

کلیدواژه‌ها: سنجش از دور، رطوبت خاک، لندست ۸ Sentinel-1

مقدمه

رطوبت خاک یکی از اجزاء مهم مدل‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی است که بخش قابل توجهی از مطالعات مربوط به خشکسالی را نیز به خود اختصاص داده است [۱۷]. این پارامتر، به شدت در زمان‌ها و مکان‌های مختلف متنوع و مقدار آن در هر منطقه نسبت به زمان و مکان تغییر می‌کند [۱۹]. به دلیل دشواری در اندازه‌گیری‌های پیوسته رطوبت خاک به لحاظ مکانی و زمانی و پرهزینه و وقت‌گیر بودن اندازه‌گیری‌های میدانی عملاً انجام آن را به ویژه در مناطق صعب‌العبور، کوهستانی و وسیع، غیرعملی می‌سازد [۲]. چنانچه بتوان ارتباطی بین داده‌های رقومی ماهواره و رطوبت خاک برقرار نمود، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای قادر خواهد بود، تخمین رطوبت خاک در سطح حوزه را تسهیل و دسترسی به نقاط دور یا خارج از دسترس را فراهم کند. این پژوهش به دنبال یافتن و مدل‌سازی این ارتباط است. روش‌های متعددی برای تخمین رطوبت خاک در سطح وسیع و به روش سنجش از دور وجود دارد، استفاده از ابزارهای سنجش با کمک امواج نوری و حرارتی و ماکروویو از این قبیل می‌باشند [۲۲]. آگاهی از توزیع مکانی و زمانی دمای سطح زمین برای تعیین بیلان انرژی زمین، مطالعات هواشناسی، اقلیمی و تبخیر و تعرق ضروری است. دمای سطح زمین مقدار خالص انرژی است که تحت شرایط اقلیمی در سطح زمین متوازن شده و به مقدار انرژی رسیده به سطح زمین، گسیلندگی سطح، رطوبت و جریان هوای اتمسفر، بستگی دارد. دمای سطح زمین را می‌توان با استفاده از تابش مادون قرمز که از سطح زمین ساطع می‌شود، به کمک معادله معکوس پلانک برآورد کرد [۱۶]. سنجش از دور مایکروویو تابش الکترومغناطیسی را در محدوده‌ی امواج الکترومغناطیسی در طول موج ۵/۰ تا ۱۰۰ سانتی متر اندازه‌گیری می‌کند. برای ماهواره‌های سنجش از دور در محدوده مایکروویو فقط طول موج‌های بزرگتر از ۵ سانتیمتر مؤثر است، زیرا که این محدوده‌ی طول موجی کم‌تر تحت تأثیر پوشش گیاهی و اتمسفر قرار می‌گیرد عمق بیشتری از خاک را تشخیص می‌دهند و به رطوبت خاک بیش‌تر حساس هستند [۲۱]. نوروزی اقدم و کرمی [۱۴] با اندازه‌گیری رطوبت خاک توسط سنجش از دور، به رابطه رطوبت خاک بدست آمده از اندازه‌گیری‌های میدانی و شاخص NDVI حاصل از تصاویر سنجنده MODIS با بهره‌گیری

برآورد رطوبت خاک با استفاده از سنجش از دور نوری، حرارتی و راداری (مطالعه موردی اراضی جنوب تهران)

کیوان باقری^۱، میلاد باقری^۲، علی اصغر حسین زاده^۳ و منصور پروین^۴
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲۸

چکیده

رطوبت خاک یکی از پارامترهای مهم محیطی است. روش‌های سنتی اندازه‌گیری میدانی رطوبت خاک نمی‌توانند تغییرات مکانی رطوبت را به‌نحو مطلوب نشان دهند. سنجش از دور نقش کاربرد وسیعی در این امر پیدا کرده است. هدف پژوهش، دسترسی به یک مدل برآورد رطوبت خاک در جنوب تهران است. داده‌های ماهواره‌ای لندست ۸ و ماهواره راداری Sentinel-1 از استان تهران تهیه شد. ۱۲۸ نمونه خاک هم‌زمان با گذر ماهواره از منطقه برداشت و در مرحله اعتبارسنجی استفاده شدند. با پیش پردازش‌های لازم بر روی تصاویر ماهواره‌ای و با بهره‌گیری از چهار گروه از شاخص‌های مختلف: (۱) SAVI، (۲) NDVI، MI، NDWI و (۳) باندهای لندست (۳۸ فیلترهای رادار (۴) LST اقدام به مدل‌سازی رطوبت خاک گردید. بررسی دقت توابع و معرفی دقیق‌ترین مدل‌ها، با محاسبه‌ی انواع روابط رگرسیونی بین معیارهای مذکور و نقاط زمینی انجام شد که نتایج حاصل از مقایسه‌ی روابط در گام نهایی، به معرفی دو مدل رگرسیون چند متغیره برای برآورد رطوبت منطقه مورد نظر ختم گردید. نتایج نشان دادند که مدل‌های معرفی شده از ضریب همبستگی مناسب $R^2=81$ و $R^2=72$ برخوردارند. هم‌چنین در میان شاخص‌های موجود در چهار گروه، شاخص SAVI، باندها ۱، باندها ۱۱، فیلتر لی و LST، بیش‌ترین همبستگی برای برآورد رطوبت خاک را دارا می‌باشند.

۱. نویسنده مسئول و دانشجوی دکتری RS&GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، پست الکترونیک: k.bagheri@ut.ac.ir

۲. کارشناسی ارشد RS&GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۳. کارشناسی ارشد RS&GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۴. استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور

از داده‌های روزانه هواشناسی، توسط روش‌های چند متغیره خطی پرداخت و به نتیجه همبستگی میان رطوبت لایه سطحی خاک و NDVI پانزده روزه در فصل رشد رسید. راتو و همکاران [۱۵] داده‌های رطوبت خاک را با سنجنده AMSR-E در طول سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۰۲ را با داده‌های میدانی بارش مقایسه نمودند. و با مقایسه داده‌های رطوبت خاک با بارش به نتیجه هماهنگی میان پارامترهای بارش و رطوبت خاک رسیدند. و در نهایت بسیاری از قسمت‌های خشکسالی ۲۰۰۲ هندوستان در نقشه‌های تهیه شده قابل مشاهده می‌باشد. فلاح [۷] به شبیه‌سازی رطوبت به کمک مدل SWAP با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌های MODIS و ETM و نمونه‌های میدانی ۳ ماهه انجام داد و به نتیجه ضریب همبستگی بین مقادیر برابر ۷۶ درصد رسیده است. خان‌محمدی و همکاران [۱۱] به برآورد رطوبت خاک سطحی با استفاده از شاخص‌های NDVI، LST و NDMI با تصاویر MODIS پرداخت که نتایج نشان داد بین مقادیر رطوبت خاک سطحی با شاخص‌های NDVI، LST و NDMI همبستگی مناسبی (۶۶٪) وجود دارد. دادرسی سبزواری و همکاران [۵] با مدل‌سازی سطوح مختلف رطوبت خاک در گستره داده‌های انعکاسی و حرارتی توسط لندست ۸ به همبستگی مناسبی میان داده‌های میدانی و شاخص‌های ماهواره‌ای با مولفه‌های اصلی دست یافت. هرب و همکاران [۹] طی پژوهشی در سه منطقه مختلف آمریکا، دمای سطح زمین با کاربری‌های مختلف را با استفاده از شار گرمایی استخراج کردند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تعیین دمای سطح خاک لخت از دقت کم‌تری نسبت به اراضی دارای پوشش گیاهی برخوردار است. علوی پناه و همکاران [۱] از ۱۲ تصویر ماهواره نوا در سال ۲۰۰۱ برای تهیه دمای سطحی حاشیه یاردانگ‌های بیابان لوت استفاده کردند. این محققان برای بررسی دقت مدل به دست آمده، هشت اندازه‌گیری زمینی را به منزله نقاط کنترل به کار گرفتند. براساس نتایج این پژوهش با استفاده از تلفیق داده‌های ماهواره‌ای و زمینی، می‌توان اطلاعات مفیدی از پدیده‌های سطحی به دست آورد، اما برای محاسبه دقیق‌تر دما، در نظر گرفتن توان تابشی دقیق برای پدیده‌ها یا خاک‌های منطقه مطالعاتی الزامی است. وانگ و همکاران [۲۲] با تلفیق داده‌های رطوبت خاک زمینی با شاخص‌های NDVI 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. در پژوهشی، بروکا و همکاران [۴] با استفاده از داده‌های میکروموج غیرفعال سنجنده AMSR-E ماهواره Aqua و سنجنده ASCAT ماهواره MetOP مقدار رطوبت سطح خاک را به ترتیب با ضرایب همبستگی (R) برابر ۰/۷۱ و ۰/۶۲ برآورد کرده‌اند. لیونز و ورهوست [۱۲] وجود همبستگی بین داده‌های سنجنده RADARSAR-2 در پلاریزاسیون‌های HH و VV با مقدار رطوبت خاک را گزارش دادند، به طوری که رطوبت تخمینی توسط مدل IEM با RMSE برابر ۰/۰۴

