



سنجش از دور

و

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران  
Iranian Remote Sensing & GIS

سال هشتم، شماره دوم، تابستان 1395  
Vol.8, No. 2, Summer 2016

## برآورد ظرفیت آب قابل دسترس خاک، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های کنترل زمینی در مناطق کوهستانی

کاظم نصرتی<sup>1</sup>، سید حسین پورعلی<sup>2</sup>، مرتضی عبدی‌پور<sup>3\*</sup>

1. دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
2. استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
3. کارشناس ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

تاریخ پذیرش مقاله: 1395/6/21

تاریخ دریافت مقاله: 1394/6/2

### چکیده

در مسائل هیدرولوژیک و کشاورزی، ظرفیت آب قابل دسترس خاک متغیری مهم انگاشته می‌شود و برآورد این متغیر در مقیاس حوضه آبخیز از اصولی است که در نظر گرفته می‌شود. به دلیل ناپوستگی در برداشت نمونه‌ها و نداشتن دسترسی به اطلاعات کافی در ارتباط با شناخت ویژگی‌های مناطق و نیز، صرف هزینه و زمان زیاد جهت برآورد آب قابل دسترس خاک و تغییرات مکانی آن، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به صرفه است. بنابراین، توسعه و بسط روش ساده و مدل‌های متکی بر اصول سنجش از دوری، به منظور برآورد ظرفیت آب قابل دسترس خاک، ضروری است. به طور کلی، مطالعات گذشته بر اساس پایش رطوبت خاک بوده و به دیگر توابع رطوبت خاک، همچون آب قابل دسترس کمتر پرداخته شده است. بر همین اساس، در این مطالعه تلاش بر برآورد یکی از توابع رطوبت خاک، با نام ظرفیت آب قابل دسترس خاک است. اصول نظری این تحقیق بر پایه ارتباط بین پوشش گیاهی و دمای سطحی زمین است و دلیل استفاده از دو شاخص یادشده طرح آزمایش و بررسی کارایی شاخصی مستقل از شاخص‌های فیزیکی خاک است که به اندازه‌گیری ظرفیت آب قابل دسترس در خاک منجر شود. در این مطالعه، مدلی ترکیبی و منتج از دو شاخص دمای سطح زمین و پوشش گیاهی نرمال شده به منظور برآورد آب قابل دسترس خاک در حوضه آبخیز هیو واقع در منطقه هشتگرد ما ارائه شده است. به منظور کنترل زمینی، پنجاه نمونه خاک با توزیع سیستماتیک برداشت شد. 80٪ نمونه‌های برداشت شده برای برازش مدل ترکیبی دمای سطح زمین و شاخص نرمال شده پوشش گیاهی، و 20٪ نمونه‌ها برای اعتبارسنجی مدل به کار رفت. اعتبارسنجی رگرسیون چندمتغیره با ضریب تبیین 0/85، در سطح معناداری 0/01 و جذر میانگین مربعات خطا 2/6 را نشان می‌دهد. بر این اساس، کارایی دو شاخص استفاده شده برای اندازه‌گیری آب قابل دسترس خاک قابل تأیید است.

**کلید واژه‌ها:** رگرسیون چندمتغیره، ظرفیت آب قابل دسترس، مدل ترکیبی دمای سطحی زمین و شاخص نرمال شده پوشش گیاهی.

\* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: تهران، ولنجک، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، گروه جغرافیای طبیعی.

## 1- مقدمه

آب قابل دسترس خاک به رطوبت خاک در عمق 1 تا 2 متری از سطح خاک اطلاق میشود که عموماً در دسترس ریشه گیاه است و این رطوبت قابلیت تبخیر و انتقال به هوای آزاد را دارد (Verstraeten, 2006). آب قابل دسترس خاک به‌رغم آنکه بخش بسیار اندکی از آب موجود روی کره زمین را شامل می‌شود، تأثیر بسزایی در گردش آب، انرژی و رشد گیاهان در طبیعت دارد. نظر به تأثیر ظرفیت این آب در طبیعت، تخمین مقدار آن در منطقه توسعه ریشه‌ها، در مطالعات کشاورزی بسیار مهم است. شایان ذکر است که آب قابل دسترس در خاک، به‌طور عمده، به پارامترهای فیزیکی خاک برمی‌گردد ولی در این مطالعه، سعی شده مدلی ترکیبی از شاخص‌های سنجش از دور، دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی نرمال شده برای پایش این متغیر امکان‌سنجی و ارائه شود. اساساً پایش مستقیم ظرفیت آب قابل دسترس خاک و استخراج داده‌های مربوط به آن به‌صورت نقطه‌ای هم هزینه‌بر و وقت‌گیر است و هم در سطوح وسیع عملی نیست. بنابراین، اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای آن کافی نیست و برای افزایش دامنه برآورد داده‌ها و کاهش هزینه‌ها، به ابزار نیاز است. از دیگر سو، استفاده از روش‌های مطالعه نقطه‌ای و سپس درونیابی نتایج به‌منظور تعیین آب قابل دسترس خاک در سطح وسیع، آن‌طور که باید مناسب نیست زیرا درهم‌کنش عوامل عدم قطعیت فقط در مناطق وسیع به تعادل می‌رسد و در مناطق کم‌وسعت و در مقیاس منطقه‌ای، با عدم قطعیت زیادی مواجه خواهیم بود. بنابراین، برای پایش آب قابل دسترس در مقیاس زمانی و مکانی به ابزار نیاز داریم تا افزون‌بر دقت مناسب، امکان کاربرد عملیاتی آن در مناطق متفاوت وجود داشته باشد. در این میان تکنیک‌های مبتنی بر سنجش از دور، درمقایسه با اندازه‌گیری نقطه‌ای و یا مدل‌های شبیه‌سازی، به‌دلیل دقت مکانی و زمانی بهتر، استفاده عملیاتی آسان و دقت محاسباتی رطوبت خاک در حد 5٪ برتری دارند (Walker and Houser, 2004). شایان ذکر است که

