



## Mapping the Moisture of Surface Soil Using Landsat 8 Imagery (Case Study: Suburb of Semnan City)

Hamidreza Koohbanani<sup>1</sup>, Mohammadreza Yazdani<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Ph.D. Student of Combat Desertification, University of Semnan, Semnan, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor of Combat Desertification, University of Semnan, Semnan, Iran

### ARTICLE INFO

Article Type: Research article

#### Article history:

Received 18 June 2018

Accepted 29 August 2018

Available online 22 November 2018

#### Keywords:

Remote Sensing, Soil Moisture Index, Landsat, Multivariate Regression Models, Vegetation Index.

*Citation:* koohbanani, H. R., Yazdani, M. R. (2019). Mapping the Moisture of Surface Soil Using Landsat 8 Imagery (Case Study: Suburb of Semnan City). *Geography and Sustainability of Environment*, 8 (3), 65-77.

### ABSTRACT

Monitoring soil surface moisture, as a crucial factor in water and energy cycles, is of great importance in water and soil resource management. This important factor varies dramatically in time and space due to variability in soil characteristics, topography, vegetation, and dynamic nature of the climate. Any change in soil moisture can have an immediate effect on runoff, soil erosion, and plant productivity. Soil moisture is considered as a decisive factor in plant growth. Moreover, a decrease in soil moisture results in an increase in the dust of desert regions. Remote sensing methods can provide continuous soil moisture information on a large scale with acceptable accuracy. In the current study, applying data from Landsat 8 satellite image, different soil surface moisture estimation methods were studied. In order to assess the precision of each method, 80 samples of volumetric soil surface moisture were taken from the vicinity of Semnan province on the exact date the satellite passed over the region. Some of the applied indices in the study are NDVI, NDTI, NDMI, PSMI, Surface Temperature, and  $SM_{SWIR}$  index.  $SM_{SWIR}$  index, with a correlation coefficient of 0.88 and  $R^2$  of 0.61 was considered as the suitable index for soil moisture zonation in arid and desert areas. Therefore,  $SM_{SWIR}$  can be an appropriate indicator for soil surface moisture in arid and semi-arid regions.  $SM_{SWIR}$ , NDTI and NDMI indices could be considered as appropriate indicators for soil surface moisture in desert regions with poor vegetation. In the next step, using multivariate regression models, we prepared a soil moisture model using the studied indices. The findings of this study illustrated that Enter regression model has higher accuracy in surface soil moisture mapping.

\*. Corresponding author E-mail address:

m\_yazdani@semnan.ac.ir



## پهنه‌بندی رطوبت خاک سطحی با استفاده از تصاویر لندست ۸ (مطالعه موردی: حومه شهر سمنان)

حمیدرضا کوه‌بنانی<sup>۱</sup>، محمدرضا یزدانی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار بیابان‌زدایی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

چکیده	مشخصات مقاله
<p>پایش رطوبت سطحی خاک، به‌عنوان عامل مهم در چرخه آب و انرژی در مدیریت منابع آب و خاک بسیار مهم تلقی می‌شود. این فاکتور مهم، به‌دلیل تغییرپذیری ویژگی‌های خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و پویایی آب‌وهوا در زمان و مکان، به‌شدت تغییر می‌کند. رطوبت خاک اثر فوری روی رواناب، فرسایش خاک و تولید گیاهان دارد؛ همچنین عامل مهم در رشد گیاهان محسوب می‌شود؛ از طرفی کاهش رطوبت خاک، عاملی برای افزایش ریزگردها در مناطق بیابانی محسوب می‌شود. روش‌های سنجش‌از‌دور قادرند اطلاعات رطوبت خاک را در گستره وسیع با فواصل زمانی کوتاه، با دقت قابل قبول ارائه دهند. در پژوهش حاضر با استفاده از داده ماهواره لندست ۸، روش‌های مختلف برآورد رطوبت سطحی خاک مورد آزمون قرار گرفت. به‌منظور ارزیابی دقت هر کدام از روش‌ها، از داده‌های میدانی واقعی استفاده شد. ۸۰ نمونه از رطوبت حجمی خاک سطحی در مناطق حومه سمنان در تاریخ گذر ماهواره از منطقه گرفته شد. برخی شاخص‌هایی که در این پژوهش استفاده شد عبارت‌اند از شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده، شاخص تفاضلی نرمال‌شده کشاورزی، شاخص تفاضلی نرمال‌شده رطوبت، شاخص عمودی رطوبت خاک، دمای سطح و شاخص رطوبت خاک باند کوتاه مادون قرمز. در گام بعدی، با استفاده از مدل‌های رگرسیونی چندمتغیره اقدام به تهیه مدل رطوبت خاک سطحی با استفاده از شاخص‌های مورد مطالعه شد. شاخص رطوبت خاک باند کوتاه مادون قرمز با ضریب همبستگی ۰/۷۸ و ضریب تبیین مدل رگرسیونی ۰/۶۱ شاخص مناسبی برای پهنه‌بندی رطوبت سطحی خاک در مناطق خشک و بیابانی ارزیابی گردید. سه شاخص رطوبت خاک باند کوتاه مادون قرمز، شاخص تفاضلی نرمال‌شده کشاورزی و شاخص تفاضلی نرمال‌شده رطوبت با تفاوت اندک، شاخص‌های مناسبی هستند. یافته‌های این پژوهش نشان از برتری مدل رگرسیونی هم‌زمان در تهیه نقشه رطوبت خاک سطحی دارد.</p>	<p>نوع مقاله: پژوهشی</p> <p>تاریخچه مقاله:</p> <p>دریافت ۲۸ خرداد ۱۳۹۷ پذیرش ۰۷ شهریور ۱۳۹۷ دسترسی آنلاین ۱ آذر ۱۳۹۷</p> <p>کلیدواژه‌ها:</p> <p>سنجش‌از‌دور، شاخص رطوبت خاک، لندست، مدل‌های رگرسیون چندمتغیره، شاخص گیاهی.</p> <p>استناد: کوه‌بنانی، حمیدرضا؛ یزدانی، محمدرضا (۱۳۹۷). پهنه‌بندی رطوبت خاک سطحی با استفاده از تصاویر لندست ۸ (مطالعه موردی: حومه شهر سمنان). <i>جغرافیا و پایداری محیط</i>، ۲۸ (۳)، ۵۱-۶۳.</p>