برآورد شد. سالی و همکاران [۲۰] دقت تصاویر ASAR (باند C، پلاریزاسیون HH و VV) و RADARSAT-1 (باند L، پلاریزاسیون HH) را در تخمین رطوبت خاک اراضی کشاورزی غرب ترکیه مورد مقایسه قرار دادند. بر اساس نتایج آن‌ها، ارتباط بین رطوبت خاک و ضریب پس انتشار از خاک به ترتیب با R^2 برابر ۰/۷۷، ۰/۸۱ و ۰/۸۶ بدست آمد. بررسی نتایج این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که نوع سنجنده، روش مدل‌سازی و شرایط اقلیمی و ژئوفیزیکی منطقه تأثیر زیادی بر دقت نتایج حاصله دارد. هدف از انجام این پژوهش، امکان‌سنجی استفاده از داده‌های Landsat 8 و Sentinel-1 در مناطق نیمه خشک به منظور ارائه یک مدل رطوبتی تجربی برای بازیابی مقدار رطوبت لایه سطحی خاک و هم‌چنین مقایسه بین داده‌ای و هم‌چنین تهیه نقشه رطوبتی است.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه زمین‌های کشاورزی قسمت جنوب استان تهران حد فاصل شهرستان‌های تهران، ری و اسلامشهر می‌باشد. این محدوده در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی قرار دارد. در این محدوده تنوع پوشش گیاهی شامل جنگل‌های تنک درختان کاج، مراتع، اراضی کشاورزی (گندم، جو و صیفی جات) به چشم می‌خورد (شکل ۱).

داده‌های تحقیق

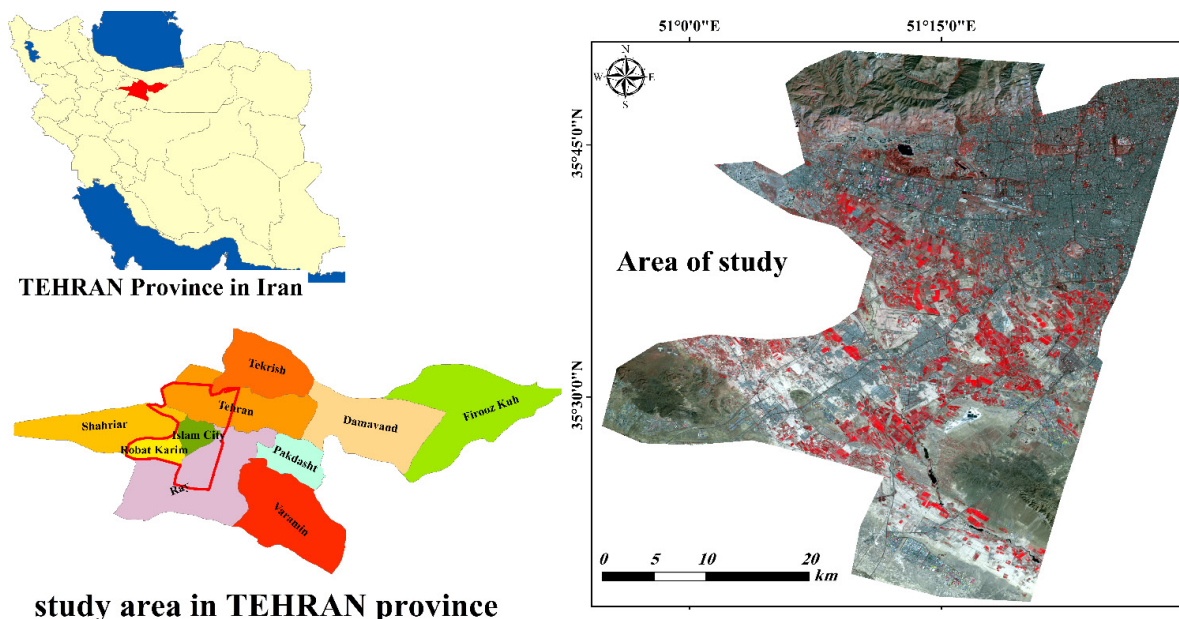
داده‌های زمینی

تعداد ۱۲۸ نقطه توسط نمونه برداری میدانی حاصل و برای انتخاب موقعیت این نقاط در منطقه‌ی مورد مطالعه از روش تصادفی، استفاده شد. انتخاب این روش به دلیل یافتن زمین‌های دارای پوشش گیاهی کم و یا فاقد پوشش گیاهی به همراه دامنه تغییرات بالای رطوبتی خاک می‌باشد. به‌طور خلاصه، ۱۲۸ نقطه در ۲ بازه‌ی زمانی متفاوت انتخاب گردید و مقادیر رطوبت لایه‌ی سطحی خاک (عمق ۰ الی ۵ سانتی‌متر) با روش مستقیم وزنی در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. نمونه‌برداری در ۱۷/ اسفند ۱۳۹۴ و ۲۱/ اردیبهشت ۱۳۹۵ و هم‌زمان با گذر ماهواره از منطقه به تاریخ میلادی (۷ مارس ۲۰۱۶ و ۱۰ مه ۲۰۱۶) صورت گرفت و مختصات نقاط نمونه برداری شده توسط دستگاه GPS (موقعیت یاب جهانی) برداشت شد (شکل ۲). آون قرار گرفت و در چندین مرحله و تکرار میزان رطوبت خاک و درصد آن مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (جدول ۱).

برای بدست آوردن درصد رطوبت خاک، به صورت درصدی از وزن خشک آن بیان می‌شود و به صورت زیر تعریف می‌گردد [۳]:

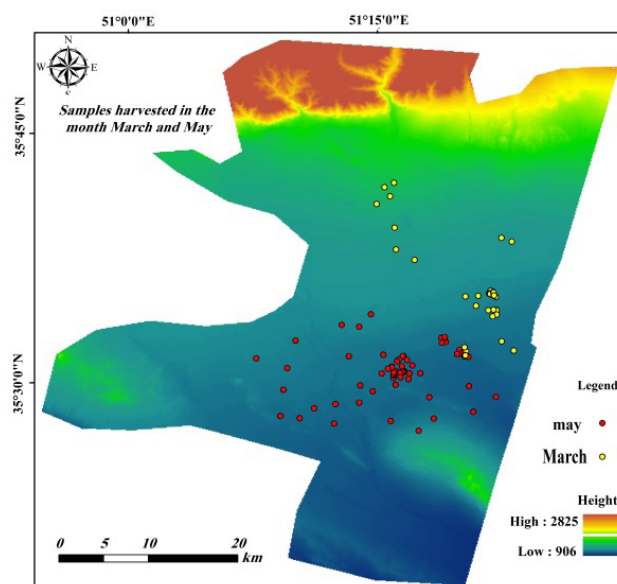
$$\omega = \frac{w_1 - w_2}{w_2} * 100 \quad (1)$$

