زمان‌بر می‌باشند، برای برآورد رطوبت خاک در مقیاس‌های مکانی بسیار بزرگ، می‌توان روش‌هایی همچون سنجش از دور را به کار گرفت. هدف از انجام این پژوهش، برآورد رطوبت خاک سطحی با استفاده از شاخص‌های NDVI، NDMI و LST بود. بدین منظور با استفاده از تصاویر MODIS 1B شاخص‌های مورد نظر استخراج و با داده‌های زمینی رطوبت خاک واسنجی و اعتبارسنجی شدند. در این پژوهش، منطقه مورد مطالعه تشریح گردید و سپس با استفاده از شاخص‌های استخراج شده، مدل برآورد رطوبت خاک به دست آمد. نتایج نشان داد بین مقادیر رطوبت خاک سطحی با شاخص‌های NDVI، NDMI و LST همبستگی مناسبی (۶۶٪) وجود دارد. نتایج صحت سنجی مدل برآورد رطوبت خاک نیز نشان داد که این مدل با میانگین خطای کمتر از ۰/۰۱۸، قادر به پیش‌بینی رطوبت خاک سطحی است، این مقدار خطای اندک، نشان دهنده دقت زیاد مدل پیشنهادی برای برآورد رطوبت خاک سطحی می‌باشد.

کلید واژه‌ها: رطوبت خاک سطحی؛ LST؛ NDMI؛ NDVI

مقدمه

است، ایفا می‌کند. بازیابی داده‌های رطوبت خاک اهمیت شایانی در کاربردهای گوناگون همچون هیدرولوژی، کشاورزی (Baghdadi et al., 2007) اقلیم‌شناسی و هواشناسی (Minet et al., 2010)، علوم خاک، اکولوژی و زراعت (Lunt et al., 2005)، جنگلداری و مهندسی منابع آب (Mekonnen, 2009)، تبادل جریان انرژی و آب بین

رطوبت خاک، به ویژه رطوبت خاک سطحی نقش بسیار مهمی در مدیریت منابع آب و خاک دارد. رطوبت خاک، همچنین نقش مهمی در چرخه آبی طبیعت، به ویژه در توزیع باران بین رواناب سطحی و نفوذ، که فرآیند مهمی بعد از فرآیندهای هیدرولوژیک و ژئومورفولوژیک

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 بیست سال گذشته تلاش‌های زیادی صورت گرفته تا بتوان پارامترهای ورودی مدل‌ها را نیز با استفاده از روابط رگرسیونی و یا شبکه عصبی مصنوعی برآورد و آن‌ها را به‌عنوان ورودی‌های مدل‌های شبیه‌ساز به کار گرفت (Khodaverdiloo *et al.*, 2011; Gorbani-Dasgtaki *et al.*, 2010; Homaei and Farrokhan, 2008). در این روش که به آن روش توابع انتقالی گویند، عموماً با استفاده از ویژگی‌های زود یافتی همچون فروانی نسبی اندازه ذرات خاک و یا جرم ویژه ظاهری خاک ابتدا منحنی نگهداشت آب در خاک برآورد و سپس با استفاده از پارامترهای آن مقدار رطوبت در نیمرخ خاک به‌وسیله مدل‌های شبیه‌ساز برآورد می‌گردد. هر چند اشتقاق و به‌کارگیری توابع انتقالی برای برآورد-های سریع در پهنه‌های نسبتاً بزرگ سودمندی‌های زیادی دارد، لیکن 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 اجتناب ناپذیر است. پیشرفت‌های تکنولوژیک اخیر، امکان استفاده از تکنیک‌های سنسجش از دور در اندازه‌گیری رطوبت خاک را فراهم ساخته است (بابائیان، ۱۳۹۲؛ Norozi *et al.*, 2012). تکنیک‌های سنسجش 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 تاثیر سایر عوامل بر بازتاب خاک باعث ایجاد خطا در مقادیر رطوبت برآورد شده می‌گردد (Wang and Qu, 2009). روش‌های سنسجش از دور مبتنی بر امواج