## مقدمه

رطوبت سطحی خاک، متغیر کلیدی برای توصیف تبادلات آب و انرژی بین زمین و هواکره است (سان<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۲). داده‌های توزیع زمانی - مکانی متغیر رطوبت سطحی خاک در برخی پژوهش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند که می‌توان به مواردی از قبیل پایش خشکی محیط (ژانگ<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۵)، میزان و پراکنش بارندگی (وان روی<sup>۳</sup>، ۱۹۶۵) و ارزیابی تبخیر و تعرق (پنگژین<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۳) اشاره کرد. مطالعات فراوان نشان می‌دهد ارتباط تنگاتنگی بین میزان رطوبت خاک و حجم بیوماس تولیدی گیاهان وجود دارد (قسیم<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۷؛ ژو<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۶). توانایی اندازه‌گیری و پایش رطوبت خاک به پژوهشگران این امکان را می‌دهد تا عملکرد تولیدی گیاهان را با توجه به شرایط محیطی از قبیل میزان بارش و برنامه‌های آبیاری کشاورزی مطالعه کنند. خاک‌های بدون رطوبت، از چسبندگی پایینی برخوردار بوده لذا مستعد فرسایش بادی هستند؛ بنابراین، خاک‌های خشک مستعد کانون‌های ریزگرد محسوب می‌شوند (فرح‌بخشی و همکاران، ۱۳۹۴). اهمیت این مسئله در کشور ایران که ۸۵٪ زمین‌های آن اقلیم‌های خشک، نیمه‌خشک و فراخشک است، قابل توجه است (کوه‌بنانی و همکاران، ۱۳۹۶). روش‌های اندازه‌گیری رطوبت خاک مانند روش وزنی و انعکاس‌سنجی حوزه‌زمانی<sup>۷</sup> به‌طور عمده در مقیاس‌های محلی و کوچک دقت بالایی دارند؛ اما برای مقیاس‌های در سطح یک حوضه یا بزرگ‌تر، بسیار پرهزینه و وقت‌گیر و زمان‌بر هستند. تصاویر سنجش‌ازدور به دلیل پوشش وسیع و سراسری و نیز هزینه پایین، می‌توانند با دقت قابل قبولی شرایط رطوبت سطحی خاک را در بازه‌های زمانی مختلف اندازه‌گیری و پایش کنند.

رطوبت سطحی خاک با وجود سهم اندک آن در چرخه هیدرولوژی (۰/۱۵٪) یکی از اجزاء مهم اثرگذار پوسته زمین محسوب می‌شود؛ زیرا نقش کنترل‌کننده بین سطح زمین و اتمسفر زمین و نیز گردش آب، انرژی و کربن در طبیعت را ایفا می‌کند (بابائیان و همکاران، ۱۳۹۲). این مسئله، بدین سبب است که رطوبت خاک، تأثیر بسزایی روی پارامترهایی از قبیل نفوذ آب به خاک، تراوایی، نگهداشت آب، رواناب و تبخیر و تعرق دارد (باندارا<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۴). تغییر رطوبت خاک می‌تواند به سرعت روی جریان رواناب، فرسایش خاک و قابلیت تولید گیاهان اثر کند (شفیعیان و ماس<sup>۹</sup>، ۲۰۱۵ الف). رطوبت خاک نقش کلیدی در چرخه جهانی انرژی دارد و کنترل‌کننده فرایند تبدیل انرژی در دسترس به گرمای نهان و گرمای محسوس است (ویریکن<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۱۴). رطوبت خاک، متأثر از عواملی چون بارش، وضعیت روزانه آب‌وهوایی مانند باد، دما، تبخیر و تعرق و خصوصیات خاک مانند بافت خاک است (ژینگ<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۹)؛ برای مثال، افزایش میزان رس در بافت خاک باعث افزایش رطوبت حجمی خاک می‌شود (نامدار خجسته و همکاران، ۱۳۹۱). دادرسی سبزواری و همکاران (۱۳۹۶) نیز بین رطوبت خاک سطحی و بافت خاک ارتباط معنی‌داری یافتند؛ بنابراین،

1- Sun

2- Zhang

3- Van Rooy

4- Pengxin

5- Qasim

6- Xu

7- Time-Domain Reflectometry (TDR)

8- Bandara

9- Shafian &amp; maas

10- Vereecken

11- Xhing

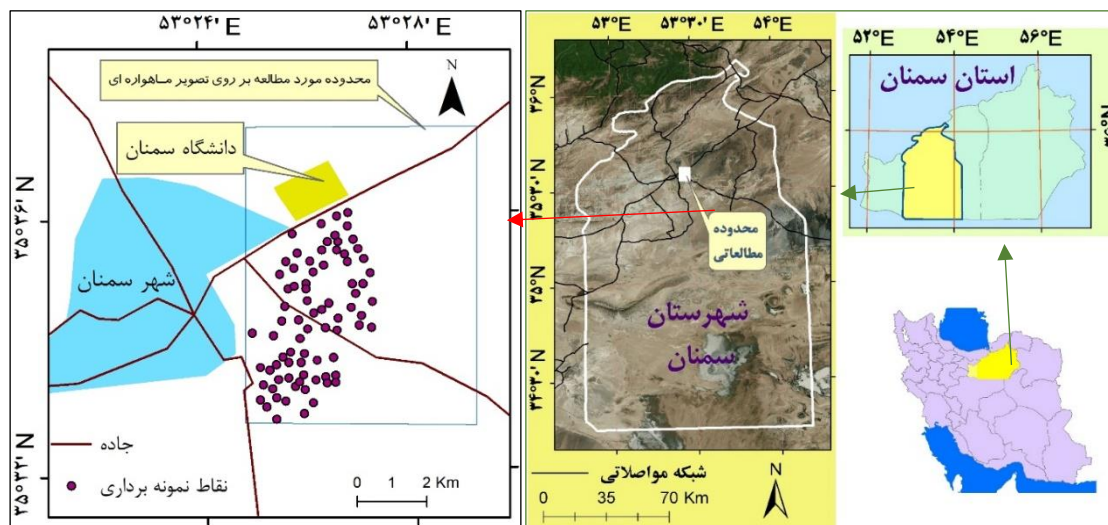
تغییرپذیری رطوبت خاک نسبت به زمان و مکان بسیار بالاست. توسعه کشت گیاهان چه در بخش کشاورزی و چه در عرصه‌های منابع طبیعی به میزان زیادی با آب قابل دسترس برای گیاهان مرتبط است. در روش‌های سنجش از دور صورت گرفته برای برآورد رطوبت سطحی خاک، برای این منظور، عموماً از باندهای مادون قرمز نزدیک<sup>۱</sup> و حرارتی یا شاخص تفاضلی نرمال شده گیاهی<sup>۲</sup> و یا ترکیب آن‌ها استفاده شده است (امانی<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۶). از میان باندهای یادشده، باندهای کوتاه مادون قرمز<sup>۴</sup> به محتوای آب برگ گیاهان و همچنین محتوای آب حجمی خاک در شرایط کمتر از ۵۰٪ حساس‌تر است (لوبل<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۲). اساساً از باند قرمز تا باندهای کوتاه مادون قرمز لندست، انعکاس طیفی خاک لخت به تدریج رو به افزایش است؛ اما با افزایش رطوبت خاک، انعکاس خاک کاهش می‌یابد. امانی و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از فضای طیفی باند قرمز و مادون قرمز نزدیک تصویر لندست، ۸ شاخص رطوبت خاک مثلثی<sup>۶</sup> را معرفی کرده که با مقادیر واقعی همبستگی منطقه مورد مطالعه ۰/۶۷ را نشان می‌داد؛ سپس شاخص تفاضلی نرمال شده گیاهی را نیز به این شاخص افزودند و شاخص جدیدی به نام شاخص اصلاح شده رطوبت خاک مثلثی<sup>۷</sup> را معرفی کردند. این شاخص، همبستگی ۰/۷۴ را نشان داد. این پژوهشگران نتیجه گرفتند که در مناطق بیابانی با پوشش تنک، تفاوت چندانی بین این دو شاخص وجود ندارد. خانمحمدی و همکاران (۱۳۹۳) پژوهشی در خصوص برآورد رطوبت خاک با استفاده از تصاویر مودیس در منطقه ورامین با شاخص تفاضلی نرمال شده گیاهی و شاخص تفاضلی نرمال شده رطوبت خاک و دمای سطح انجام دادند. مدل پیشنهادی این پژوهشگران، با استفاده از این سه شاخص، نتوانست همبستگی بهتر از ۰/۶۶ را با مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده نشان دهد. در پژوهش پیش رو، امکان تخمین رطوبت لایه سطحی خاک با استفاده از باندهای مرئی، مادون قرمز و حرارتی سنجنده لندست ۸ مورد کنکاش قرار گرفته و به‌عنوان روشی کاربردی در علوم محیطی و جغرافیایی مورد ارزیابی واقع خواهد شد.