هدف این مطالعه برآورد ظرفیت متغیر آب قابل دسترس در خاک، به‌منزله یکی از توابع رطوبت خاک است. به‌طور کلی، مطالعه ویژه‌ای در ارتباط با این پارامتر صورت نگرفته است اما روش‌های چندی برای تعیین رطوبت خاک در سطح وسیع، با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور وجود دارد که این مطالعه، برای برآورد آب قابل دسترس در خاک، از این تکنیک‌ها الهام گرفته است. از جمله این تکنیک‌ها می‌شود به استفاده از ابزارهای سنجش با کمک امواج نوری (Wang et al., 1991; Peters et al., 2006) و ماکروویو (Moran et al., 2008; Mattia et al., 2004) اشاره کرد. روش‌های سنجش از دور مبتنی بر تصاویر نوری و حرارتی، درمقایسه با تصاویر راداری، دارای محدودیت‌هایی اند همچون عمق نفوذ سطحی محدود، پراکنش زیاد امواج بر اثر برخورد با ذرات بخار آب و ذرات معلق در اتمسفر و پوشش گیاهی سطح زمین. با این حال، ظرفیت بالقوه روش‌های سنجش از دور مبتنی بر تصاویر نوری و حرارتی، مانند قدرت تفکیک مکانی بالاتر، دسترسی هم‌زمان به چند تصویر ماهواره‌ای، پوشش وسیع و تکرار زمانی منظم برای تخمین آب قابل دسترس خاک بسیار امیدبخش است (Verstraeten, 2006). پیشرفت تکنولوژی در ماهواره‌های سنجش از دوری تکنیک‌های متنوعی را برای اندازه‌گیری رطوبت خاک، در پهنه‌های وسیع و به‌صورت پیوسته، در هر زمان در اختیار پژوهشگران قرار داده است (Engman, 1990). برخی محققان نیز استفاده ترکیبی از اطلاعات ماهواره‌ای دمای سطح زمین (LST) و شاخص‌های گیاهی را در تخمین رطوبت خاک پیشنهاد کردند و اذعان داشتند چه‌بسا ترکیب این داده‌ها اطلاعات بهتری از تنش‌های گیاهی و شرایط آب قابل دسترس خاک فراهم آورد (Keshavarz et al., 2011). گیاهان به‌طور معناداری به کم‌آبی واکنش نشان می‌دهند. در نقطه پژمردگی دائم، پتانسیل آب برگ‌ها کمتر از پتانسیل آب خاک باقی می‌ماند و در این نقطه، آب امکان آن را ندارد که با سرعت کافی جذب ریشه شود و بر کمبود آب گیاه

خاک را با دو خط رگرسیونی برآورد می‌کنند (Wang and Qu., 2009). آرنون و همکاران<sup>1</sup> (2010) در تحقیق خود، از اطلاعات شاخص دمای سطحی زمین و پوشش گیاهی نرمال شده برای پایش رطوبت خاک استفاده کردند. با تحلیل رگرسیون چندگانه از روابط معکوس این دو شاخص دریافتند که ضرایب دو شاخص یادشده نقش مؤثری در شناخت رفتار رطوبت خاک دارد، درحالی‌که دیگر متغیرهای بیولوژیکی نقش کمتری در تغییرات رطوبت خاک دارند. همچنین، ژانگ و همکاران<sup>2</sup> (2014) در تحقیق خود برای برآورد رطوبت موجود در خاک، از باند حرارتی و تغییرات زمانی دمای سطح زمین، مدل مثلث خشک و تر را به کار بردند و دریافتند که مدل TRRVDI با ضریب همبستگی  $0/46$  ( $P < 0.5$ ) بهتر از شاخص رطوبت خاکی است که با دمای سطحی زمین برآورد می‌شود. لیونس و فروسنت<sup>3</sup> (2012) وجود همبستگی بین داده‌های سنجندهٔ RADARSAT-2 در پولاتریزیسیون‌های HH و VV با مقدار رطوبت خاک را گزارش دادند، به طوری که رطوبت تخمینی به وسیلهٔ مدل IEM با RMSE برابر با  $0/04$  سانتی مترمکعب بر سانتی مترمکعب برآورد شد. همچنین، سانلی و همکاران<sup>4</sup> (2008) دقت تصویر ASAE (باند C پولاتریزیسیون HH) RADARSAT-1 و PLASAR (باند L پولاتریزیسیون HH) را در تخمین رطوبت خاک اراضی کشاورزی غرب ترکیه مقایسه کردند. بنا بر نتایج آنها، ارتباط بین رطوبت خاک و ضریب پس انتشار از خاک، به ترتیب، با  $R^2$  برابر  $0/7$ ،  $0/81$  و  $0/86$  به دست آمد. در پژوهشی دیگر، باروکا و همکاران<sup>5</sup> (2011) با استفاده از داده‌های میکروموج غیرفعال AMSR-E ماهوارهٔ Aqua و سنجندهٔ ASCAT ماهوارهٔ METOP، مقدار رطوبت سطح خاک را، به ترتیب، با ضرایب همبستگی  $0/71$  و  $0/62$  برآورد کرده‌اند. مطالعات