سطح زمین و اتمسفر (Wang *et al.*, 2009) دارد. برآورد دقیق رطوبت خاک فاکتوری کلیدی در این مطالعات است. تغییرات در عواملی همچون بافت خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و روش‌های آبیاری، باعث تغییرپذیری زیاد زمانی- مکانی رطوبت خاک می‌شود (Western and Grayson, 1998; Lunt *et al.*, 2005). رطوبت خاک به روش‌های مختلفی اندازه‌گیری می‌شود. در یک دسته‌بندی کلی، این روش‌ها را می‌توان به دو گروه روش‌های معمول همانند روش وزنی و روش‌های الکترومغناطیسی همچون TDR¹ و GPR² و سنسجش از دور تقسیم‌بندی کرد (Lunt *et al.*, 2005). روش‌های معمول اندازه‌گیری رطوبت خاک مانند روش وزنی و روش نوترون‌متر برای فهم رفتار رطوبت خاک در مقیاس زمانی و مکانی مناسب نیستند (Mekonnen, 2009). روش وزنی در عین سادگی دارای معایبی همچون زمان‌بر بودن، هزینه زیاد، قابلیت جمع‌آوری محدود داده‌ها و کاربرد در مقیاس‌های کوچک می‌باشد. محدودیت‌های حاصل از تغییر پذیری مکانی و زمانی، هزینه زیاد و زمان‌بر بودن، جستجو برای یافتن روش‌های جدید برای برآورد سریع رطوبت خاک را فراهم می‌نمایند. در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی برای ارائه راه حلی در این زمینه صورت گرفته است که مشخصاً می‌توان به ارائه مدل‌های شبیه‌ساز و ایجاد توابع انتقالی خاک (PTFs³) اشاره نمود (خداوردی‌لو و همایی، ۱۳۸۱؛ قربانی دشتکی و همایی، ۱۳۸۳؛ فرخیان فیروزی و همایی، ۱۳۸۴؛ نوابیان و همکاران، ۱۳۸۲؛ بابائیان و همکاران، ۱۳۹۲). در مدل‌های شبیه‌ساز با واسنجی مدل برای یک منطقه مورد مطالعه، تلاش می‌شود که مشکل تغییرپذیری مکانی- زمانی خاک تا حدودی برطرف شود. صرف نظر از اینکه چنین واسنجی‌هایی تا چه اندازه می‌توانند غیر همگنی ویژگی‌های فیزیکی خاک را توضیح دهند، این مدل‌ها

¹ Time Domain Reflectometry

² Ground Penetrating Radar

³ Pedo Transfer Functions

شاخص‌های NDVI، LST و NDMI می‌تواند موجب افزایش دقت مدل برآورد رطوبت خاک گردد که تاکنون پژوهشی در این رابطه، انجام نشده است. لذا، پژوهش حاضر با هدف ارائه مدل برآورد رطوبت خاک با استفاده از شاخص‌های NDVI، LST و NDMI انجام شد و سپس مدل به دست آمده، اعتبارسنجی گردید.

مواد و روش‌ها

در این بخش، نخست منطقه مورد نظر مطالعه و سپس روش‌شناسی هر یک از شاخص‌ها تشریح شده است. در نهایت، با استفاده از شاخص‌های محاسبه شده، مدل برآورد رطوبت خاک به دست آمد و اعتبارسنجی شد.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه برای این پژوهش، شهرستان ورامین انتخاب شد که در فاصله ۳۰ کیلومتری جنوب شرقی تهران و در دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی قرار دارد. محدوده مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. مساحت این دشت تقریباً ۱۲۰۰ کیلومتر مربع است و به علت بیرون‌زدگی‌ها و فرورفتگی‌های موجود، دارای ارتفاع بسیار متغیر با متوسط ۹۵۰ متر از سطح دریا، می‌باشد. اقلیم منطقه بر اساس طبقه بندی دومارتن اصلاح شده شامل نواحی نیمه‌خشک معتدل، خشک بیابانی معتدل و فراخشک سرد می‌باشد. بیش‌تر اراضی منطقه دارای کاربری کشاورزی و شیب هموار هستند.