### معرفی منطقه مورد بررسی

استان سمنان با وسعتی برابر ۹۷,۴۹۱ کیلومتر مربع، ۵/۸٪ از مساحت کشور را به خود اختصاص داده است. موقعیت این استان، به گونه‌ای است که با حرکت از غرب به شرق، به میزان ارتفاع آن از سطح دریا افزوده می‌شود. ارتفاع متوسط شهر سمنان از سطح دریا ۱۱۳۲ متر است. این شهرستان از شمال به رشته‌کوه‌های البرز و از جنوب به دشت کویر ختم می‌شود (شکل ۱).

از منظر اقلیمی، این شهرستان در اقلیم خشک و نیمه‌خشک گرم واقع شده و میانگین بارندگی سالانه ۲۰۰ میلی‌متر گزارش شده است (زارع چاهوکی و همکاران، ۱۳۹۲). مهم‌ترین ویژگی بارز اقلیمی این شهرستان، گرما، مدت و شدت بالای تابش خورشیدی و کمبود رطوبت است. بالابودن آهک و گچ، یکی از ویژگی‌های بارز خاک اطراف شهر سمنان است (آذرنیوند و همکاران، ۱۳۸۱). از نظر پوشش گیاهی نیز این شهرستان در منطقه ایران و تورانی واقع شده و پوشش گیاهی آن پراکنده و ضعیف است.

- 1- Near-Wavelength Infrared (NIR)
- 2- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
- 3- Amani
- 4- Short-Wavelength Infrared (SWIR)
- 5- Lobell
- 6- The Triangle Soil Moisture Index (TSMI)
- 7- Modified TSMI (MTSMI)



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

برخی گونه‌های مهم این منطقه عبارت‌اند از گون<sup>۱</sup>، لور<sup>۲</sup>، قیج<sup>۳</sup>، گز<sup>۴</sup>، درمنه<sup>۵</sup>، اشنان<sup>۶</sup>، شور<sup>۷</sup> و خارشتر<sup>۸</sup> (فیاض و همکاران، ۱۳۹۴).

### مواد و روش‌ها

در پژوهش پیش رو، چند نمونه مهم از روش‌های مختلف برآورد رطوبت خاک با مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی مورد مقایسه قرار گرفته و همبستگی هر یک از روش‌ها با نمونه‌های میدانی اندازه‌گیری شده است. نتایج پژوهش برخی پژوهشگران نشان می‌دهد، دستگاه انعکاس‌سنجی حوزه زمانی، مقادیر رطوبت خاک را در خاک‌های سنگین کمتر و در خاک‌های شور بیشتر از مقدار واقعی نشان می‌دهد (فراستی و رحمانی، ۱۳۹۵)؛ لذا در پژوهش حاضر برای اندازه‌گیری رطوبت خاک از روش مستقیم استفاده شد. در این تحقیق، از تصویر متعلق به سنجنده لندست ۸ به تاریخ ۲۵ اردیبهشت ۹۶ و شماره تصویر ۳۵-۱۶۱ استفاده شد. رطوبت سطحی خاک به‌شدت تحت تأثیر تبخیر و تعرق روزانه و باد و جریانات هوایی تغییر می‌کند (گولام<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۰۷)؛ لذا در همان روز گذر ماهواره از منطقه، نمونه‌های میدانی رطوبت سطحی خاک به تعداد ۸۰ نمونه به‌صورت تصادفی در حوالی شهر سمنان برداشت شد.

برای دستیابی به بهترین نتیجه سعی بر آن شد تا از کاربری‌های مختلف از قبیل زراعی، زراعی رهاشده، مرتع، بایر و جنگل دست‌کاشت (۱۶ عدد از هر کاربری) نمونه برداشت شود. بدین ترتیب که نمونه‌ها به‌صورت تصادفی سامان‌مند در نقشه مشخص و سپس با حضور در عرصه از پنج سانتی‌متر اول خاک نمونه‌برداری شد. با توجه به ابعاد ۳۰×۳۰ متر هر پیکسل تصویر، علاوه بر نقطه برداشت‌شده ۴ نمونه دیگر در ۴ جهت جغرافیایی با فاصله ۱۰ متری از نقطه اصلی نیز برداشت‌شده و سپس ۵ نمونه باهم ترکیب و درنهایت یک نمونه با وزن یک

- 1- Astragalus
- 2- Halocnenum
- 3- Zygophyllum
- 4- Tamarix
- 5- Artemisia
- 6- Seidlitzia
- 7- Salsola
- 8- Alhaji
- 9- Ghulam

کیلوگرم برای ارسال به آزمایشگاه تهیه شد؛ سپس نمونه‌ها در آزمایشگاه مورد آنالیز و تجزیه و تحلیل قرار گرفت و رطوبت حجمی خاک مشخص شد.

دمای سطح خاک به‌عنوان یکی از فاکتورهای حساس به رطوبت خاک شناخته شده است (شفیعان و ماس، ۲۰۱۵ ب). طبیعی است که همبستگی رطوبت خاک و دمای خاک می‌بایست به‌صورت معکوس باشد. دو باند ۱۰ و ۱۱ تصاویر لندست ۸ از نوع مادون قرمز حرارتی بوده و می‌تواند به دمای سطح تبدیل شود. رابطه ۱، برای محاسبه دمای سطح به قرار زیر است (کوه‌بنانی و یزدانی، ۱۳۹۷):

$$LST = BT / (1 + w(BT/\rho)Lne) \quad \text{رابطه ۱}$$

LST: دمای سطح؛ BT: دمای درخشندگی است و مقدار W نیز، طول موج باند ۱۰ و یا ۱۱ است؛ به‌عنوان مثال، طول موج باند ۱۰ در سنجنده لندست ۸ برابر با ۱۱/۵ میکرومتر است. مقدار  $\rho$  برابر با میلی‌کلوین  $10^{-2} \times 1/438$  است. لازم به ذکر است برای محاسبه دمای سطح می‌توان از میانگین هر دو باند ۱۰ و ۱۱ استفاده کرد.