غلبه کند. این تنش واکوئل و کلروفیل سلول را در این برگ‌ها تحت تاثیر قرار می‌دهد. خود این اتفاق نیز در نتایج حاصل از سنجش از دور گیاه مؤثر است که در نتیجه، این شاخص ارتباط مستقیمی با میزان رطوبت خاک دارد و تغییرات طیفی در این شاخص به خوبی بیانگر تغییرات آب قابل دسترس خاک است. همین شرایط، به صورت معکوس، برای دمای سطح زمین بر آب قابل دسترس خاک وجود دارد (Marshall, 2005). تحقیقات در برآورد رطوبت خاک به وسیلهٔ داده‌های سنجش از دور، در سال 1970 آغاز شد و پس از مدت کوتاهی، همراه با پیشرفت سنجش از دور، تلاش‌ها و تحقیقات بسیاری در تخمین رطوبت خاک انجام گرفت (Walker et al., 1999). بسیاری از متخصصان سنجش از دور ترکیب داده‌های انعکاسی و حرارتی را برای به دست آوردن اطلاعات از پوشش گیاهی و پایش رطوبت خاک مفید می‌دانند (علوی پناه، 1382؛ نجفی دیسفانی، 1377). از اوایل دههٔ 1980، محققان استخراج اطلاعات از پوشش گیاهی زمین به وسیلهٔ سنجندهٔ ماهواره نوآ را آغاز کردند (Tueker, 1996). بدین منظور، شاخص NDVI به صورت گسترده برای پایش و ارزیابی توانایی پوشش گیاهی روی زمین استفاده شد. به دلیل ارتباط نزدیک بین وضعیت پوشش گیاهی و میزان آب قابل دسترس خاک (Sandholt, 2002)، این شاخص برای برآورد رطوبت خاک مورد توجه قرار گرفت (Henricksen and 1986). آب قابل دسترس خاک و نسبت پوشش گیاهی به شدت به دمای سطح زمین وابسته‌اند. با این حال، تا کنون هیچ رابطهٔ مستقیمی بین دمای سطح زمین و آب قابل دسترس خاک گزارش نشده است (Mallick et al., 2009). بسیاری از محققان رابطهٔ فیزیکی بین نمایهٔ گیاهی NDVI و LST را به شکل یک نمودار پراکنش نقطه‌ای نمایش دادند که در آن، از مفهوم فضای مثلثی برای استخراج رطوبت خاک استفاده می‌شود. در فضای مثلثی، مقدار تغییرات شاخص پوشش گیاهی را به نسبت شاخص دمای سطح زمین نمایش می‌دهند و براساس آن، مقدار رطوبت

1. Arnon et al.

2. Zhang et al.

3. Lievens and Verhoest

4. Sanli et al.

5. Brocca et al.

موقعیت جغرافیایی 50 درجه و 37 دقیقه و 46 ثانیه، 50 درجه و 44 دقیقه و 56 ثانیه طول شرقی و 36 درجه و 5 دقیقه و 35 ثانیه و 36 درجه و 11 دقیقه و 46 ثانیه عرض شمالی در ارتفاعات جنوبی البرز مرکزی و در 90 کیلومتری شمال غرب تهران واقع شده است. مساحت حوضه تقریباً 65 کیلومترمربع است. طولانی ترین آبراهه آن به طول تقریبی 21 کیلومتر و میانگین شیب حوضه 3/19٪ و تراکم آبراهه‌ها 2 است. میانگین بارش سالیانه طولانی مدت (2003 - 1975) منطقه 460 میلی‌متر است. ارتفاع حداقل، حداکثر و ارتفاع میانگین وزنی، به ترتیب، برابر با 1690، 3038 و 1875 متر است (شکل 1).