مقادیر رطوبت خاک با استفاده از دستگاه TDR^۳ برای عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر، هم‌زمان با فصل رشد ذرت اندازه‌گیری گردید. تصاویر سنجنده MODIS واقع بر ماهواره Terra، متناظر با اندازه‌گیری‌های زمینی رطوبت خاک، از سایت ناسا به نشانی:

<http://lancemodis.eosdis.nasa.gov/cgi-bin/imagery/realtime.cgi>

دانلود شدند. سپس، پردازش‌های اولیه بر روی تصاویر با استفاده از نرم افزارهای ENVI 4.7 و ArcGIS9.3 انجام و

مایکروویو تکنیک‌هایی موثر برای برآورد رطوبت خاک هستند، لیکن با توجه به محدودیت دسترسی به اطلاعات رادار، در این پژوهش تمرکز بر محدوده مادون قرمز حرارتی می‌باشد. در این روش، میزان گسیل گرما از سطح زمین با طول موج‌های ۳/۵ تا ۱۴ میکرومتر اندازه‌گیری می‌شود (Curran, 1985). تخمین رطوبت خاک با این روش، نیاز به برآورد دمای سطحی خاک و شاخص گیاهی دارد (Wang and Qu, 2009). پوشش گیاهی و دمای سطحی زمین (LST^۱)، وابستگی پیچیده‌ای بر روی رطوبت خاک دارند. Carlson و همکاران (۱۹۹۴) و Gillies و همکاران (۱۹۹۷) نشان دادند از ترکیب این دو شاخص می‌توان برای برآورد رطوبت خاک با دقت قابل قبول استفاده کرد. تغییرات رطوبت خاک، تاثیراتی فراوان بر ویژگی‌های حرارتی خاک دارد. به عبارت دیگر، تغییرات روزانه دما، همبستگی بالایی با مقدار رطوبت خاک دارد (Engman, 1985). Wang و همکاران (۲۰۰۷) با تلفیق داده‌های رطوبت خاک زمینی با شاخص‌های NDVI^۲ و LST حاصل از محصولات شاخص گیاهی و دمای سطحی MODIS، روابط رگرسیونی را برای برآورد رطوبت خاک به دست آوردند که نتایج حاصله همبستگی بالایی را با مشاهدات زمینی نشان داده است. یکی دیگر از شاخص‌های حرارتی، شاخص NDMI است که با تلفیق با شاخص NDVI، برای بررسی وضعیت خشکسالی و همچنین برآورد مقدار رطوبت خاک استفاده شده است (Yang, 2008; Lin, 2009).

بنابراین در پژوهش‌های گذشته، رطوبت خاک براساس شاخص‌های NDVI و LST و یا شاخص‌های NDMI و NDVI برآورد شده است. از آنجایی که 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

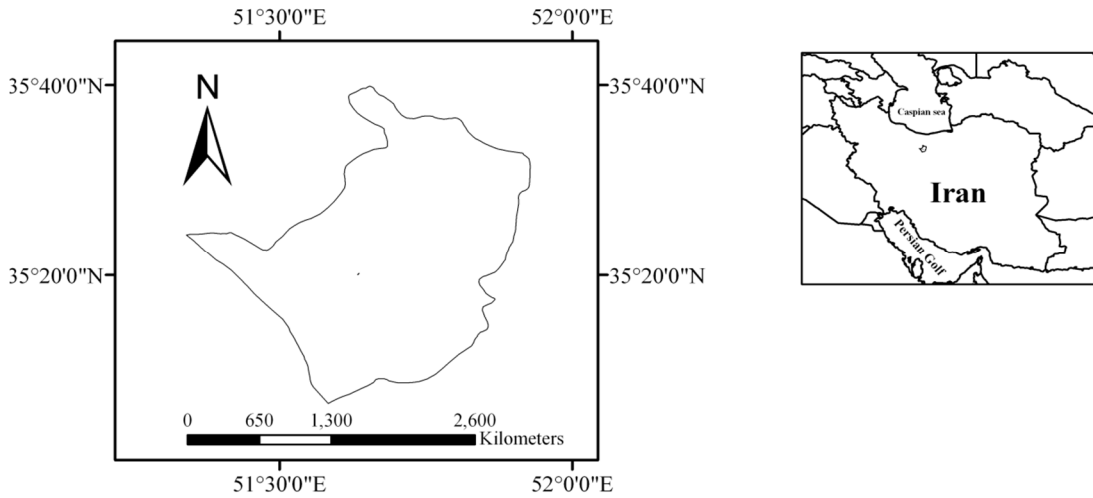
^۱ Land Surface Temperature

^۲ Normalized Difference Vegetation Index

^۳ Time Domain Reflectometry

روش شناسی هر یک از شاخص‌ها ارائه می‌شود.