شاخص تفاضلی نرمال‌شده گیاهی که از باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز استفاده می‌کند به کلروفیل موجود در برگ گیاه حساس بوده و می‌تواند به‌نوعی نمایانگر رطوبت سطحی خاک باشد. رطوبت خاک می‌تواند بر برخی از مشخصه‌های سطح خاک از قبیل پوشش گیاهی، اثر مستقیمی داشته باشد؛ از طرف دیگر، میل‌فرد و کیف<sup>۳</sup> (۱۹۷۶) نشان دادند رطوبت خاک اندازه‌گیری از خاک لخت پس از یک بارندگی با باندهای مادون قرمز نزدیک همبستگی بالاتری دارند. هرچند برخی پژوهشگران به‌صورت محتاطانه‌ای از این شاخص نام می‌برند. برخی معتقدند معمولاً با افزایش پوشش گیاهی، دقت روش‌های سنجش‌ازدور طیفی کاهش می‌یابد (پتروپولوس<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۵)؛ از سوی دیگر، بین تغییرات رطوبت خاک و تغییر پوشش گیاهی معمولاً یک‌زمان تأخیر وجود دارد (شفیعان و ماس، ۲۰۱۵ الف). این مسئله، باعث کاهش دقت این شاخص برای اندازه‌گیری رطوبت سطحی از دید این پژوهشگران می‌شود. برای اندازه‌گیری این شاخص از رابطه ۶ بهره گرفته می‌شود.

شاخص رطوبت عمودی<sup>۵</sup> با استفاده از دو شاخص دما و پوشش گیاهی برای اندازه‌گیری رطوبت سطحی توسط پژوهشگران مختلف و به روش‌های گوناگونی معرفی شده‌اند (شفیعان و ماس، ۲۰۱۵ الف؛ لی و تان<sup>۶</sup>، ۲۰۱۳؛ بابازاده و همکاران، ۱۳۹۱). موران<sup>۷</sup> و همکاران (۱۹۹۴) اولین بار فضای نمودار پراکنش دما و شاخص گیاهی را به‌صورت یک دوزنقه مطرح کردند و براساس آن، شاخص کمبود رطوبت<sup>۸</sup> را برای مناطقی با پوشش گیاهی تنک توسعه دادند. ژیانگ و ایسلام<sup>۹</sup> (۲۰۰۱) فنی برای تخمین شار گرمای نهان براساس نمودار پراکنش دما - شاخص گیاهی ارائه کردند. ساندهولت<sup>۱۰</sup> و همکاران (۲۰۰۲) روش مثلثی را بهبود داده و با

- 1- Land Surface Temperature (LST)
- 2- Brightness Temperature (BT)
- 3- Milfred & Kiefer
- 4- Petropoulos
- 5- Prependicular Soil Moisture Index (PSMI)
- 6- Li & Tan
- 7- Moran
- 8- Water Deficit Index (WDI)
- 9- Jiang & Islam
- 10- Sandholt

مرتبط‌ساختن آن با نمودار پراکنش دما - شاخص گیاهی، شاخص جدیدی به نام شاخص دما - پوشش - خشکی<sup>۱</sup> را ارائه کردند. فرض اصلی آن‌ها بر این اصل استوار بود که مهم‌ترین منبع تغییر دما، رطوبت خاک است. شفیعیان و ماس<sup>۲</sup> (۲۰۱۵ الف) در تحقیقی در دشتهای مرتفع تگزاس، شاخص رطوبت عمودی را برای اندازه‌گیری رطوبت خاک مطرح کردند. این پژوهشگران، مقدار همبستگی بین رطوبت عمودی و مقادیر برداشت‌شده واقعی را در سطح ۰/۷۹ دانسته و اعلام کردند می‌توان از این شاخص به‌منظور پایش رطوبت خاک از مقیاس مزرعه تا مقیاس منطقه‌ای استفاده کرد.

برای محاسبه رطوبت عمودی خاک از رابطه ۲ استفاده شد:

$$PSMI_i = D_i / (1 + NDVI_i) \quad \text{رابطه ۲}$$

برای محاسبه  $D_i$  از رابطه ۳ استفاده می‌شود:

$$D_i = (TIR_{i,norm} + NDVI_i) / \sqrt{2} \quad \text{رابطه ۳}$$

در این رابطه،  $D_i$ : فاصله عمود هر پیکسل،  $TIR_{i,norm}$ : مقدار دمای نرمال شده و  $NDVI_i$ : مقدار شاخص پوشش گیاهی پیکسل مورد نظر است. رابطه ۴ برای محاسبه  $TIR_{i,norm}$  به کار می‌رود:

$$TIR_{i,norm} = (TIR_i - TIR_{min}) / (TIR_{max} - TIR_{min}) \quad \text{رابطه ۴}$$

در رابطه ۵،  $TIR_i$ : دما و  $TIR_{i,norm}$ : مقدار نرمال شده دما در هر کدام از پیکسل‌ها است.  $TIR_{max}$  و  $TIR_{min}$ : به ترتیب حداقل و حداکثر دما در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

شاخص تفاضلی نرمال شده کشاورزی به‌عنوان معرف مناسب برای تفکیک باقیمانده محصولات کشاورزی از خاک لخت معرفی شده است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۵؛ گائو<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۳)؛ از سوی دیگر، لی و همکاران (۲۰۱۶) این شاخص را برای شرایط رطوبت سطحی خاک مناسب می‌دانند. لوبل و همکاران (۲۰۰۲) ثابت کردند تا زمانی که رطوبت حجمی خاک تا سطح پایین‌تر از ۵۰٪ باقی بماند، باندهای مادون قرمز کوتاه بهتر از باندهای مادون قرمز نزدیک مرئی می‌توانند رطوبت خاک را نشان دهند؛ بنابراین، از نگاه این پژوهشگران، می‌توان نتیجه گرفت در مناطق خشک و بیابانی باندهای مادون قرمز کوتاه لندست اطلاعات بهتری در خصوص رطوبت خاک سطحی ارائه می‌دهند. رابطه ۵ برای این شاخص معرفی شده است:

$$NDTI = \frac{P_6 - P_7}{P_6 + P_7} \quad \text{رابطه ۵}$$

$P_6$  و  $P_7$ : به ترتیب مقادیر بازتابش باندهای ۶ و ۷ ماهواره لندست ۸ بوده و این دو باند از نوع باند کوتاه مادون قرمز است.

شاخص رطوبت خاک باند کوتاه مادون قرمز<sup>۴</sup> یکی دیگر از شاخص‌های مورد مطالعه در این پژوهش است. ماهواره لندست سری ۸، دارای دو باند کوتاه مادون قرمز است. از رابطه ۶، به‌منظور محاسبه شاخص رطوبت خاک باند کوتاه مادون قرمز استفاده شد:

1- Temperature-Vegetation-Dryness-Index (TVDI)

2- Shafian & maas

3- Gao

4- Soil Moisture – Short Wave Infrared

رابطه ۶

$$SM_{SWIR} = \frac{P_6}{P_7}$$

این شاخص، از کسر ساده مقادیر انعکاس طیفی دو باند ۶ و ۷ تشکیل می‌شود. در مقادیر مختلف رطوبت خاک، دو افت مهم جذب طیف الکترومغناطیس در محدوده ۱/۴ تا ۱/۶ و ۱/۹ تا ۲/۱ میکرومتر در الگوی رفتار طیفی خاک مشاهده می‌شود (فابره<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). این دو محدوده طیفی، به ترتیب با باندهای ۶ و ۷ لندست ۸ تطابق دارد؛ بنابراین، به صورت نظری می‌توان انتظار داشت با کسر ساده این دو باند، رطوبت خاک آشکارسازی شود. پیش از هر چیز برای اندازه‌گیری هریک از شاخص‌های ذکر شده می‌بایست مقادیر خام باندهای طیفی به مقادیر بازتابش یا انعکاسی تبدیل شوند. بازتابندگی سطح به صورت نسبت شار طیفی بازتاب یافته به شار طیفی فرودی تعریف می‌شود. پس از محاسبه مقادیر بازتابش باندهای طیفی، تصحیح اتمسفری با استفاده از روش فلش<sup>۲</sup> در نرم‌افزار ای‌ان‌وی‌آی<sup>۳</sup> صورت پذیرفت و سپس به تهیه شاخص‌ها اقدام شد (شکل ۴).