که w ، رطوبت خاک، W_1 وزن مرطوب خاک (g) و W_2 وزن خشک شده خاک (g) داده‌های ماهواره‌ای



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

Fig 1. Geolocation of the Study area



شکل ۲- موقعیت نقاط

Fig 2. Position of points

به عهده دارد. دو سنسور، یکی سنسور عملیاتی تصویر ساز زمین و دیگری سنسور حرارتی مادون قرمز به ترتیب امکان تهیه اطلاعات تصویر برای نه باند موج کوتاه و دو باند طول موج حرارتی ماهواره لندست ۸ را فراهم می سازند. امکان تهیه هم زمان داده های لندست ۸ با تاریخ عملیات میدانی تعیین رطوبت خاک، وجود تکنولوژی پیشرفته تر این ماهواره نسبت به سایر ماهواره های سری خود که با بهبود و افزایش تعداد آشکارسازها، کیفیت تصویر را بهبود بخشیده

ماهواره های سنجش از دور، امواج الکترومغناطیس بازتابی از عوارض سطح زمین را اندازه گیری و امکان دسترسی به بسیاری از اطلاعات سطح زمین را فراهم می آورند. در این پژوهش، داده های چند طیفی از ماهواره لندست ۸، مربوط به مسیر ۱۶۵ و ردیف ۳۵ در ۲ زمان به تاریخ های ۷ مارس ۲۰۱۶ و ۱۰ مه (می) ۲۰۱۶ استفاده شد. این ماهواره، که تداوم مأموریت تصویربرداری لندست های قبلی (LDCM) برای توسعه ی بیش از ۴۰ سال تصویربرداری زمینی را

است، قابلیت تفکیک مکانی، زمانی و طیفی مناسب و سابقه‌ی استفاده از سنجنده‌های لندست‌های گذشته در تحقیقات مرتبط که به لحاظ هندسه‌ی اخذ داده، کالیبراسیون، خصوصیات پوشش، ویژگی‌های طیفی و در دسترس بودن داده، مشابه لندست ۸ می‌باشند، دلایل اصلی انتخاب این ماهواره در پژوهش فعلی است. محصول با تصحیحات هندسی است و تصحیحات رادیومتریک مربوط به سنجنده و تصحیح اتمسفر به روش Quick Atmospheric Correction به‌عنوان پیش پردازش توسط ENVI 5.3 صورت گرفت. علاوه بر تصاویر ماهواره لندست در این مطالعه از تصاویر رادار نیز استفاده شد. یکی از تصاویر راداری برای کاربردهای سنجش از دوری، تصاویر Sentinel-1 است که توسط سازمان فضایی اروپا در سال ۲۰۱۴ در مدار قرار داده شده است. تصاویر Sentinel-1 با تکنیک SAR اخذ می‌شود و تصاویری در باند C در شب و روز و وضعیت‌های مختلف آب و هوایی فراهم می‌کند. تصاویر این سنجنده‌ی با فن‌آوری روز، مولتی پولارایز، با توان تفکیک زمانی و مکانی مناسب و همچنین رایگان است، این موارد از جمله مزایای استفاده از این نوع تصاویر به حساب می‌آیند.

نحوه پردازش

عوامل مورد استفاده برای مدل‌سازی برآورد رطوبت را به چهار گروه: باندهای تصاویر لندست، شاخص‌های گیاهی، LST و تصاویر رادار تقسیم شد که به‌ترتیب مورد بررسی قرار گرفتند. در پژوهش حاضر، از شاخص‌های متعددی استفاده شد، تا تأثیر منفی کمبود پوشش گیاهی بر تصاویر ماهواره کاهش یابد. گروه اول و دوم عوامل مورد استفاده برای مدل‌سازی شامل ۴ شاخص ماهواره‌ای و ۹ باند (هفت باند موج کوتاه و دو باند حرارتی) تصاویر ماهواره لندست ۸، مجموعاً ۱۳ متغیر مندرج در جدول ۲ به کار گرفته شدند. برای تهیه گروه سوم عوامل یعنی LST (دمای سطح زمین) ابتدا در محیط نرم افزار ENVI مقدار DN باندهای قرمز و مادون قرمز

به رفلکتانس و DN باندهای حرارتی به دمای روشنائی تبدیل شد. سپس با استفاده از روش Split Window و برنامه نوشته شده در محیط متلب مقدار LST برای ماه اسفند و اردیبهشت به دست آمد. گروه چهارم عوامل شامل تصویر راداری بود: به دلیل در دسترس نبودن تصویر رادار ماهواره Sentinel-1 برای ماه اردیبهشت در این مطالعه با اعمال پردازش تصویر و سه فیلتر لاپلاسی، لی و میانه بر روی تصویر ماهواره Sentinel-1 ماه اسفند این عوامل نیز برای فرایند مدل‌سازی آماده شدند. بعد از بدست آوردن این چهار گروه از عوامل انواع روابط رگرسیونی از قبیل لگاریتمی، خطی، توانی، معکوس، لجستیک، نمایی بین آن‌ها و نقاط زمینی ایجاد و با توجه به ضرایب همبستگی آن‌ها از هر گروه بهترین عامل که دارای بیش‌ترین همبستگی و دقت بود انتخاب و از آن‌ها برای ایجاد رگرسیون چند متغیره استفاده شد.

نتایج

در این پژوهش پردازش‌های مورد نیاز تصاویر ماهواره‌ای و فعالیت‌های میدانی و آزمایشگاهی جهت بدست آوردن رطوبت خاک و تعمیم دهی آن به تصاویر ماهواره‌ای صورت گرفت. بر پایه نتایج حاصله، از میان ۱۳ متغیر پیش‌بینی کننده‌ی گروه اول و دوم دخیل در آزمون، ۱۰ متغیر Band1, Band2, Band5, Band7, Band11, Band10, NDVI, MI, NDWI, SAVI بر تغییرات متغیر رطوبت پاسخ دارند. با تأیید عدم وجود نقاط پرت، نرمال بودن و همبستگی داده‌ها و مشخص شدن مناسب‌ترین متغیرهای مؤثر در متغیر هدف، زمینه‌ی ایجاد نقشه رطوبت خاک منطقه فراهم شد. نتایج ۱۰ متغیر در روش رگرسیون‌های مختلف (R^2) به همراه مدل اندازه‌گیری در جدول ۵ و ۶ آمده است. هم‌چنین نمودارهای رگرسیون متغیرها در اسفند ماه در شکل ۴ آمده‌اند و هم‌چنین نمودارهای ترکیبی رگرسیون‌های چند جمله‌ای، لگاریتمی و توانی متغیرها در اردیبهشت ماه در شکل ۵ آورده شده‌اند

جدول ۱- خلاصه رطوبت‌های بدست آمده در آزمایشگاه

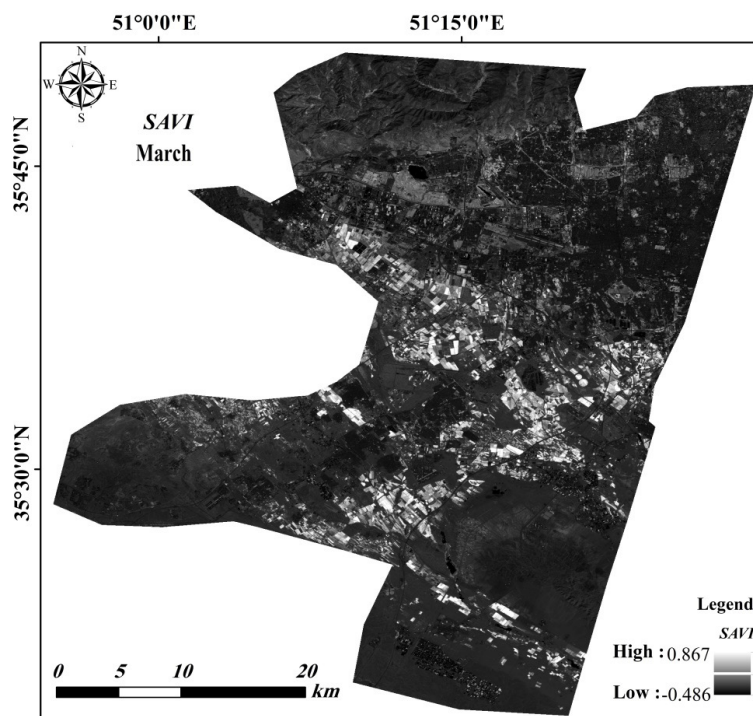
Table 1. Summary of the moisture

میانگین کل Total Average	کم‌ترین درصد رطوبت Minimum moisture	بیش‌ترین درصد رطوبت Maximum moisture	تعداد نمونه Number of samples	برداشت میدانی Field picking
17.41%	6.31%	28.5%	66	اسفند March
15.19%	2.28%	28.09%	62	اردیبهشت May
15.39%	2.28%	28.5%	128	جمع Total