شاخص‌های به کار رفته در این پژوهش به کمک نرم افزار ERDAS Imagine 9.2 به دست آمدند که در ادامه،



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه

شاخص LST

محاسبه دمای سطح زمین در تصاویر ماهواره‌ای مختلف، متفاوت می‌باشد. در سنجنده‌ی MODIS باندهای حرارتی ۳۱ و ۳۲ برای برآورد دمای سطح زمین قابل استفاده هستند. نخست، به منظور به دست آوردن دمای سطح زمین، تابش توسط معکوس رابطه پلانک (رابطه ۳) به درخشندگی باند تبدیل می‌شود (Lu and Weng, 2006).

$$T_i = \frac{\left(\frac{hc}{k}\right)}{\lambda_i \times \ln\left(\frac{2hc^2}{RAD\pi\lambda_i^5} + 1\right)} \quad (3)$$

در این رابطه، RAD تابش هر باند، h ثابت پلانک (6.626×10^{-34} J.s)، c سرعت نور (2.998×10^8 m/s)، k ثابت بولتزمن (1.381×10^{-23} J/k) و λ_i طول موج در وسط باند است. مقادیر λ برای باندهای ۳۱ و ۳۲ به ترتیب ۱۱/۰۳ و ۱۲/۰۳ میکرومتر می‌باشد. به طور ساده T_{br} برای هر باند مطابق رابطه ۴ به دست می‌آید.

شاخص NDVI

NDVI یا شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده، نمایه‌ای است وابسته به میزان و وضعیت پوشش گیاهی که از داده های باندهای قرمز (ρ_R) و مادون قرمز (ρ_{NIR}) با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

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

در سنجنده‌های مختلف، باندهای مربوط به طول موج قرمز و مادون قرمز متفاوت است. در سنجنده MODIS، باندهای ۱ و ۲ به ترتیب مربوط به طول موج‌های قرمز و مادون قرمز هستند.

شاخص NDMI

NDMI یا شاخص اختلاف رطوبتی نرمال شده، از داده‌های باندهای مادون قرمز نزدیک (ρ_{NIR}) و مادون قرمز میانی (ρ_{MIR}) با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$NDMI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{MIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{MIR}} \quad (2)$$

باندهای مربوط به طول موج مادون قرمز نزدیک و میانی در سنجنده MODIS به ترتیب باندهای ۲ و ۶ می‌باشند.

$$ME = \sum_{i=1}^n \frac{X_p - X_m}{n} \quad (۷)$$

که در این روابط، X_p بیان‌گر مقادیر برآوردشده به‌وسیله مدل و X_m بیانگر مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد. مقدار آماره ME بیان‌کننده آن است که مدل مورد نظر مقدار رطوبت خاک را بیشتر (مقادیر مثبت) یا کمتر (مقادیر منفی) از مقادیر واقعی برآورد می‌نماید. مقدار RMSE همواره مثبت یا صفر است و با نزدیک شدن آن به صفر، دقت مدل برای برآورد مقدار رطوبت خاک افزایش می‌یابد.

نتایج و بحث

پس از محاسبه شاخص‌های NDVI، LST و NDMI، توزیع داده‌ها به وسیله آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف (KS) با استفاده از نرم افزار SPSS بررسی شد. نتایج این آزمون در جدول ۱ ارائه شده است.

همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، نتایج آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف (KS) نشان‌دهنده نرمال بودن داده‌هاست. در مرحله بعد، به‌منظور بررسی ارتباط بین مقادیر رطوبت خاک و شاخص‌های فوق، آزمون همبستگی پیرسون انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است.

$$T_i = \frac{(c_2)}{\lambda_i \times \ln\left(\frac{c_1}{RAD\pi\lambda_i^5} + 1\right)} \quad (۴)$$

در این رابطه مقدار ضرایب ثابت c_1 و c_2 به ترتیب برابر با $3.741775 \times 10^{-22} \text{ (m}^3\mu^{-1}\text{)}$ و $0.0143877 \text{ (m}^\circ\text{K)}$ در نظر گرفته می‌شوند. همچنین در رابطه فوق، λ_i طول موج در وسط باند (متر) و RAD (رادینانس) بر حسب $\text{W.m}^{-2}.\text{steradian}^{-1}.\mu^{-1}$ می‌باشد. با بدست آوردن دمای درخشندگی، دمای سطح زمین نیز قابل حصول می‌باشد. این امر با کمک روابط تجربی صورت می‌گیرد. در این پژوهش از رابطه Parodi (۲۰۰۰) برای برآورد دمای سطح زمین استفاده شد:

$$T_s = 0.39Tb_{31}^2 + 2.34Tb_{31} - 0.78Tb_{32} - 1.34Tb_{32} + 0.39Tb_{32}^2 + 0.56 \quad (۵)$$

که در آن، Tb درخشندگی باند و اندیس‌های ۳۱ و ۳۲ باندهای سنجنده می‌باشند.

سنجش آماری نتایج

برای بررسی آماری صحت پیش‌بینی مدل‌ها، از شاخص‌های آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطا (ME) که به ترتیب از روابط ۶ و ۷ قابل محاسبه هستند، استفاده شد (نوری و همکاران، ۱۳۹۱).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_p - X_m)^2}{n}} \quad (۶)$$

جدول ۱. نتایج آزمون نرمال بودن شاخص‌های به کار رفته در مدل برآورد رطوبت خاک

		NDVI	LST	NDMI	M
N		۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
Normal Parameters*	Mean	۰/۲۵	۳۱۲/۶۳	-۰/۰۶	۰/۲۴
	Std. Deviation	۰/۰۵	۴/۲۸	۰/۰۴	۰/۰۳
Most Differences	Extreme Absolute	۰/۱۱۰	۰/۲۱۱	۰/۱۴۳	۰/۱۰۱
	Positive	۰/۱	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۰۹
	Negative	-۰/۱۱	-۰/۲۱	-۰/۰۹	-۰/۱
Kolmogorov-Smirnov Z		۰/۴۳	۰/۸۲	۰/۵۶	۰/۳۹
Asymp. Sig. (2-tailed)		۰/۹۹	۰/۵۲	۰/۹۱۸	۰/۱

* توزیع داده‌ها نرمال است.

جدول ۲. همبستگی بین مقادیر رطوبت خاک و شاخص‌های NDVI، LST و NDMI

		NDVI	LST	NDMI
رطوبت خاک	Pearson Correlation	۰/۳۳۶*	-۰/۶۹۹**	-۰/۶۱۸*
	Significant	۰/۰۲۱	۰/۰۰۴	۰/۰۳۷

* همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ وجود دارد.

** همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ وجود دارد.

جدول ۳. ضرایب رگرسیونی و معیارهای آماری مدل برآورد رطوبت خاک

Model 1	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	r	R ²	R ² _{adj}	Std. Error
	B	Std. Error	Beta					
Constant	۱/۷۵	۰/۳۸۲		۴/۵۶۹				
NDVI	۰/۲۲۲	۰/۱	۰/۴۰۱	۲/۲۴۴	۰/۸۱	۰/۶۵	۰/۵۶	۰/۰۲
LST	-۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	-۰/۷۵۰	-۴/۰۵۷				
NDMI	-۰/۰۴	۰/۱۳۹	-۰/۰۵۴	-۰/۲۹۲				

خاک با شاخص‌های ذکر شده، رابطه رگرسیون خطی به روش Enter بین مقادیر رطوبت خاک و مقادیر شاخص‌های NDVI، LST و NDMI به دست آمد که در رابطه ۸ ارائه شده است.

$$M_1 = 0.222 \text{ NDVI} - 0.005 \text{ LST} - 0.04 \text{ NDMI} + 1.75 \quad (۸)$$

با استفاده از رابطه ۸، می‌توان مقدار رطوبت خاک را به وسیله‌ی شاخص‌های NDVI، LST و NDMI، که به سهولت از طریق تصاویر ماهواره‌ای قابل محاسبه هستند، برآورد نمود.