### نتایج

پس از انجام تصحیحات لازم روی تصویر لندست ۸ منطقه مورد مطالعه، شاخص‌های شرح داده شده در بخش مواد و روش‌ها روی تصویر اعمال شده و میزان همبستگی شاخص‌ها با نمونه‌های میدانی مورد آزمون قرار گرفت. لازم به ذکر است، ۲۰٪ تصادفی نمونه‌ها به منظور اعتبارسنجی مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. به منظور ارزیابی و مقایسه دقت هریک از شاخص‌ها، از معیارهای ضریب همبستگی پیرسون و ضریب تبیین<sup>۴</sup> و ریشه میانگین مربعات خطا<sup>۵</sup> (رابطه ۷) بهره برده و در نهایت معادله همبستگی هر کدام از شاخص‌ها (شکل ۴) با مقادیر واقعی محاسبه شد.

رابطه ۷

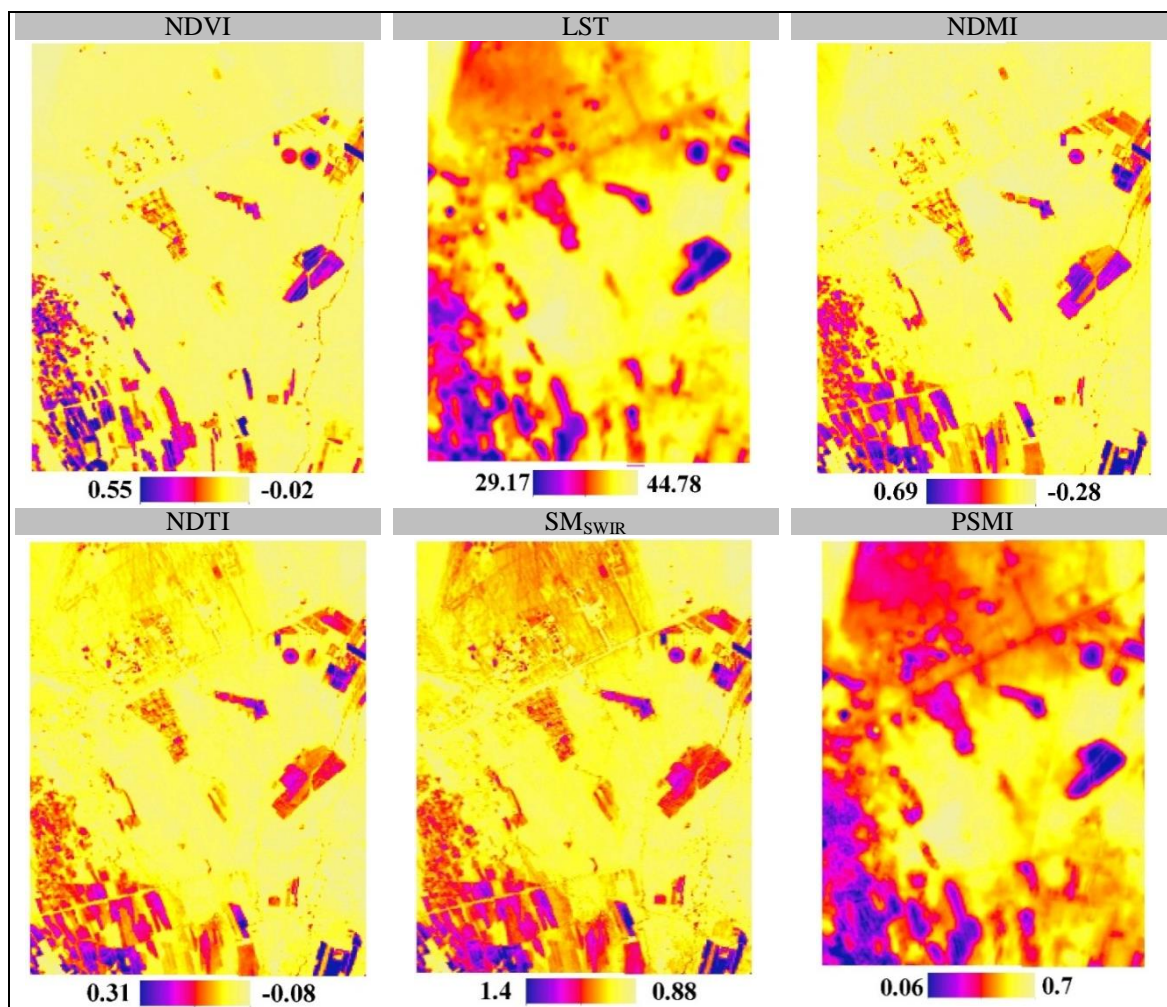
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2}{n}}$$

در رابطه ۷، مقدار  $x_i$  و  $x_m$  به ترتیب مقدار محاسبه شده از طریق رابطه رگرسیونی و مقدار واقعی و  $n$  تعداد کل نمونه‌های برداشت شده است. هرچه مقدار این آماره به صفر نزدیک باشد، نشان از دقت بالاتر دارد. نتایج بیانگر آن است که شاخص رطوبت باند کوتاه مادون قرمز با ضریب همبستگی ۰/۷۸ در سطح معنی‌داری ۵٪ و با اختلاف اندکی نسبت به دو شاخص تفاضلی نرمال شده کشاورزی و شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی قرار دارد. ضریب تبیین مدل رگرسیونی این شاخص ۰/۶۱ و ریشه میانگین مربعات خطای نتایج حاصله از مدل رگرسیونی و داده‌های واقعی ۳/۶۹ برآورد شد. مقدار ریشه میانگین مربعات خطا برای مدل رگرسیونی حاصل از دو شاخص تفاضلی نرمال شده کشاورزی و شاخص تفاضلی نرمال شده با داده‌های میدانی نیز به ترتیب ۳/۷۷ و ۴ است (جدول ۱).

به منظور ایجاد مدل‌های خطی اندازه‌گیری رطوبت خاک با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور، از سه روش رگرسیون خطی چندمتغیره شامل روش هم‌زمان<sup>۶</sup>، روش گام‌به‌گام<sup>۷</sup> و روش حداقل مربعات جزئی<sup>۸</sup> برای برازش داده‌ها بهره گرفته شد (جدول ۲).