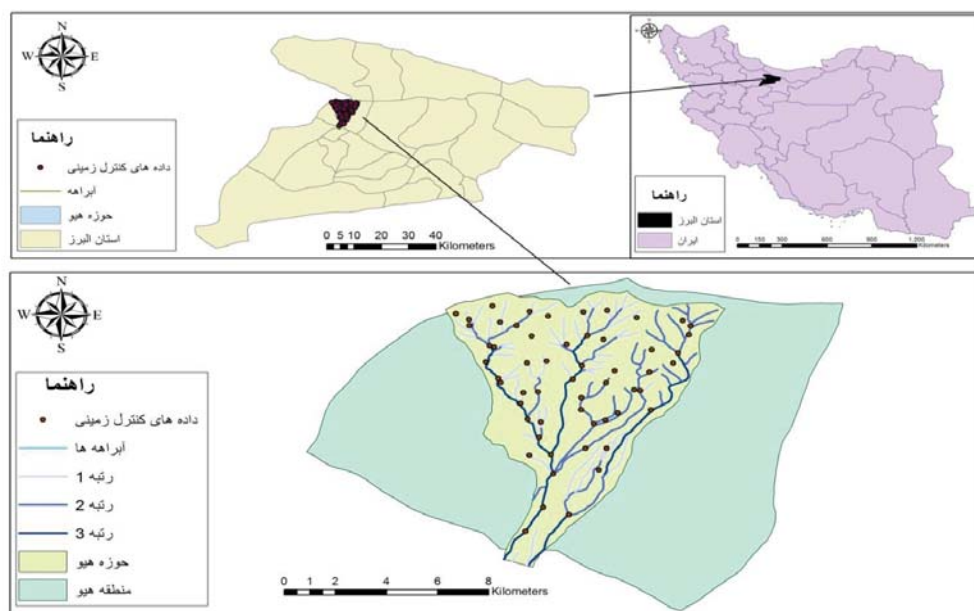
در این تحقیق از داده‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای و منابع کتابخانه‌ای به منظور برآورد آب قابل دسترس خاک استفاده شده است. از داده‌های زمینی برای برآورد مدل و از داده‌های ماهواره‌ای نیز به منظور برآورد دو شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین استفاده شد که مراحل کار، به ترتیب، در ادامه بیان می‌شود.

برخی از پژوهشگران عمدتاً در ارتباط با رطوبت موجود در خاک یا ضریب دی‌الکتریک خاک است و به بررسی و برآورد پارامتر ظرفیت آب قابل دسترس در خاک به وسیله فناوری نوین کمتر پرداخته شده است. همچنین، این تحقیق به دلیل نبود شبکه منسجمی در ارتباط با شناخت تغییرات رطوبتی خاک و در دسترس نبودن این نوع داده‌ها در مناطق کوهستانی صورت گرفته است. هدف از این مطالعه ارائه مدلی کالیبره شده به وسیله داده‌های حرارتی، فرسوخ و فرسوخ نزدیک از تصاویر لندست و داده‌های زمینی برای برآورد ظرفیت آب قابل دسترس در خاک، در منطقه کوهستانی هشتگرد است. ارائه مدل کالیبره شده ترکیبی دمای سطحی زمین و شاخص نرمال شده پوشش گیاهی در منطقه کوهستانی به راحتی تغییرات مکانی متغیر مورد نظر را به صورت پیوسته برآورد می‌کند که کمترین هزینه و بیشترین دستاورد را در پی خواهد داشت.

## 2- مواد و روش مطالعه

### 2-1- ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

حوضه هیو<sup>1</sup> یکی از زیر حوضه‌های آبخیز هشتگرد در



شکل 1. موقعیت جغرافیایی و نقاط نمونه برداری از خاک منطقه مورد مطالعه

### 1. Hiv

## 2-2- روش نمونه‌برداری

فلش در نرم‌افزار ENVI به کار رفت. سپس برای برآورد ظرفیت آب قابل دسترس خاک، از دو شاخص LST و NDVI استفاده شد. به همین منظور، هریک از شاخص‌ها مجزا از تصاویر محاسبه شده است. الگوریتم فلش آثار جوی در طول موج‌های SWIR و VNIR را تصحیح می‌کند. این الگوریتم از معادله استاندارد که برای محدوده‌های طول موج خورشیدی در سطوح لامبرتی در نظر گرفته شده، برای تابش طیفی در سنجنده استفاده می‌کند. رابطه (1)، الگوریتم فلش.

$$L = \left(\frac{AP}{1-ps_e}\right) + \left(\frac{BP_e}{1-ps_e}\right) + L_a \quad (1)$$

در این معادله، L رادیانس طیفی در سنجنده و  $\rho$  بازتابندگی سطحی پیکسل،  $\rho_e$  انعکاس میانگین سطح برای پیکسل و محدوده اطراف آن، S آلدوی نیمکره‌ای اتمسفر و  $L_a$  تابش بازگشتی متفرق شده از جو است. ضرایب A و B نیز ضرایب وابسته به شرایط هندسی و جوی اند که ارتباطی با سطح ندارند (ENVI User Guide, 2009)