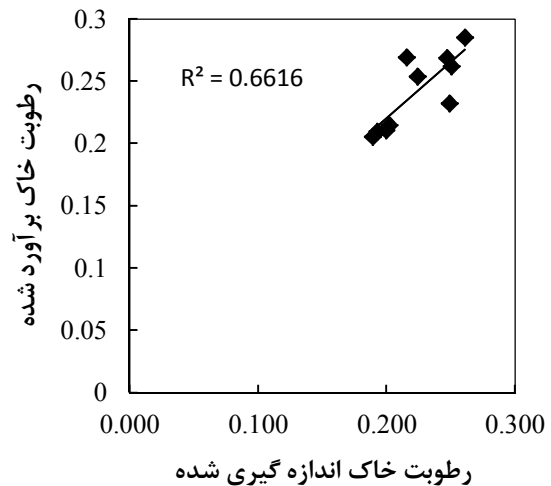
مقدار ME برای مدل برابر با ۰/۰۱۸- و مقدار RMSE برابر با ۰/۰۲۵ به دست آمد. مقدار ME نشان می‌دهد که مدل به دست آمده، مقدار رطوبت خاک را ۰/۰۱۸ کمتر از مقادیر واقعی آن، برآورد می‌نماید. مقدار RMSE برابر با ۰/۰۲۵ نشان می‌دهد که رطوبت خاک با افزودن شاخص NDMI به دو شاخص NDVI و LST مطرح شده توسط Carlson و همکاران (۱۹۹۵)، می‌تواند سبب تقویت رابطه رگرسیونی برآورد رطوبت خاک شود. شکل ۲ مقدار

رطوبت خاک با شاخص NDVI، همبستگی مثبت معنی‌دار در سطح ۵٪ وجود دارد. بین مقادیر رطوبت خاک با شاخص LST، همبستگی منفی معنی‌دار در سطح ۱٪ و بین مقادیر رطوبت خاک با شاخص NDMI، همبستگی منفی معنی‌دار در سطح ۵٪ وجود داشت. بنابراین نتایج به دست آمده نشان دهنده همبستگی بین مقادیر رطوبت خاک با شاخص‌های مورد نظر در این پژوهش، بود.

پس از محاسبه شاخص‌ها و آزمون آن‌ها، به منظور برآورد رطوبت خاک با استفاده از شاخص‌های NDVI، LST و NDMI، به کمک نرم افزار SPSS، رابطه رگرسیونی بین مقادیر رطوبت خاک و شاخص‌های ذکر شده، برقرار شد. نتایج به دست آمده در جدول ۳ ارائه شده است.

بر پایه این جدول، مقدار ضریب تبیین برای رابطه رگرسیونی، حدود ۰/۶۵ بود که نشان دهنده برآورد مناسب رطوبت خاک بوسیله مدل می‌باشد. براساس نتایج به دست آمده و برای دست‌یابی به رابطه برآورد رطوبت

رطوبت خاک تخمین زده شده با استفاده از مدل پیشنهادی را به ازای داده‌های اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد.



شکل ۲. پراکندگی مقادیر رطوبت خاک اندازه‌گیری شده و برآورد شده حاصل از کاربرد مدل

نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از مدل 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. با مقایسه میزان خطای مدل پیشنهادی، افزایش شاخص NDMI به مدل، باعث افزایش میزان دقت در برآورد رطوبت خاک گردید. همچنین، مقدار ضریب تبیین برابر با ۰/۶۶ به دست آمد که نشان دهنده دقت مناسب مدل به دست آمده در مقایسه با مقادیر مشاهداتی است. نقشه خاک شبیه سازی شده به وسیله این مدل قادر است ۶۶ درصد تغییرات رطوبت خاک را در منطقه پیش‌بینی کند که این نشان دهنده کاربرد شاخص NDMI و اهمیت آن در مطالعات و برآورد رطوبت خاک می‌باشد.