- 1- Fabre
- 2- FLAASH
- 3- ENVI©
- 4- R2
- 5- RMSE
- 6- Enter
- 7- Stepwise
- 8- PLS





شکل ۴. شاخص‌های اندازه‌گیری شده از تصویر لندست ۸

جدول ۱. مقایسه نتایج شاخص‌های مورد استفاده در پژوهش با داده‌های میدانی

شاخص‌ها	رابطه همبستگی	ضریب تبیین	ضریب همبستگی	ریشه میانگین مربعات خطا
دمای سطح (درجه سلسیوس)	$Y = -0.71X + 21$	۰/۳۳	-۰/۵۸	۷/۲۷
پوشش گیاهی	$Y = 48/182X + 0/68$	۰/۵۷	۰/۷۶	۴
شاخص رطوبت عمودی خاک	$Y = -25/2X + 19/6$	۰/۱۸	-۰/۴۸	۶/۹
شاخص تفاضلی زراعی	$Y = 151/71X - 6/2$	۰/۶	۰/۷۵	۳/۷۷
شاخص رطوبت خاک باند کوتاه مادون قرمز	$Y = 112/5X - 121$	۰/۶۱	۰/۷۸	۳/۶۹
شاخص تفاضلی رطوبت <sup>۵۶</sup>	$Y = 46/39X + 6/5$	۰/۵۷	۰/۷۶	۳/۸
شاخص تفاضلی رطوبت <sup>۵۷</sup>	$Y = 39/142X + 2/9$	۰/۶۱	۰/۷۸	۷/۲

از میان شاخص‌های مورد مطالعه، شاخص رطوبت عمودی به دلیل همبستگی پایین‌تر با داده‌های میدانی، مورد استفاده قرار نگرفت. با استفاده از آزمون نرمال بودن به روش کلموگروف - اسمیرنوف<sup>۱</sup>، هر سه مدل در سطح معنی‌داری بالاتر از ۵٪ واقع شده‌اند که نشان از توزیع نرمال داده‌هاست. با عنایت به ضریب تبیین بالای مدل ۱ و همچنین پایین بودن میزان ریشه میانگین مربعات خطا در مقایسه با دو مدل دیگر، می‌توان مدل ۱ را مدل مناسب برای پهنه‌بندی رطوبت خاک در منطقه مورد مطالعه ارزیابی کرد.

جدول ۲. مدل‌های رگرسیون چندمتغیره خطی برآورد رطوبت خاک سطحی

مدل	نام تابع	رابطه رگرسیونی	ضریب همبستگی پیرسون	ضریب تبیین	ریشه میانگین مربعات خطا	خطای استاندارد <sup>۱</sup>
۱	هم‌زمان	$-190/7 + 189SM + 30 \cdot NDVI - 1/62 \cdot NDMI - 205 \cdot NDTI - 0/3 \cdot LST$	۰/۸۱	۰/۶۷	۲/۸۶	۴/۰۱
۲	گام‌به‌گام	$-120/9 + 112/5SM + 0/27 \cdot NDVI - 0/32 \cdot NDMI - 0/135 \cdot NDTI - 0/21 \cdot LST$	۰/۷۸	۰/۶۲	۳/۴	۴
۳	حداقل مربعات جزئی	$-26/12 + 26/54SM + 11/13 \cdot NDVI + 35/79 \cdot NDTI + 9/23 \cdot NDMI - 0/17 \cdot LST$	۰/۸۲	۰/۶۴	۳/۸	۳/۸۵

### بحث

نتایج حاصل از شاخص دمای سطح و رطوبت عمودی خاک نیز نمایانگر این واقعیت است که همبستگی پایینی بین این دو شاخص و داده‌های واقعی وجود دارد. این مسئله نشان می‌دهد با وجودی که بین دمای سطح و رطوبت خاک رابطه معکوس وجود دارد؛ اما به غیر از رطوبت خاک، عوامل مختلف دیگری از قبیل بافت و رنگ خاک و پوشش گیاهی، روی دمای سطحی اثرگذار است. همان‌طور که پیش از این اشاره شد، برخی پژوهشگران معتقدند که باندهای مادون قرمز کوتاه نسبت به باندهای مادون قرمز نزدیک به رطوبت خاک، حساسیت بیشتری نشان می‌دهند (لوبل و همکاران، ۲۰۰۲). نتایج پژوهش حاضر نیز به این مسئله تأکید دارد؛ بنابراین، شاخص رطوبت خاک باند کوتاه مادون قرمز می‌تواند معرف خوبی برای رطوبت سطحی خاک در مناطق بیابانی با پوشش گیاهی فقیر باشد. دمای سطحی، همبستگی بالایی با داده‌های رطوبت از خود نشان نداد. این مسئله نشان می‌دهد، باندهای حرارتی افزون بر رطوبت خاک، از عوامل دیگری نیز اثر می‌پذیرند.

شاخص رطوبت عمودی خاک هم با توجه به اینکه متکی به دمای سطح است، نمی‌تواند دقت خوبی ارائه دهد. از آنجا که دمای اندازه‌گیری شده به روش سنجش‌ازدور اختلاف یک تا دو درجه با دمای واقعی سطح خاک را نشان می‌دهد، لذا این خطا به نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش نیز سرایت می‌کند (رحیم‌زاده<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۳). ضمن اینکه پژوهشگران قبلی (شفیعان و ماس، ۲۰۱۵ ب) تحقیق خود را در دشت‌هایی با پوشش گیاهی بالا انجام داده‌اند؛ بنابراین، با توجه به اینکه این پژوهش در منطقه خشک و نیمه‌خشک ایران انجام گرفته است، نمی‌توان انتظار داشت روش شاخص رطوبت عمودی خاک نیز با همان دقت قبلی صورت پذیرد.

درخصوص شاخص پوشش گیاهی، مطالعات پژوهشگران نشان داده است که به دلیل عکس‌العمل تأخیری گیاه به بارندگی، با توجه به ذخیره رطوبتی خاک، شاخص پوشش گیاهی نیز عکس‌العمل تأخیری نسبت به رطوبت خاک دارد. هرچه وابستگی به بارندگی بیشتر باشد، زمان تأخیر کوتاه‌تر خواهد بود (وانگ<sup>۳</sup>، ۲۰۰۰؛ فارار<sup>۴</sup> و همکاران، ۱۹۹۴؛ آدگوک و کارلتون<sup>۵</sup>، ۲۰۰۲). نکته قابل توجه اینکه با توجه به بارش باران در شب

1- Standard Error (SE)

2- Rahimzadeh

3- Wang

4- Farrar

5- Adegok & Carleton

قبل از اخذ تصویربرداری در شهر سمنان و افزایش ذخیره رطوبت خاک، این شاخص، همبستگی خوبی با داده‌های واقعی نشان می‌دهد. با وجود اینکه خانمحمدی و همکاران (۱۳۹۳) نیز کمابیش چنین نتیجه‌ای به دست آورده‌اند؛ برای اطمینان از حصول ارتباط شاخص‌های گیاهی با رطوبت خاک لازم است نمونه‌گیری در سایر روزهای سال به‌ویژه در زمان‌های خشک نیز انجام پذیرد. در بین تمامی شاخص‌های ارائه‌شده، دو شاخص رطوبت باند کوتاه مادون قرمز، شاخص تفاضلی نرمال‌شده رطوبت<sup>۵۷</sup> و شاخص تفاضلی نرمال‌شده کشاورزی بهترین نتایج را نشان دادند.