جدول ۲- نمایه‌های رطوبتی، نسبت‌گیری‌های باندی، باندهای طیفی و شاخص‌های مورد استفاده

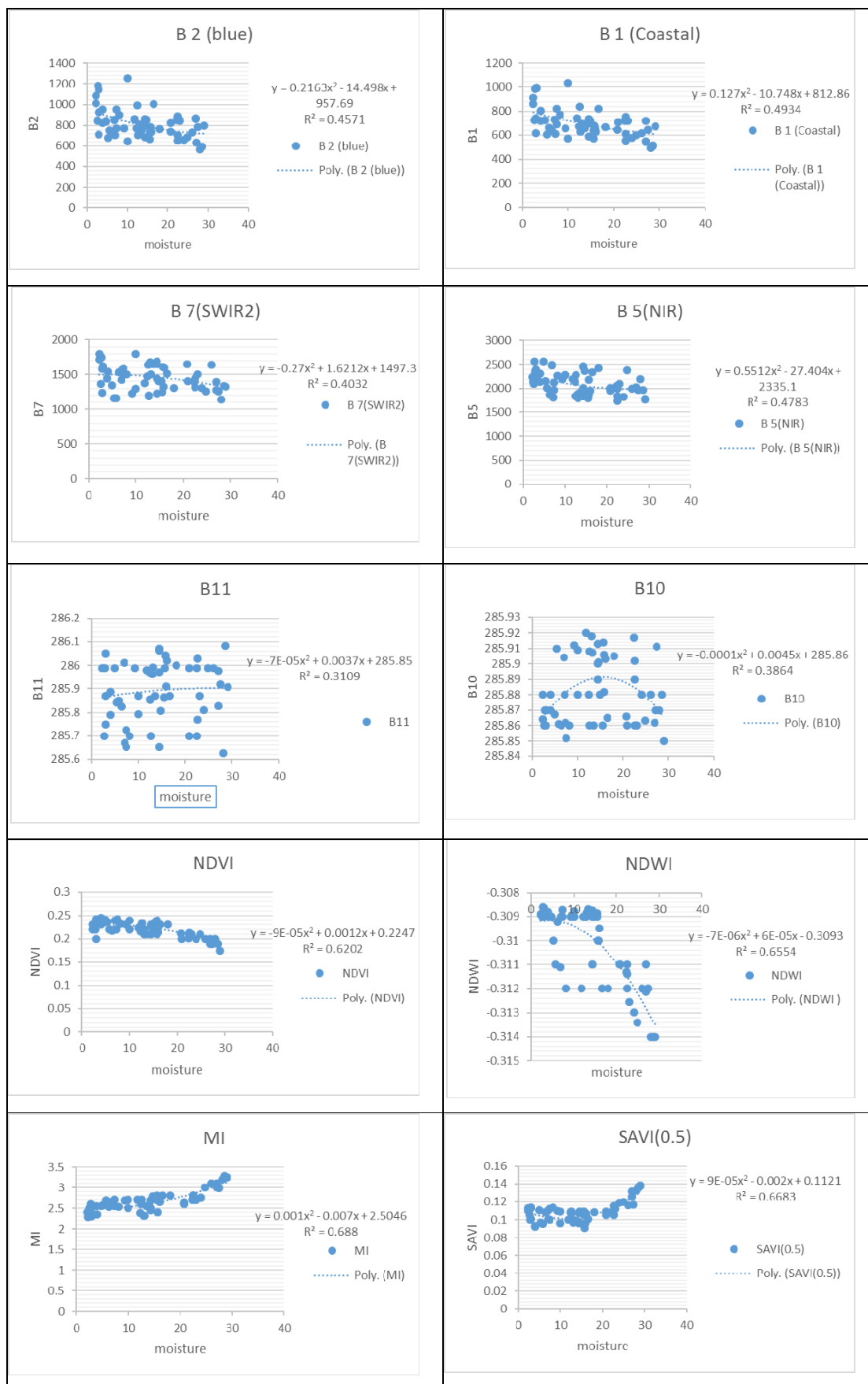
Table 2. Moisture profiles, Bonding References, Spectral bands and Indictors used

منبع Source	ملاحظات Considerations	دامنه Domain	نمایه Profile	ردیف Row
Gao(1996)	Water has a positive value	(Green-NIR)/ (Green+NIR)	NDWI	1
Huete (1988)	L=0 High vegetation L=1 Low vegetation L=0.5 For most lands	((NIR-Red) / (NIR+Red+L))*(1+L)	SAVI	2
Dupigny - Giroux Lewis (1999)	Water has a positive value	(NIR)/(Blue)	MI	3
Rouse, J.W.; Haas,R.H.; (1973)	Water has a negative value	(NIR-Red)/(NIR+Red)	NDVI	4
NASA, (2015)	Coastal	0/451-0/435 (μm)	Band 1	5
"	Blue	0/512-0/452 (μm)	Band 2	6
"	Green	0/590-0/525 (μm)	Band 3	7
"	Red	0/673-0/636 (μm)	Band 4	8
"	NIR	0/879-0/851 (μm)	Band 5	9
"	SWIR1	1/651-1/566 (μm)	Band 6	10
"	SWIR2	2/294-2/107 (μm)	Band 7	11
"	TIRS1	11/19-10/60 (μm)	Band 10	12
"	TIRS2	12/51-11/50 (μm)	Band 11	13