فهرست منابع

بابائیان، الف، همایی، م. و نوروزی، ع. ۱۳۹۲. اشتقاق و اعتبارسنجی توابع انتقالی طیفی نقطه‌ای در گستره

VIS-NIR-SWIR به منظور تخمین نگهداشت آب در خاک. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. ۲(۳): ۴۱-۲۷.

خداوردیلو، ح. و همایی، م. ۱۳۸۳. تأثیر کربنات کلسیم بر منحنی رطوبتی خاکهای مناطق خشک و نیمه خشک. مجله علوم کشاورزی. ۱: ۷۷-۸۶.

خداوردیلو، ح. و همایی، م. ۱۳۸۱. اشتقاق توابع انتقالی خاک به منظور برآورد منحنی مشخصه رطوبتی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۱۱: ۳۶-۴۶.

فرخیان فیروزی، الف. و همایی، م. ۱۳۸۲. برآورد پارامتریک ویژگیهای هیدرولیکی خاکهای گچی با استفاده از توابع انتقالی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۵: ۵۷-۷۳.

فرخیان فیروزی، الف. و همایی، م. ۱۳۸۴. ایجاد توابع انتقالی نقطه‌ای برای برآورد منحنی رطوبتی خاکهای گچی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۶(۲۴): ۱۲۹-۱۴۲.

قربانی دشتکی، ش. و همایی، م. ۱۳۸۳. برآورد منحنی رطوبتی خاک با استفاده از توابع انتقالی. مجله علوم کشاورزی. ۱۰(۴): ۱۵۷-۱۶۶.

قربانی، ش. و همایی، م. ۱۳۸۶. برآورد پارامترهای برخی مدل‌های نفوذ آب به خاک با استفاده از توابع انتقالی. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۱(۱): ۲۱-۳۹.

قربانی، ش. و همایی، م. ۱۳۸۶. کارایی برخی مدل‌های نفوذ آب به خاک در مناطق پدوژنیک مختلف ایران. مجله علوم کشاورزی. ۱۳(۱): ۷۹-۹۶.

قربانی، ش. و همایی، م. ۱۳۸۱. برآورد پارامتریک توابع هیدرولیکی بخش غیر اشباع خاک با استفاده از توابع انتقالی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۱۲: ۱-۱۶.

کرمی، ع. همایی، م.، بای‌بوردی، م. و محمودیان شوشتری، م. ۱۳۹۰. ارزیابی کمی تغییرپذیری مکان پارامترهای