### نتیجه‌گیری

میزان و توزیع رطوبت خاک سطحی، سرنوشت آب بارندگی را به دو صورت رواناب یا تغذیه مشخص می‌کند (شریفی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۴). تبدیل رواناب به سیلاب و فرسایش خاک حاصلخیز، از عوامل مهم بیابان‌زایی به‌شمار می‌رود (دادرسی سبزواری و همکاران، ۱۳۹۶)؛ بنابراین، در مدیریت آب‌وخاک، یکی از اقدامات مهم و اثربخش، پایش توزیع مکانی و زمانی تغییرات رطوبت سطحی خاک در مناطق آسیب‌پذیر است. تصاویر لندست، به دلیل قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسب و دسترسی رایگان به آرشیو کامل، مورد توجه پژوهشگران واقع‌شده است. در پژوهش حاضر، شش شاخص متفاوت استخراج‌شده از باندهای لندست ۸ برای اندازه‌گیری رطوبت سطحی خاک استفاده شدند. از میان روش‌های ارائه‌شده، همان‌طور که پیش از این اشاره شد، لوبل و همکاران (۲۰۰۲) ثابت کردند تا زمانی که رطوبت حجمی خاک تا سطح پایین‌تر از ۵۰٪ باقی بماند، باندهای مادون قرمز کوتاه بهتر از باندهای مادون قرمز نزدیک می‌توانند رطوبت خاک را نشان دهند. با توجه به نتایج پژوهش حاضر، این مسئله مورد تأیید قرار گرفت و بنابراین، در مناطق بیابانی و خشک، باندهای مادون قرمز کوتاه، اطلاعات بیشتری در خصوص رطوبت خاک به پژوهشگران ارائه می‌دهد. پژوهش حاضر در منطقه بیابانی سمنان صورت پذیرفته است؛ لذا صحت روش‌های ارائه‌شده در مناطقی با پوشش گیاهی بیشتر و مناطق جنگلی باید دوباره مورد آزمون قرار گیرد. تعداد نمونه‌های میدانی با توجه به محدودیت زمانی برداشت شده‌اند. بدون شک، برای افزایش دقت مدل‌های سنجش‌ازدور، شبکه منسجم از آمار رطوبت خاک مورد نیاز است. به هر حال، با توجه به نبود آمار منسجم رطوبت خاک در ایران، نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند در بحث مدیریت منابع آب، طرح‌های تخصیص منابع آب، شناسایی مناطق مستعد برای فرسایش بادی، شناسایی اراضی کشاورزی دارای مشکل زهکشی و مناطق مستعد برای کشت گیاهان مرتعی و دیگر پروژه‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

### منابع

- آذرنیوند، حسین؛ جعفری، محمد؛ مقدم، محمدرضا، جلیلی، عادل؛ زارع چاهوکی، محمدعلی (۱۳۸۱). بررسی تأثیر خصوصیات خاک و تغییرات ارتفاع بر پراکنش دو گونه درمنه (مطالعه موردی: مراتع مناطق وردآورد، گرمسار و سمنان)، *منابع طبیعی ایران*، ۵۶ (۱ و ۲)، ۹۳-۱۰۰.
- بابازاده، حسین، نوروزی اقدم، الناز، عقیقی، حسین، شمس‌نیا، سید امیر، خدادادی دهکردی، داوود (۱۳۹۱). تخمین رطوبت لایه سطحی خاک اراضی مرتعی مناطق خشک و نیمه‌خشک با استفاده از شاخص دما و پوشش گیاهی (مطالعه موردی: استان خراسان)، *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۱۹ (۱)، ۱۳۲-۱۲۰.
- بابائیان، ابراهیم؛ همایی، مهدی؛ نوروزی، علی‌اکبر (۱۳۹۲). برآورد رطوبت خاک سطحی با استفاده از تصاویر رادار

- ENVIAT/ASAR، پژوهش آب در کشاورزی، ۲۷ (۴)، ۶۱۱-۶۲۲.
- خانمحمدی، فاطمه؛ همایی، مهدی؛ نوروزی، علی اکبر (۱۳۹۳). برآورد رطوبت خاک به کمک شاخص‌های پوشش گیاهی و دمای سطح خاک و شاخص نرمال شده رطوبت با استفاده از تصاویر MODIS، حفاظت منابع آب و خاک، ۴ (۲)، ۳۷-۴۵.
- دادرسی سبزواری، ابوالقاسم؛ آخوندعلی، علی محمد؛ رادمنش، فریدون؛ نوروزی، علی اکبر (۱۳۹۶). تخمین توزیع مکانی رطوبت سطحی خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک با استفاده از داده‌های دورسنجی، تحقیقات مرتع و بیابان، ۲۴ (۲)، ۳۷۰-۳۸۲.
- زارع چاهوکی، محمدعلی؛ خلاصی اهوازی، لیلا؛ آذرینوند، حسین (۱۳۹۲). مدل‌سازی پراکنش گونه‌های گیاهی براساس عوامل خاک و توپوگرافی با استفاده از روش رگرسیون لوجستیک در مراتع شرق سمنان، مرتع و آبخیزداری، ۶۷ (۱)، ۴۵-۵۹.
- فراستی، معصومه؛ رحمانی، مهسا (۱۳۹۵). ارزیابی دقت دستگاه انعکاس‌سنجی حوزه زمانی در خاک‌های رسی و شنی شور، دانش آب و خاک، ۲۶ (۲)، ۴۳-۵۲.
- فرح‌بخشی، ملودی؛ علیجانی، بهلول؛ فتاحی، ابراهیم (۱۳۹۴). تحلیل سینوپتیکی مخاطره گردوغبار (۱۰ تا ۱۲ مرداد ۱۳۹۲) / ایران، دانش مخاطرات، ۲ (۱)، ۵-۲۰.
- فیاض، محمد؛ عامری، حسین؛ یزدان‌شناس، حبیب؛ یگانه، حسن (۱۳۹۴). بررسی ارزش رجحانی گونه‌های مرتعی برای شتر در مراتع بیلاقی و قشلاقی سمنان طی سه سال متوالی، پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)، ۲۸ (۴)، ۷۹۴-۸۰۲.
- کوه‌بنانی، حمیدرضا؛ دشتی امیرآباد، جمال؛ نیکو، شیمایا، تایا، علی (۱۳۹۶). پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی با استفاده از رویکرد منطق فازی (مطالعه موردی: دیهوک طبس)، پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۲۵ (۱)، ۳۵-۴۹.
- کوه‌بنانی، حمیدرضا؛ یزدانی، محمدرضا (۱۳۹۷). واسنجی مدل سببال به‌منظور اندازه‌گیری تبخیر و تعرق از روی سنجنده LDCM، مرتع و آبخیزداری، ۷۱ (۱)، ۲۶۹-۲۸۳.
- نامدار خجسته، داوود؛ شرفا، مهدی؛ اسکندری، ذبیح‌الله؛ فاضلی سنگانی، محمود (۱۳۹۱). تأثیر میزان رس و شوری خاک در رطوبت حجمی اندازه‌گیری‌شده با انعکاس‌سنجی زمانی، پژوهش‌های خاک، ۲۵ (۲)، ۱۱۲-۱۰۳.