## 2-5- محاسبه شاخص نرمال شده پوشش گیاهی

اندازه‌گیری انرژی فروسرخ حرارتی گسیل شده از پوشش گیاهی یکی از رهیافت‌های غیرمستقیم برای اندازه‌گیری وضعیت آب در خاک است. شاخص رطوبت سطحی (SMI) (Ramakrishna et al., 1993) و شاخص کمبود آب (WDI) (Moran et al., 1994) از شاخص‌های تنش گیاه‌اند. با بهره‌گیری از اندازه‌گیری شاخص‌های پوشش گیاهی و حرارتی در خاک و سطوح پوشیده، وضعیت رطوبت خاک را به صورت میزان نقصان آب طی تبخیر تخمین می‌زنند. شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) متداول‌ترین شاخص پوشش گیاهی است که از تقسیم اختلاف مقادیر یافته‌های فروسرخ (Red) و فروسرخ نزدیک (NIR) بر مجموع آنها به دست می‌آید (Simpson & Still, 1998).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (2)$$

در این مطالعه، پنجاه نمونه خاک در منطقه مورد نظر، در مرداد، 1392 برداشت شده است. در حوضه آبخیز هیو یازده نمونه از خاک سطحی واحد کاری کشاورزی، سیزده نمونه از واحد مرتع و سیزده نمونه از واحد کاری دیم جمع‌آوری شد. نمونه‌برداری به صورت ترکیبی و به روش سیستماتیک انجام شد. هر نمونه مخلوطی از پنج نمونه از هر صد مترمربع است که از ترکیب آنها یک نمونه تهیه شد. همچنین، سیزده نمونه مرکب از کناره‌های آبراه‌ها برداشت شد.

## 2-3- اندازه‌گیری آب قابل دسترس در آزمایشگاه

آب قابل دسترس نمونه‌ها با استفاده از دستگاه فشار آب خاک تعیین شد. نخست، نمونه‌های خاک درون رینگ‌ها یا استوانه‌های روی صفحه دستگاه ریخته شد و با افزودن آب در چندین نوبت، به حد اشباع رسید. سپس دستگاه در فشارهای 15 و 0/01 بار تنظیم و مدت 24 ساعت بعد نمونه‌ها وزن شد. پس از آن، به مدت 24 ساعت، در دمای 105 درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شد و در نهایت، براساس وزن و از تفاضل آنها آب قابل دسترس محاسبه شد.

## 2-4- تصاویر ماهواره‌ای و محاسبه شاخص

### پوشش گیاهی و دمای سطح زمین

تصاویر ماهواره‌ای لندست (ETM+7) مطابق با زمان برداشت نمونه‌های زمینی «1390/5» از سایت سازمان زمین‌شناسی امریکا اخذ شد. تصحیحات رادیومتریک و هندسی با مشخصه‌های مداری روی همه تصاویر صورت گرفت که از جمله تصحیحات اتمسفری، الگوریتم فلش است. با توجه به ضرورت محاسبه شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین و نیاز به بازتاب در محاسبات مربوط به این شاخص‌ها، تصاویر به رادیانس تبدیل شدند و سپس، به منظور رسیدن به بازتاب زمینی و انجام دادن تصحیحات اتمسفری، الگوریتم