شکل ۳ - نمونه ی تصاویر شاخص گیاهی SAVI

Fig 3. Sample pictures Vegetation Index SAVI

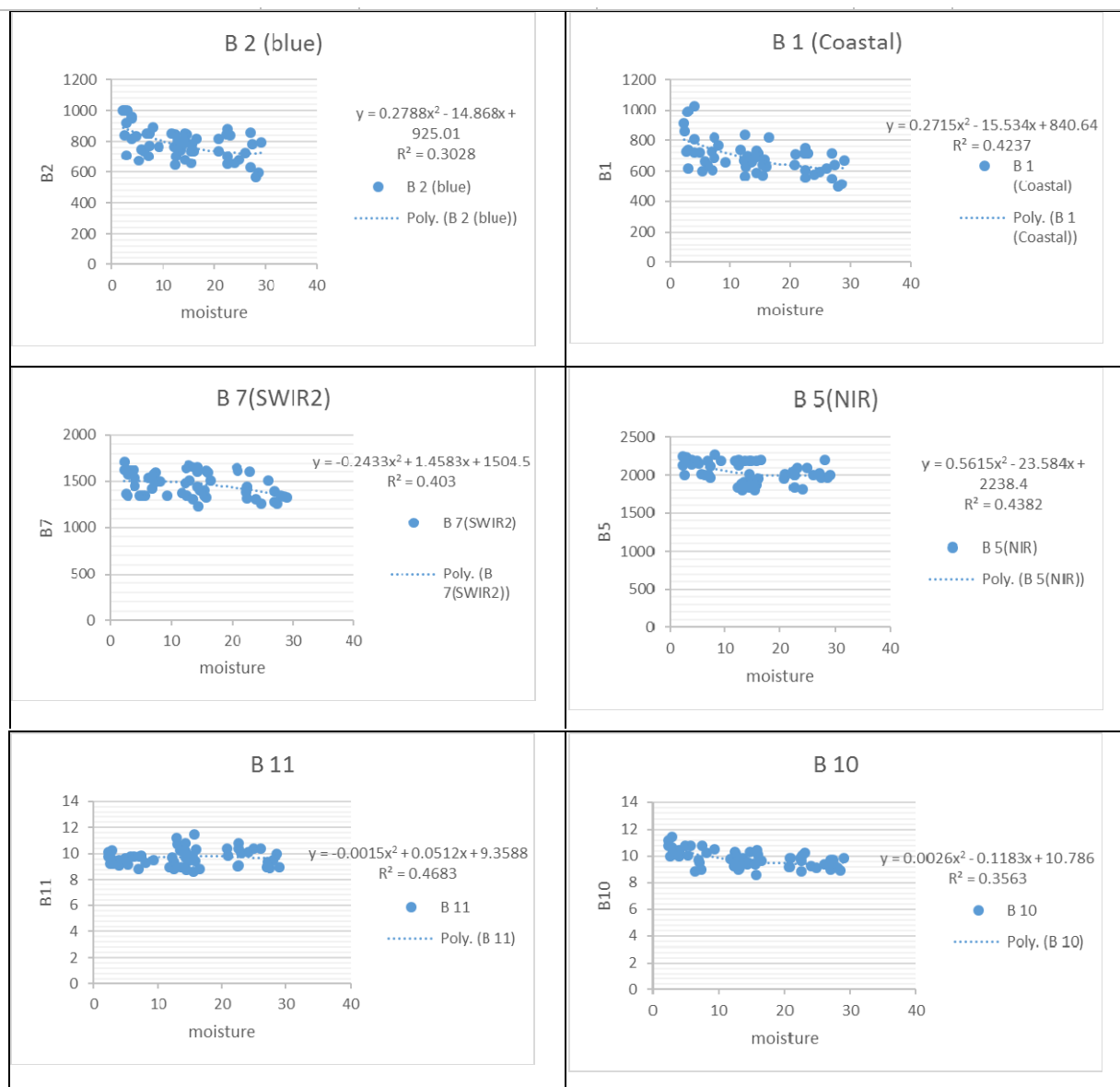


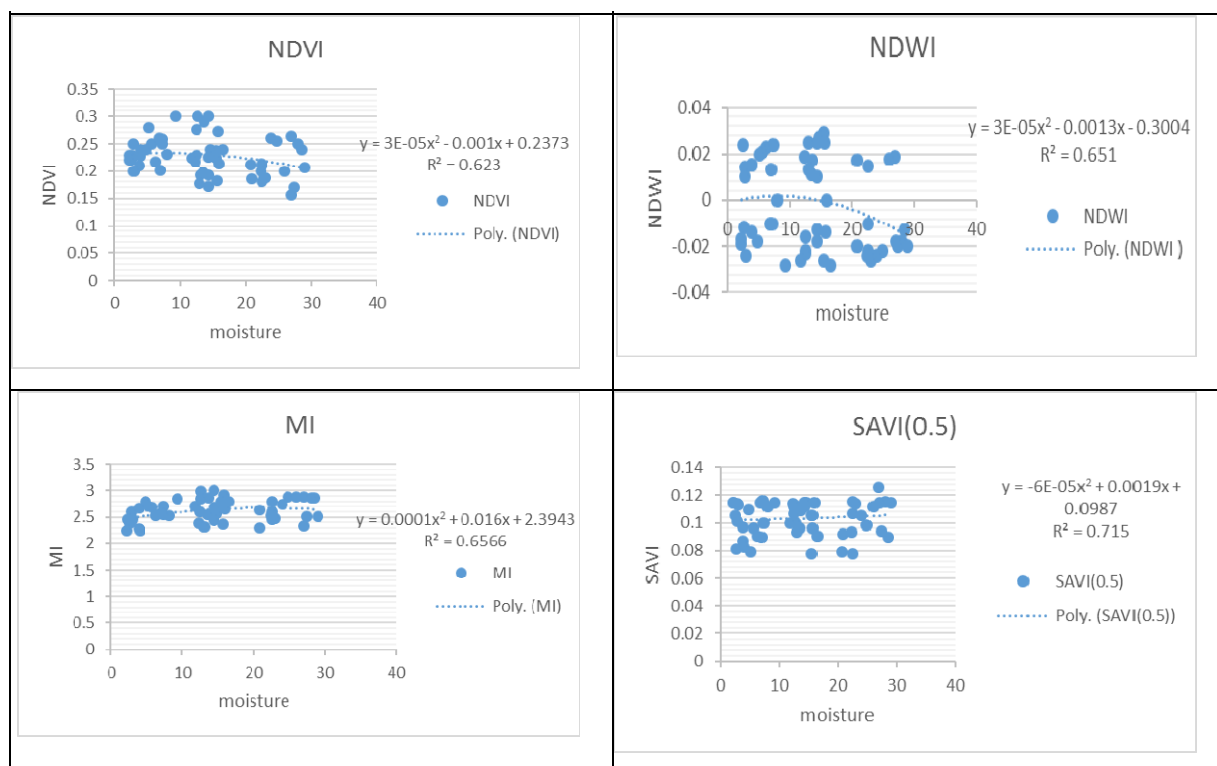
شکل ۴- نمودارهای رگرسیون متغیرهای رطوبتی با نمونه‌های زمینی (اسفند ماه)
 Fig 4. Regression diagrams of moisture variables with ground samples (March)

جدول ۳ - آماره‌های دقت سنجی و مدل بدست آمده (اسفند ماه)

Table 3. Precision metric and The obtained model (March)

مدل Model	R^2	متغیرهای مؤثر معنی‌دار Significant effective terms	مدل Model	R^2	متغیرهای مؤثر معنی‌دار Significant effective terms
$y = 0.2163x^2 - 14.498x + 957.69$	0.475	Band2	$y = -9E-05x^2 + 0.0012x + 0.2247$	0.620	NDVI
$y = 0.5512x^2 - 27.404x + 2335.1$	0.478	Band5	$y = -7E-06x^2 + 6E-05x - 0.3093$	0.655	NDWI
$y = -0.27x^2 + 1.6212x + 1497.3$	0.403	Band7	$y = 9E-05x^2 - 0.002x + 0.1121$	0.668	SAVI
$y = -0.0001x^2 + 0.0045x + 285.86$	0.386	Band10	$y = 0.001x^2 - 0.007x + 2.5046$	0.688	MI
$y = -7E-05x^2 + 0.0037x + 285.85$	0.310	Band11	$y = 0.127x^2 - 10.748x + 812.86$	0.493	Band1





شکل ۵- نمودارهای رگرسیون متغیرهای رطوبتی با نمونه‌های زمینی (اردیبهشت ماه)

Fig 5. Regression diagrams of moisture variables with ground samples (May)

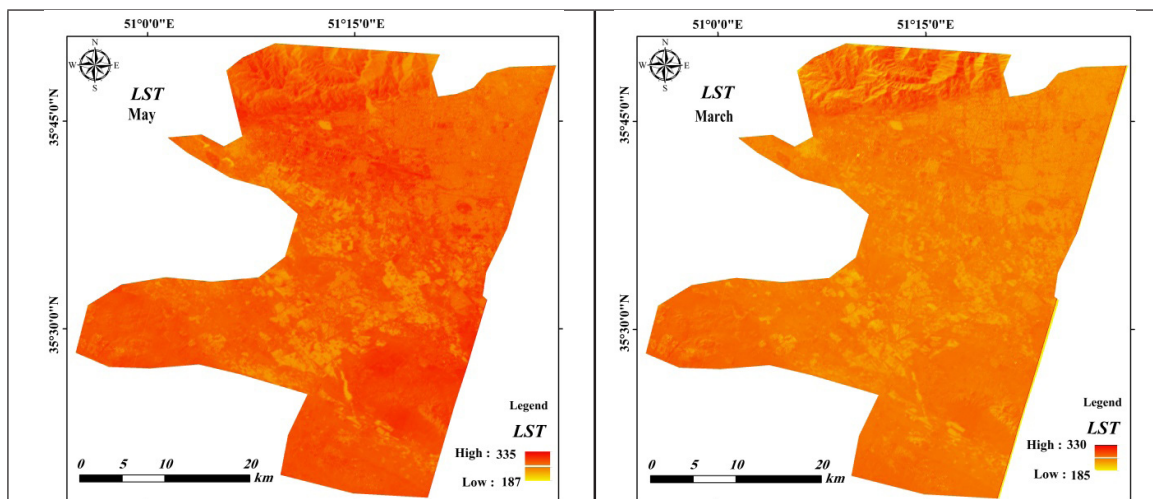
جدول ۴- آماره‌های دقت سنجی و مدل بدست آمده (اردیبهشت ماه)