## References

- Adegok, J. O., Carleton, A. M. (2002). Relations between Soil Moisture and Satellite Vegetation Indices in the U.S. Corn Belt. *American Meteorological Society*, 3, 395-405.
- Amani, M., Parsian, S., Mirmazloumi, S., Aienh, O. (2016). Two New Soil Moisture Indices Based on the NIR-Red Triangle Space Oflandsat-8 Data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 50, 176-186.
- Bandara, R., Walker, J. P., Ruediger, Ch. (2014). Towards Soil Property Retrieval from Space: Proof of Concept Using in Situ Observations. *Hydrology*, 512, 27-38.
- Fabre, S., Briottet, X., lesaignoux, A. (2015). Estimation of Soil Moisture Content from the Spectral Reflectance of Bare Soils in the 0.4-2.5  $\mu\text{m}$  Domain. *Sensors*, 15, 3262-3281.
- Farrar, T. J., Nicholson, S. E., Lare, A. R. (1994). The Influence of Soil Type on the Relationships between NDVI, Rainfall, and Soil Moisture in Semiarid Botswana. II. NDVI Response to Soil Moisture. *Remote Sensing of Environment*, 50, 121-133.
- Gao, Z., Xu, X., Wang, J., Yang, H., Huang, W., Feng, H. (2013). A Method of Estimating Soil Moisture Based on the Linear Decomposition of Mixture Pixels. *Math Comput Modell*, 58 (3), 606-613.
- Ghulam, A., Qin, Q., Teyip, T., Li, Z. L. (2007). Modified Perpendicular Drought Index (MPDI): a Real-Time Drought Monitoring Method. *ISPRS J. Photogramm Remote Sens*, 62 (2), 150-164.
- Jiang, L., Islam, S. A. (2001). Estimation of Surface Evaporation Map Over Southern Great

- Plains Using Remote Sensing Data. *Water Resources Research*, 37, 329-340.
- Li, B., Ti, C., Zhao, Y., Yan, X. (2016). Estimating Soil Moisture with Landsat Data and Its Application in Extracting the Spatial Distribution of Winter Flooded Paddies. *Remote Sensing*, 8, 38-52
- Li, Z., Tan, D. (2013). The Second Modified Perpendicular Drought Index (MPDI1): A Combined Drought Monitoring Method with Soil Moisture and Vegetation Index. *Indian Society Remote Sensing*, 41 (4), 873-881.
- Lobell, D. B., Gregory P., Asner, G. P. (2002). Moisture Effects on Soil Reflectance, *SOIL SCI. SOC. AM. J*, 66, 112-127.
- Milfred, C. J., Kiefer, R. W. (1976). Analysis of Soil Variability with Repetitive Aerial Photography. *America Journal of Soil Science Society*, 40 (4), 553-557.
- Moran, M. S., Clarke, T. R., Inoue, Y., Vidal, A. (1994). Estimating Crop Water Deficit Using the Relation between Surface-Air Temperature and Spectral Vegetation Index. *Remote Sens Environ*, (49), 246-263.
- Pengxin, W., Zhengming, W., Jianya, G., Xiaowen, L., Jindi, W. (2003). Advances in Drought Monitoring by Using Remotely Sensed Normalized Difference Vegetation Index and Land Surface Temperature Products. *Adv. Earth Science*, 18 (4), 527-533.
- Petropoulos, G. P., Ireland, G., Barrett, B. (2015). Surface Soil Moisture Retrievals from Remote Sensing: Current Status, Products & Future Trends. *Physics and Chemistry of the Earth*, 83 (84), 36-56.
- Qasim, S., Gul, S., Hussain Shah, M., Hussayn, F., Ahmad, S., Islam, M., Rehman, G., Yaqoob, M., Qasim Shah, S. (2017). Influence of Grazing Enclosure on Vegetation Biomass and Soil Quality. *International Soil and Water Conservation Research*, 5 (1), 62-68.
- Rahimzadeh, B. P., Berg, A. A., Champagne, C., Omasa, K. (2013). Estimation of Soil Moisture Using Optical/Thermal Infrared Remote Sensing in the Canadian Prairies. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 83, 94-103.
- Sandholt, I., Rasmussen, K., Andersen, J (2002). A Simple Interpretation of the Surface Temperature/Vegetation Index Space for Assessment of Soil Moisture Status. *Remote Sensing of Environment*, 79, 213-224.
- Shafian, S., Maas, S. (2015 A). Improvement of the Trapezoid Method Using Raw Landsat Image Digital Count Data for Soil Moisture Estimation in the Texas (USA) High Plains. *Sensors*, 15 (1), 1925-1944.
- Shafian, S., Maas, S. J. (2015 B). Index of Soil Moisture Using Raw Landsat Image Digital Count Data in Texas High Plains. *Remote Sensing*, 7 (3), 2352-2372.
- Sharifi, F., Safarpour, Sh., Ayoubzadeh, S. A., Vakilpour, J. (2004). An investigation of factors affecting runoff generation in arid and semi-arid area using simulation and rainfall runoff data. *Natural Resources*, 57 (1), 33-45.
- Sun, L., Sun, R., Li, X., Liang, S., Zhang, R. (2012). Monitoring Surface Soil Moisture Status Based on Remotely Sensed Surface Temperature and Vegetation Index Information. *Agricultural and Forest Meteorology*, 166-167, 175-187.
- Van Rooy, M. P. (1965). A Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space. *Notos*, 14 (43), 6-13.
- Vereecken, H., Huisman, J. A., Pachepsky, Y., Montzka, C., Van Der Kruk, C., Bogen, H., Weihermüller, H., Herbst, M., Martinez, G and vanderborght, J. (2014). On the Spatio-Temporal Dynamics of Soil Moisture at the Field Scale. *Hydrology*, 516, 76-96.
- Wang, J. (2000). *Relations between Productivity, Climate, and Normalized Difference Vegetation Index in the central Great Plains*. Lawrence: University of Kansas (PhD dissertation). Advisor: Alexander, H.M.
- Xing, G., Zhao, X., Xiong, Z., Yan, X., Xu, H., Xie, Y., Shi, S. (2009). Nitrous Oxide Emission from Paddy Fields in China. *Acta Ecologica Sinica*, 29 (1), 45-50.
- Xu, B. C., Gichuki, P., Shan, L., Li, F. M. (2006). Aboveground Biomass Production and Soil Water Dynamics of Four Leguminous Forages in Semiarid Region, Northwest China. *South African Journal of Botany*, 72 (4), 507-516.

Zhang, J., Zhou, Z., Yao, F., Yang, L., Hao, C. (2015). Validating the Modified Perpendicular Drought Index in the North China Region Using in Situ Soil Moisture Measurement. *IEEE Geoscience Remote Sensing Letters*, 12 (3), 542-546.