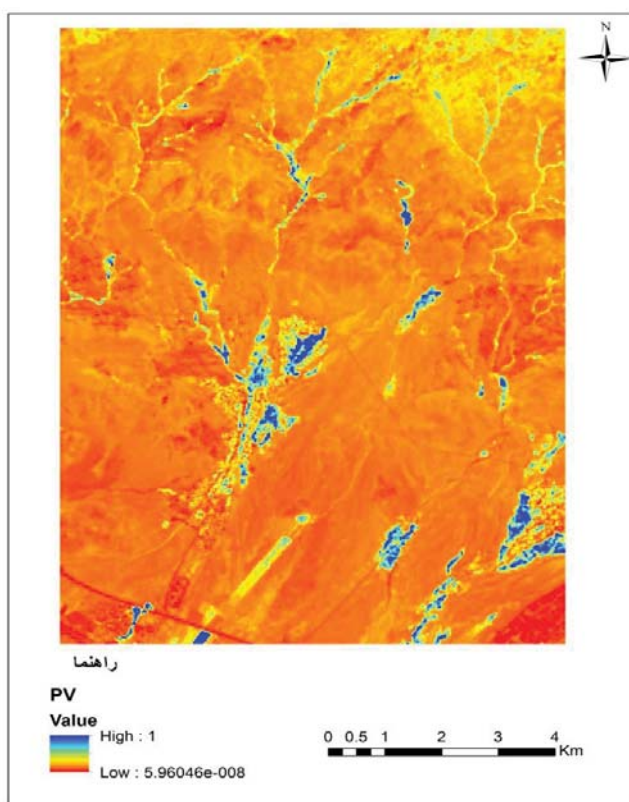
## 2-6- محاسبه شاخص دمای سطح زمین

دارای باند حرارتی به نام باند 6 است. این باند را فرسرخ حرارتی می‌نامند و ETM+ و TM ماهواره لندست در هر دو سنجنده دارای محدوده طیفی الکترومغناطیسی 10/4 تا 10/5 میکرون است. از این باند برای محاسبه دمای سطح زمین منطقه مورد مطالعه استفاده شد. برای محاسبه دمای سطح زمین روش‌های متفاوتی وجود دارد. از این روش‌ها می‌توان به چند روش Mono-Window اشاره کرد (Qin et al., 2001; Sobrino et al., 1996; Jimenez-Munoz & Sobrino, 2003).

در این مطالعه از روش Mono-Window برای محاسبه دمای سطح زمین استفاده شده است. با الگوریتم Mono-Window، اساس پایش دمای سطح زمین در ماهواره‌های چندطیفی سه متغیر تابندگی، عبور و میانگین حرارت اثر جو است (Ngie et al., 2015).

## 2-7- محاسبه توان تشعشعی سطح زمین

در این روش، از آستانه‌گذاری NDVI استفاده می‌شود. پیکسل به خاک خشک با میزان گسیلمندی حرارتی لندست 0/97 مربوط است. اگر  $NDVI < 0/5$ ، پیکسل‌های با ارزش NDVI بزرگ‌تر از 0/5 مناطق با پوشش گیاهی کامل را نشان می‌دهد و مقدار ثابت گسیلمندی آنها 0/99 تخمین زده شده است. اگر  $0/5 < NDVI < 0/2$  باشد، پیکسل ترکیبی از پدیده‌های گوناگون است و مقدار گسیلمندی با استفاده از رابطه (3) محاسبه می‌شود (Weng and Schubring, 2004). در این مطالعه، مقدار NDVI در هر پیکسل بین 0.2 تا 0.5 است. بر همین اساس، از رابطه (3) برای محاسبه کسر پوشش گیاهی و سپس، استفاده از آن در محاسبه توان تشعشعی استفاده شده است. همچنین، رابطه (4) روش محاسبه توان تشعشعی را نشان می‌دهد.



شکل 2. توزیع توان تشعشعی منطقه هشنگرد حوضه هیو



در ارتباط با دیمانسیون دوم باید گفت، میزان دریافت طیف الکترومغناطیسی بالا تفکیک رادیومتریک بالاتری دارد. با وجود این، محدوده دینامیکی آن اندک است. در نتیجه، رابطه (7) ارائه می‌شود.

$$L_{62} = 0.0372(Q_{\lambda DN} - 1) + 3.2 \quad (7)$$

در نهایت، در مرحله بعدی با استفاده از رابطه (8)، رادیانس طیفی به دمای روشنایی در سنجنده تبدیل شد.

$$T_i = \frac{k_2}{\ln\left(\frac{k_1}{L_i} + 1\right)} \quad (8)$$

جایی که  $L_i$  - انعکاس نوری به  $(W/M^2 \text{ STAR UM})$ ،  $K_1$  - برابر با  $1282/71$  (عدد ثابت برای لندست)،  $K_2 = 666/06$  عدد ثابت برای لندست  $(mWcm^{-2}sr^{-1})$  است. سپس، در نهایت، دمای سطح زمین به وسیله الگوریتم Mono-Window محاسبه شد که در رابطه (9) نمایش داده شده است.

$$T_S = \frac{(a+bT_i)(1-C-D)+D(T_i-T_a)}{c} + T_i \quad (9)$$

رابطه (8) با دو مجهول  $C$  و  $G$  محاسبه می‌شود که این دو مجهول از طریق رابطه (10) و (11) نمایش داده شده‌اند.

$$D = (1-\varepsilon_i)[1 + (1 - \varepsilon_i)t] \quad (10)$$

$$C = \varepsilon_i * t \quad (11)$$

$\varepsilon$  تابندگی برآورد شده از شاخص پوشش گیاهی  $T_i$  دمای سنسور است. همچنین،  $T_i$  دمای سطح زمین، و  $T_s$  که در رابطه (7)، دو مقدار  $T$  میانگین دمای اتمسفر و، در نهایت،  $T_a$  در این رابطه، مقدار عبور محاسبه شده از بخار آب موجود در اتمسفر است.  $-67.355351$  و  $-0.458606$  - هر یک، به ترتیب،  $c$  و  $b$  هستند.