Table 4. Precision metric and The obtained model (May)

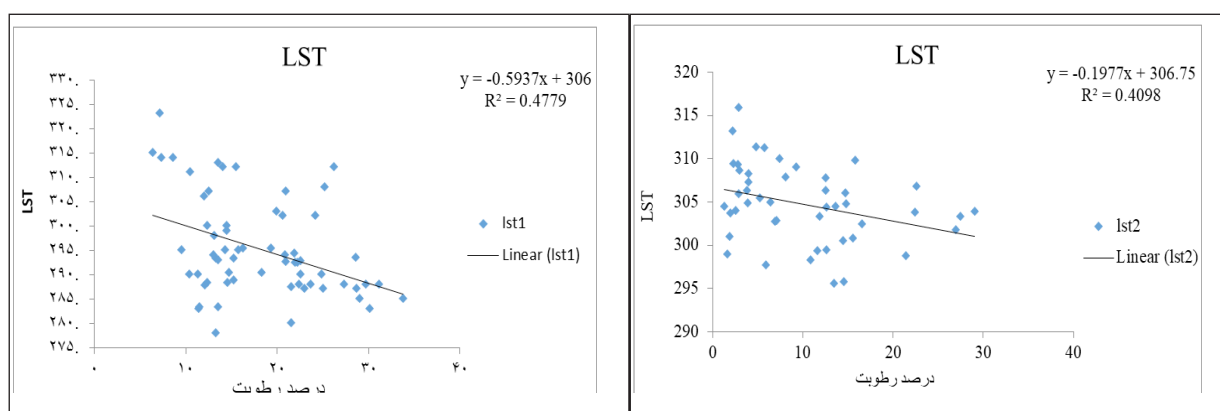
مدل Model	R^2	متغیرهای مؤثر معنی‌دار Significant effective terms	مدل Model	R^2	متغیرهای مؤثر معنی‌دار Significant effective terms
$y = 0.2788x^2 - 14.868x + 925.01$	0.302	Band2	$y = 3E-05x^2 - 0.001x + 0.2373$	0.623	NDVI
$y = 0.5615x^2 - 23.584x + 2238.4$	0.438	Band5	$y = 3E-05x^2 - 0.0013x - 0.3004$	0.651	NDWI
$y = -0.2433x^2 + 1.4583x + 1504.5$	0.403	Band7	$y = -6E-05x^2 + 0.0019x + 0.0987$	0.715	SAVI
$y = 0.0026x^2 - 0.1183x + 10.786$	0.356	Band10	$y = 0.0001x^2 + 0.016x + 2.3943$	0.656	MI
$y = -0.0015x^2 + 0.0512x + 9.3588$	0.468	Band11	$y = 0.2715x^2 - 15.534x + 840.64$	0.423	Band1

Band1 و در اربهشت ماه شاخص SAVI و Band11 بیش‌ترین همبستگی را از خود نشان می‌دهند. بعد از انجام انواع رگرسیون‌ها روی تصاویر LST رگرسیون خطی بیش‌ترین R^2 را نشان داد که مشخصات کامل آن در شکل و جدول زیر آورده شده است: سه فیلتر لاپلاسی، لی و میانه بر روی تصویر رادار ماهواره

علت تغییرات محسوس در شاخص‌ها و باندها در اردیبهشت ماه افزایش میزان پوشش گیاهی، دما و کاهش نسبی رطوبت خاک می‌باشد و این امر باعث کاهش محسوسیت ضرایب شاخص‌های رطوبتی SAVI و شاخص آبی NDWI گشته است. با توجه به جداول بالا می‌توان مشاهده کرد که در ماه اسفند شاخص SAVI و



شکل ۶- تصویر LST بدست آمده هر دو ماه
Fig 6. LST image obtained every two months



شکل ۷- نمودارهای خطی متغیرهای رطوبتی با LST
Fig 7. Linear graphs of fluid variables with LST

جدول ۵- آماره‌های دقت‌سنجی و مدل بدست آمده LST
Table 5. Accuracy statistics and obtained model of LST

اردیبهشت May			اسفند March		
مدل Model	R ²	متغیر Variable	مدل Model	R ²	متغیر Variable
y = -0.1977x + 30675	0.4098	LST	y = 0.5973x + 306	0.4779	LST

در این رابطه $X_1 = LST$ ، $X_2 = \text{Band 11}$ و $X_3 = SAVI$ می‌باشد و رابطه رگرسیونی چند متغیره اسفند ماه:

(۳)

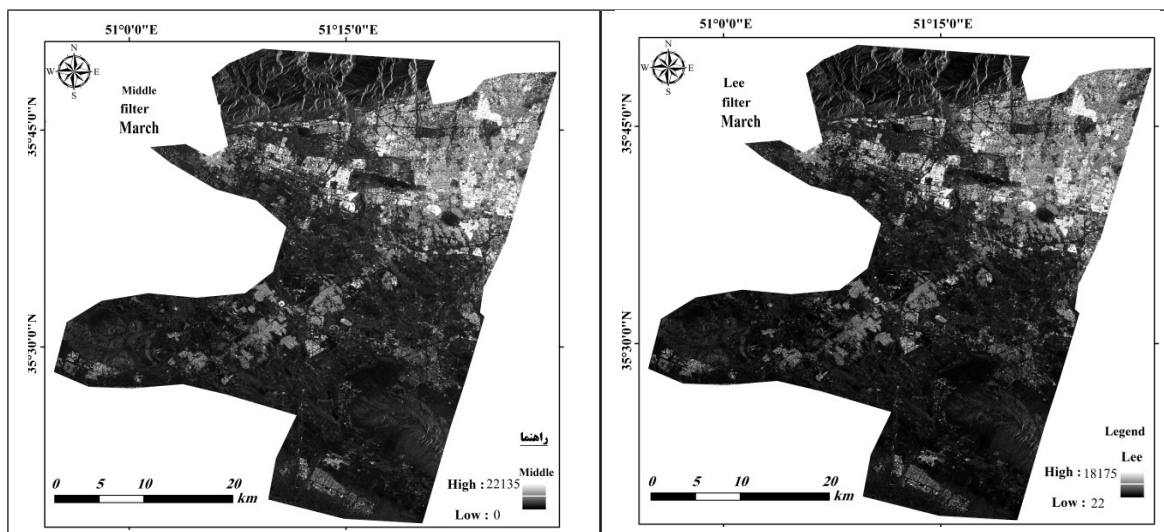
$$y = -1.81x_1 - 22.1x_2 + 12.05x_3 - 0.005x_4 + 65.1$$