- variety of soil data. *Soil Use and Management*, 26(1):68-74.
- Ghorbani-Dashtaki, S., Homaeae, M. and Mahdian, M. H. 2009. Site Dependence performance of Infiltration Models. *Water Resource Management*, 23:2777-2790.
- Homaeae, M. and Farrokhan Firouzi, A. 2008. Deriving point and parametric pedotransfer functions of some gypsiferous soils. *Australian Journal of Soil Research*, 46: 219-227.
- Khodaverdiloo, H., Homaeae, M., Van Genuchten, M. Th and Ghorbani Dashtaki, S. 2011. Deriving and validating pedotransfer functions for some calcareous soils. *Journal of Hydrology*, 399:356-361.
- Lin, M. L. 2009. Monitoring Drought Dynamics in the Ejin Oasis using Drought Indices from MODIS Data. *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 4: 834-837.
- Lunt, L. A., Hubbard, S. S. and Rubin, Y. 2005. Soil moisture content estimation using ground-penetrating radar reflection data. *Journal of Hydrology*, 307: 254-269.
- Mekonnen, D. F. 2009. Satellite remote sensing for soil moisture estimation: Gumara Catchment, Ethiopia. MSc. Thesis of Geo-information Science and Earth Observation, Specialisation: (Integrated Watershed Modelling and Management). WREM Department of ITC, Enschede, the Netherlands. 120 pages.
- Wang, L. and J. Qu, J. 2009. Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring. *Earth Science*, 3: 237-247.
- 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: 2765-2768.
- 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 Science*.
- Zarei, Gh., Homaeae, V and Liaghat, A.M. 2009. Modeling Transient Evaporation from Descending Shallow Groundwater Table Based on Brooks-Corey Retention Function. *Water Resources Manage.* 23:2867-2876.
- Zarei, Gh., Homaeae, M., Liaghat, A.M. and Hoorfar, A.H. 2010. A model for soil surface evaporation based on Campbell's retention curve. *Journal of Hydrology*, 380:356-361.
- مدل‌های نفوذ آب به خاک در پهنه وسیع با روش‌های زمین آماری. آبیاری و زهکشی ایران، ۵(۲): ۲۳۳-۲۲۰.
- کرمی، ع.، همایی، م.، بای‌بوردی، م.، محمودیان شوشتری، م. و دوات گر، ن. ۱۳۹۱. پراکنش مکانی پارامترهای نفوذ آب به خاک در مقیاس ناحیه‌ای. دانش آب و خاک. ۲۲(۱): ۳۱-۷۱.
- مطلبی، الف.، همایی، م. و پذیرا، الف. ۱۳۸۶. برآورد پارامترهای هیدرولیکی خاکهای رسی با استفاده از توابع انتقالی نقطه‌ای. مجله علوم کشاورزی، ۱۳(۲): ۳۴۹-۳۶۵.
- مطلبی، الف.، همایی، م.، زارعی، ق. و محمودی، ش. ۱۳۸۹. بررسی تاثیر آهک بر ویژگی های رطوبتی خاکهای سری گرمسار با استفاده از توابع انتقالی. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۴(۳): ۴۲۶-۴۳۹.
- نوابیان، م.، لیاقت، ع. و همایی، م. ۱۳۸۲. تخمین هدایت آبی اشباع با استفاده از توابع انتقالی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۱۶: ۱-۱۲.
- نوری، م.، همایی، م. و بای‌بوردی، م. ۱۳۹۱. ارزیابی پارامتریک توانایی نگهداشت خاک در حضور نفت خام در حالت سه فازی. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. ۲(۲): ۲۴-۱۶.
- 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*, 7:2458-2483.
- Carlson T, Gillies R, 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: 161-173.
- Engman, E. T. 1985. Partial Area Hydrology and Remote Sensing. *Journal of Hydrology*, 81: 211-251.
- Ghorbani-Dashtaki, S., Homaeae, m. and Khodaverdiloo, H. 2010. Derivation and validation of pedotransfer functions for estimating soil water retention curve using a



Soil moisture estimating with NDVI and land surface temperature and normalized moisture index using MODIS images

Fatemeh Khanmohammadi¹, Mehdi Homaee^{2*} and Ali Akbar Noroozi³

1) M.sc., Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2*) Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

*Corresponding author email: mhomaee@modares.ac.ir

3) Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran

Received: 24-12-2014

Accepted: 15-06-2015

Abstract

Soil surface water content is a key variable of hydrologic cycle which plays a significant role in global water and energy balance by affecting several hydrological, ecological and meteorological processes. Soil moisture varies significantly in space and time due to spatial variability of soil properties, topography, vegetation characteristics and atmospheric dynamics. Soil moisture is either measured directly by in situ methods, e.g., Neutron probe, time domain reflectometry (TDR) or estimated indirectly through pedotransfer functions (PTFs) or remote sensing (RS). Since in situ measurements in large scales are mainly expensive and time consuming, the RS-GIS methods can be used for this purpose. The objective of this study was to estimate surface soil moisture using NDVI, NDMI and LST indices. For this purpose, by using images of MODIS 1B, the indicators of soil moisture were obtained. By using the field soil moisture data, the required analyses were performed to calibrate and validate the model output. The results indicated that there is a reasonable correlation (0.66) between the soil surface moisture and some indices such as NDVI, NDMI and LST. The model validation further indicated that having a mean error of less than about 0.018, the proposed method can predict soil surface moisture reasonably.

Keywords: LST; NDMI; NDVI; surface soil moisture