## 2-9- برآورد آب قابل دسترس خاک با استفاده از

### مدل ترکیبی NDVI و LST

در ابتدا، برای شناخت و کشف ارتباط بین دو متغیر وابسته (دما و پوشش گیاهی) و متغیر مستقل، و برای استفاده از نمونه‌های آزمایشگاهی در محاسبه آب قابل دسترس، نموداری ترسیم شد. در شکل شماره 3 این رابطه را می‌شود بررسی کرد.

$$P_v = 1 - (NDVI_{max} - NDVI) / (NDVI_{max} - NDVI_{min})^a \quad (3)$$

در رابطه بالا،  $NDVI_{min}$  برابر با  $0.2$  و  $NDVI_{max}$  برابر با  $0.5$  است.

$$\varepsilon_i = \varepsilon_v P_v + \varepsilon_s (1 - P_v) + d_\varepsilon \quad (4)$$

در رابطه (4)،  $\varepsilon_i$  توان تشعشعی،  $\varepsilon_v$  توان تشعشعی پوشش گیاهی برابر با  $0.99$ ،  $\varepsilon_s$  توان تشعشعی خاک برابر با  $0.97$  و  $P_v$  کسر پوشش گیاهی است که مطابق معادله (10) محاسبه شد (Carlson & Ripley, 1997; Sobrino et al., 2004).

## 2-8- محاسبه دمای سطح زمین با الگوریتم Mono-Window

داده‌های تصویری برای ایجاد LST از منطقه مورد مطالعه، از باند فروسرخ حرارتی سنجنده ETM+7، مطابق با زمان برداشت نمونه‌ها به دست آمد. سپس، داده‌های ارقام دیجیتالی از طریق رابطه (5) به درخشندگی طیفی تبدیل شدند.

$$L_\lambda = L_{\lambda min} + (L_{\lambda max} - L_{\lambda min}) \times \frac{(Q_{\lambda DN} - Q_{\lambda min})}{(Q_{\lambda max} - Q_{\lambda min})} \quad (5)$$

$L_\lambda$  درخشندگی طیفی در سنجنده،  $L_{\lambda max}$  حداکثر درخشندگی طیفی در سنجنده،  $L_{\lambda min}$  حداقل درخشندگی طیفی در سنجنده،  $Q_{\lambda max} = 250$  و  $Q_{\lambda min} = 1$ ، به ترتیب، حداکثر و حداقل ارزش ارقام دیجیتالی (DN) از پیکسل‌ها هستند.  $Q_{\lambda DN}$ ، که مقدار DN از پیکسل است.

برای داده‌های لندست، رابطه (3) در قالب دو دیمانسیون قابل اجراست که به کمترین و بیشترین میزان دریافت باند حرارتی بستگی دارد. به همین منظور، رابطه (4) و (5) مطرح شده است.

دیمانسیون نخست، در میزان طیف الکترومغناطیسی پایین، یک محدوده دینامیکی گسترده با وضوح رادیومتریک پایین با ارزش DN بالا ارائه می‌دهد که در اشباع کمتر است. در نتیجه، رابطه (6) مطرح است.

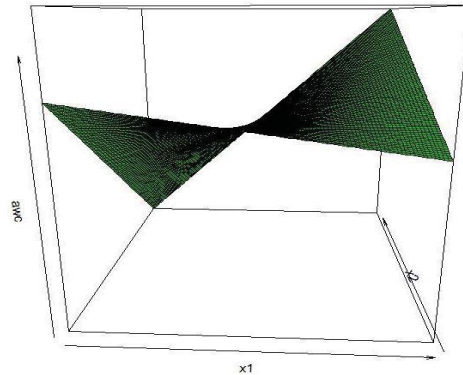
$$L_{61} = 0.0671(Q_{\lambda DN} - 1) \quad (6)$$

بودن در مقیاس منفی هم صدق می کند. ولی اگر مقدار دو متغیر یادشده مخالف هم باشد، یعنی پوشش گیاهی منفی و دمای سطح زمین مثبت، مقدار آب قابل دسترس در خاک کاهش می یابد.

به منظور برآورد آب قابل دسترس خاک، دو شاخص LST و NDVI برای هر پیکسل تصویری و معادل آن در گراندل ها یا پیکسل های متناظر با داده های زمینی در محدوده و تاریخ های مورد بررسی محاسبه شد. 80٪ نمونه ها برای برازش مدل ترکیبی دمای سطح زمین و شاخص نرمال شده پوشش گیاهی به کار رفت و 20٪ آنها برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد. سپس دو شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین برای هر پیکسل، به منزله ضرایب مدل، به کمک رگرسیون چندمتغیره در فاصله اطمینان 90 درصدی، به وسیله آزمون تی-استیودنت برازش داده شد.