$R^2=81$

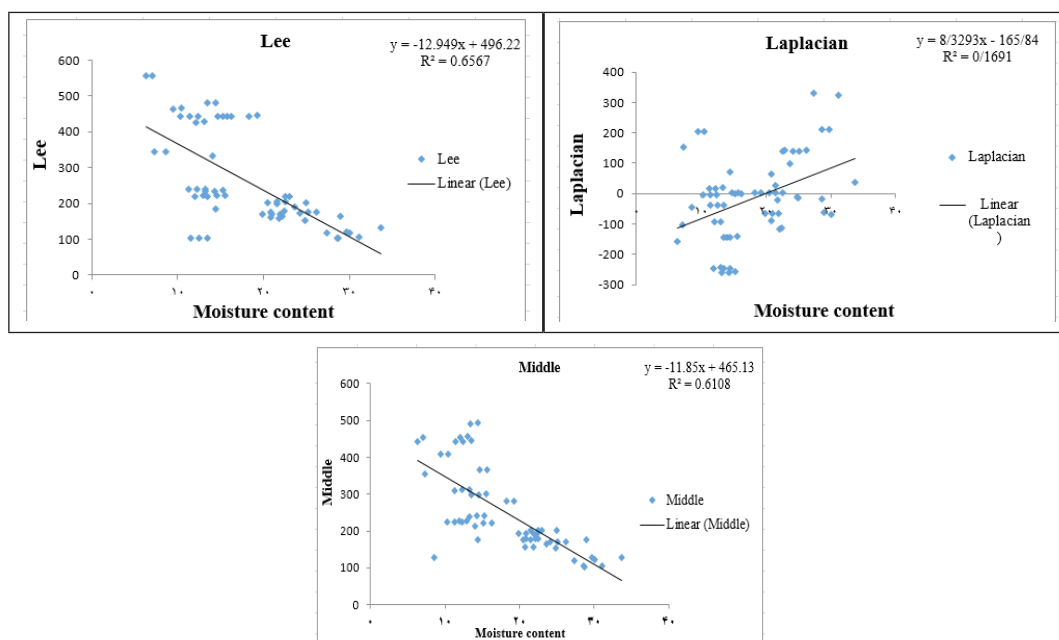
که در این رابطه $X_1 = LST$ ، $X_2 = \text{Band 1}$ و $X_3 = SAVI$ و $X_4 = \text{Filter Lee}$ می‌باشد. با قرار دادن تصویر مربوط به هر ماه در

Sentinel-1 اعمال و رگسیون هر کدام به صورت جداگانه محاسبه شد. که در این مورد نیز رگسیون خطی بیش‌ترین همبستگی را نشان داد. با توجه به نتایج بالا بهترین شاخص‌های مورد استفاده برای ماه اردیبهشت: LST، باند ۱۱ تصویر لندست ۸ و شاخص گیاهی SAVI و برای ماه اسفند: LST، باند ۱، SAVI و فیلتر لی تصویر رادار انتخاب و در روابط رگرسیونی چند متغیره زیر اعمال شد. رابطه رگرسیونی چند متغیره اردیبهشت ماه:

$$y = 1.31x_1 - 1.62x_2 - 31.56x_3 - 98.085 \quad R^2=72 \quad (۲)$$



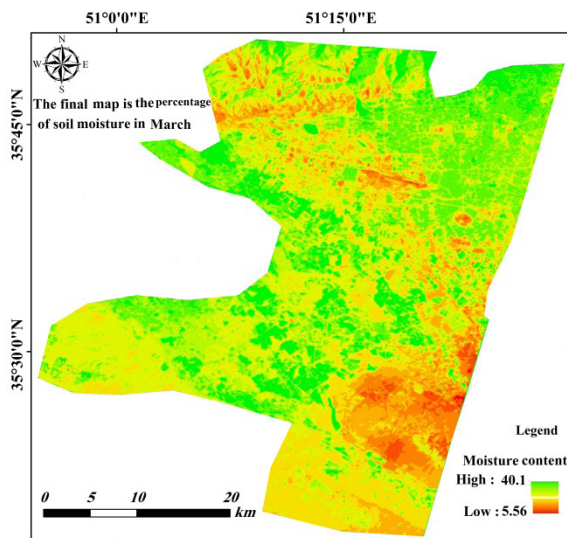
شکل ۸- تصاویر رادار به اعمال فیلترهای لی و میانه (اسفندماه)
Fig 8. Radar images to apply filters Lee and Middle (March)



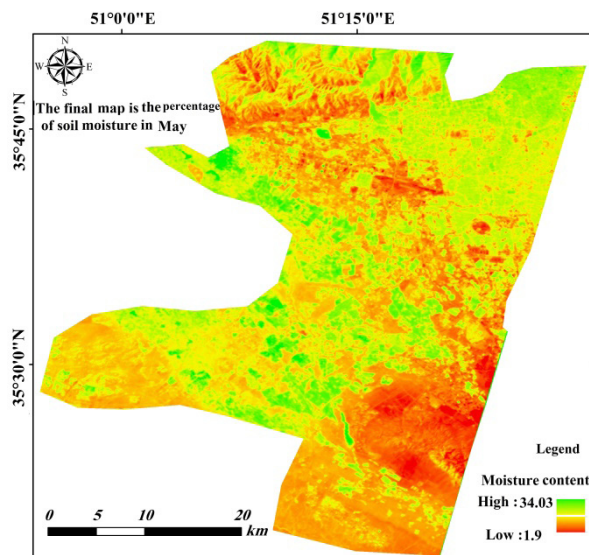
شکل ۹- نمودارهای خطی متغیرهای رطوبتی با سه فیلتر رادار (اسفندماه)
Fig 9. Linear graphs of moisture variables with 3 radar filters (March)

جدول ۶- آماره‌های دقت‌سنجی و مدل بدست آمده سه فیلتر رادار (اسفندماه)
Table 6. Accuracy statistics and obtained model of 3 radar filters (March)

متغیر Variable	R^2	مدل Model
فیلتر لاپلاسیان Filter Laplacian	0.1691	$y = 8.3293x - 165.84$
فیلتر لی Filter Lee	0.6108	$y = -12.949x + 496.22$
فیلتر میانه Filter Middle	0.6567	$y = -11.85x + 465.13$



شکل ۱۱- نقشه رطوبت خاک اسفند ماه
Fig 11. Map of the soil moisture (March)



شکل ۱۰- نقشه رطوبت خاک اردیبهشت ماه
Fig 10. Map of the soil moisture (May)

$R^2=81$ و $R^2=72$ بدست آمد و به برآورد مدل و تهیه نقشه رطوبت خاک ماهواره‌ای انجامید. همان‌طور که در سیر تحقیق به همبستگی دیگر شاخص‌ها اشاره شد می‌توان راهی برای انجام این تحقیق با دیگر شاخص‌های موجود صورت گیرد. در نهایت این میزان همبستگی میان داده‌های رطوبت خاک سطحی و تصاویر ماهواره‌ای بیانگر دقت کافی و مؤید سودمندی استفاده از چنین شاخص‌هایی با پوشش مکانی گسترده، در تحقیقات آب و خاک می‌باشد.

منابع

1. Alavi Panah, S.K., Serajian, M.R. and Khoda'I, K. 2008. Surface Surface Modeling of the Desert Using Satellite Thermal Data of NOAA.AVHRR and Terrestrial Data, Natural Geography Research, Vol. 31, No. 67, pp. 11-1. (In Persian)
2. Babaazadeh, H., Nowroozi, A., Aghighi, H., Shamsnia, S.A and Khodadadi Dehkordi, D. 2012. Determination of surface moisture content of arid and semi arid lands using temperature and vegetation index, Case study: Khorasan Province, Quarterly Journal of Iranian Range and Desert Research, Vol. 19 No. 1. pp. 120-132. (In Persian)
3. Black C.A. 1965. "Methods of Soil Analysis: Part I Physical and mineralogical properties". American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
4. Brocca, L., Hasenauer, S., Lacava, T., Melone, F., Moramarco, T., Wagner, W., Dorigo, W., Matgen, P., Martínez-Fernández, J., Llorens, P. and Latron,

رابطه مستقل رگرسیونی خود، تصویر رطوبت خاک منطقه مورد مطالعه برآورد شد.

بحث و نتیجه‌گیری

رطوبت خاک نسبت به هر زمان و مکان مختلفی تغییر می‌کند و مهم‌ترین عامل در بخش‌های اقلیمی، کشاورزی و هیدرولوژی می‌باشد. سنجش از دور بدست آوردن این پارامتر مهم خاک را بدون اتلاف وقت و هزینه نسبت به روش‌های میدانی انجام می‌دهد. نتایج پژوهش حاضر و پژوهش‌های انجام شده نشان داد که فناوری‌های سنجش از دور می‌تواند نقش مؤثری در تعیین رطوبت سطحی خاک ایفا کنند. تغییرات رطوبت خاک در اعماق مختلف به عوامل گوناگونی چون نوع خاک، کاربری اراضی، شرایط اقلیمی و تغییرات درجه حرارت در سطح خاک بستگی دارد. برای برآورد تغییرات روزانه، ماهانه و فصلی نیز، پژوهشگران مدل‌های گوناگونی پیشنهاد کرده‌اند که با تلفیق اطلاعات برآورد شده و استفاده از این مدل‌ها می‌توان به تغییرات مکانی و زمانی دست یافت. این پژوهش به دنبال آن بود تا با یافتن ارتباطی بین داده‌های انعکاسی، حرارتی ماهواره لندست ۸ و راداری ماهواره Sentinel-1 با رطوبت خاک، امکان تخمین رطوبت خاک سطحی را فراهم کند. در این تحقیق همبستگی تصاویر ماهواره‌ای و متغیرهای به دست آمده از آن‌ها با رطوبت خاک که با نمونه برداری میدانی حاصل شدند را در مقیاس دو ماهه، زمستان (اسفند) و بهار (اردیبهشت) بررسی شد. نتایج نشان‌دهنده وجود همبستگی رطوبت خاک سطحی ماهواره‌ای و ایستگاهی می‌باشد و چهار شاخص $SAVI$ ، LST ، $Band1$ ، $Band11$ و فیلتر لی تصویر رادار بیش‌ترین همبستگی را در میان بقیه متغیرها به دست آوردند. با استفاده از این شاخص‌ها که مؤثرترین شاخص‌های هر یک از چهار گروه می‌باشند، رگسیون چند متغیره برای هر دو ماه اردیبهشت و اسفند محاسبه شد که ضرایب رگسیون آن‌ها به ترتیب برابر

and Drainage Networks, Irrigation Management in Iran, Challenges and Perspectives, 12th Iranian National Irrigation and Drainage Conference, March. (In Persian)

14. Rao, S. Sharma, V. Garg and Venkataraman, G. 2006. Soil Moisture Mapping over India using Aqua AMSR-E derived Soil Moisture Product. Proceedings of the IEEE International Conference on Geoscience and Remote Sensing Symposium, Denver, USA, 31 July – 4, 2999-3002.

15. Reutter, H.F., Olesen, S. and Fischer, H. 1994. Distribution of the Brightness Temperature of Land Surfaces Determined from AVHRR data, International Journal of Remote Sensing, Vol. 15, No. 1, PP. 95- 104.

16. Robinson, D.A., Campbell, C.S., Hopmans, J.W., Hornbuckle, B.K. and Jones, S.B. 2008. Soil moisture measurement for ecological and hydrological watershed-scale observatories, Vadose Zone Journal. 358-389.

17. Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A. and Deering, D.W. 1973. "Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS," Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, National Aeronautics and Space Administration, Washington DC, NASA SP-351, Vol. 1, , pp. 309-317.

18. Rozenbaum, O., Bruand, A. and Le Trong, E. 2012. Soil porosity resulting from the assemblage of silt grains with a clay phase: New perspectives related to utilization of X-ray synchrotron computed microtomography. Comptes Rendus Geoscience.;344(10): 516–525.

19. Sanli, F.B., Kurucu, Y., Esetlili, M.T. and Abdikana, S. 2008. Soil moisture estimation from RADARSAT-1, ASAR and PALSAR data in agricultural fields of Menemen plain of western Turkey. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Part B7, Beijing.

20. Walker, J. P. 1999. "Estimating soil moisture profile dynamics from near-surface soil moisture measurements and standard meteorological data". (Doctoral dissertation, The University of Newcastle).

21. Wang, L. and Qu, J. 2009. Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring. Earth Science, 3: 237-247.

J., 2011. Soil moisture estimation through ASCAT and AMSR-E sensors: An intercomparison and validation study across Europe. Remote Sensing of Environment, 115(12), pp.3390-3408.

5. Dadras Sabzevar, A., Ali Mohammad A.A., Radmanesh, F. and Norouzi, A.A. 2015. Modeling of Different Levels of Surface Soil Moisture in the Sphere of Thermal and Reflection Data, Year 4, No. 3, pp. 31-49. (In Persian)

6. Dupigny-Giroux, L.A. and Lewis, J.E., 1999. A moisture index for surface characterization over a semiarid area. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 65, pp.937-946.

7. Fallah, M. 2013. Estimation of Soil Moisture Using SWAP Agro-Hydrological Model and Comparison with Field and Satellite Measurement of Madis and TM Sensors, Faculty of Agriculture and Water Resources of Guilan University. (In Persian)

8. Guo, Y., Shi, Z., Zhou, L.Q., Jin, X., Tian, Y.F. and Teng, H.F. 2013. Integrating Remote Sensing and Proximal Sensors for the Detection of Soil Moisture and Salinity Variability in Coastal Areas. Journal of Integrative Agriculture, Volume 12, Issue 4: 723–731.

9. Herb, W.R., Janke, B., Mohseni, O. and Stefan, H.G. 2008. Ground Surface Temperature Simulation for Different Land Covers, Journal of Hydrology, Vol. 356, PP. 327– 343.

10. Huete, A. R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment , Volume 25, Issue 3:295-309.

11. Khan Mohammadi, F., Homaie, M. and Nowroozi, A.A. 2015. Estimation of Soil Moisture Using Vegetation Indices and Soil Temperature, and Normalized Moisture Index Using MODIS Images, Volume 4, Issue 2, pp. 37-45. (In Persian)

12. Lievens, H. and Verhoest, N.E.C. 2012. Spatial and temporal soil moisture estimation from RADARSAT-2 imagery over Flevoland, The Netherlands. Journal of Hydrology, 456: 44-56.

13. NASA-2015, <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/> Norouzi Moghaddam, E. and Karami, V. 2008. Application of Remote Sensing Technology in Monitoring and Evaluation of Operational Irrigation

Estimation of Soil Moisture Using Optical, Thermal and Radar Remote Sensing (Case Study: South of Tehran)

K. Bagheri¹, M. Bagheri², A. Hoseinzadeh³ and M. Parvin⁴

Received: 15-10-2018 Accepted: 17-02-2019

Abstract

Soil moisture is one of the important environmental parameters. Traditional methods of field measurement of soil moisture cannot adequately reflect spatial variability of soil moisture. Remote sensing has a widespread role in this. Landsat 8 satellite data and Sentinel-1 radar satellite from Tehran were provided. 72 soil samples were taken at the same time by satellite passing from the area and used in the validation phase with the necessary processing on satellite images and utilizes four different groups of indicators: 1) SAVI, NDVI, MI, NDWI 2) bands of Landsat 8 3) filters Radar 4) LST to modeling soil moisture. The investigation of the accuracy of functions and the introduction of the most accurate models was done by calculating the regression relations between these criteria and the ground points. The results of comparison of relations in the final step introduced two multivariate regression models to estimate the moisture content of the proposed area. The results showed that the proposed models have a good correlation coefficient of $R^2 = 62$ and $R^2 = 73$. Also, among the indicators in the four groups, SAVI, Band 1, Band 11, Li and Least filters have the highest correlation for estimating soil moisture content.

Keywords: Remote Sensing, Soil moisture, Landsat 8, Sentinel-1

1. Corresponding Author and Professor, Ph.D. Student in GIS and Remote Sensing, Faculty of Geography, University of Tehran, Email: k.bagheri@ut.ac.ir.

2. Master student in GIS and Remote Sensing, Faculty of Geography, University of Tehran

3. Master student in GIS and Remote Sensing, Faculty of Geography, University of Tehran

4. Associate Professor, Group of Geography, Payame Noor University