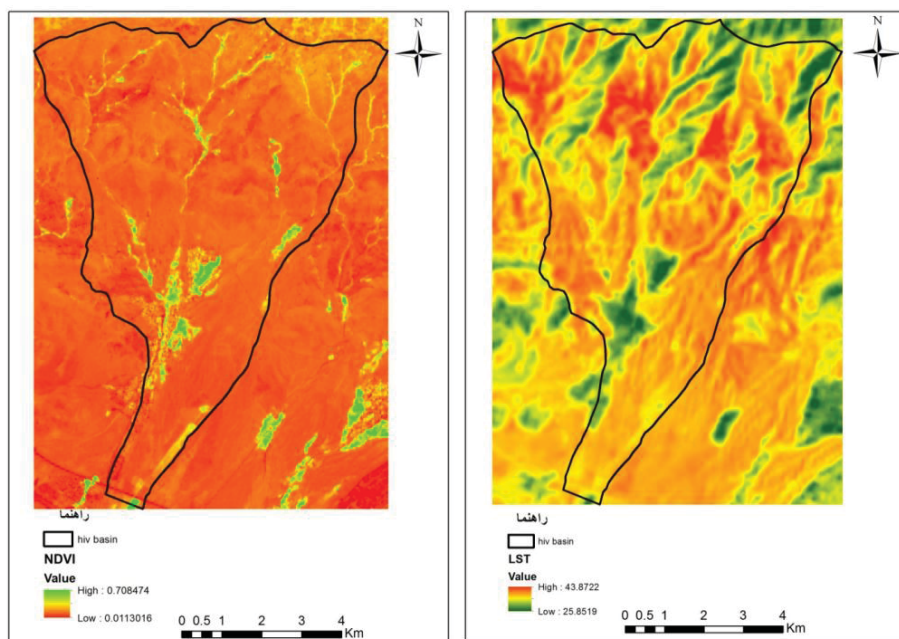
## 2-10- مدل رگرسیونی و مفهوم آن

در رگرسیون به دنبال برآورد رابطه ریاضی و تحلیل آن هستیم، به طوری که بشود به کمک آن، کمیت متغیری



شکل 3. رابطه پوشش گیاهی و دمای سطح زمین با آب قابل دسترس در خاک

همان طور که در شکل 3 مشاهده می شود، اگر مقدار پوشش گیاهی و دمای سطح زمین در یک جهت باشند، مقدار صعودی آب قابل دسترس را شاهد خواهیم بود و اگر جهت دو پارامتر وابسته مخالف باشد، با مقدار نزولی روبه رو خواهیم شد. به این مفهوم که اگر مقدار دمای سطح زمین و پوشش گیاهی به سمت مثبت حرکت کند، ظرفیت آب قابل دسترس در خاک افزایش خواهد یافت که همین مفهوم برای هم جهت



شکل 4. توزیع دمای سطح زمین و پوشش گیاهی در منطقه هشتگرد، حوضه هیو



رگرسیون  $\alpha_1, \beta_1, \beta_2, \beta_3$  را با  $\hat{\alpha}_1, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \hat{\beta}_3$  نشان می‌دهیم و معادله رگرسیون برآورد شده به صورت رابطه (10) خواهد بود.

$$\hat{Y} = \hat{\alpha}_1 + \hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2 + \hat{\beta}_3 X_3 \quad (10)$$

علامت  $\hat{\ }^$  بالای هر پارامتر برآورد آن را نشان می‌دهد. در نهایت، رابطه (12) به منزله یک مدل برآوردگر برای متغیر وابسته آب قابل دسترس محاسبه شد و به صورت مدلی مناسب به کار رفت. در ادامه، جزئیات در ارتباط با مدل شرح داده شده است.

**رابطه (12): مدل برآوردگر ظرفیت آب قابل دسترس خاک**

$$NDVI = 59/278 NDVI - 94/496 LST * NDVI$$

LST رابطه (12)

$$AWC = 15/729$$

در این مدل، عرض از مبدأ معنادار نبوده، پس فرض شده است.

$$\hat{\alpha}_1 = 0 \quad X_1 = LST \quad X_2 = NDVI \quad X_3 = LST * NDVI$$

در مدل ارائه شده بالا، ضرایب LST و NDVI مثبت‌اند. در همین حال، این دو متغیر تأثیر متقابل منفی در مقدار آب قابل دسترس خاک دارند، بنابراین برای بررسی تأثیر ضرایب در این مدل، فاصله اطمینان 90 درصدی با آزمون تی-استیودنت در نظر گرفته شد. در این مدل، آب قابل دسترس متغیر وابسته فرض شده که تحت تأثیر دو متغیر مستقل، یعنی پوشش گیاهی و دمای سطح زمین قرار دارد. بر همین اساس، این دو متغیر مستقل، به منظور بررسی معنادارشان برای برآورد آب قابل دسترس، در مدل ارزیابی شدند. مدل بالا پس از برازش مدل‌های خطی و غیرخطی بسیاری در نرم‌افزار R به دست آمد و در نهایت، رابطه (12) که از دیگر مدل‌ها ضریب تعیین بیشتری دارد، به منزله مدل نهایی انتخاب شد. این مدل ترکیبی منتج از شاخص دمای سطح زمین و پوشش گیاهی با ضرایب یادشده، آب قابل دسترس در خاک را به خوبی اندازه‌گیری می‌کند.

مجهول را با استفاده از متغیر یا متغیرهای معلوم تعیین کرد. مفهوم معناداری در همبستگی این است که آیا بین دو متغیر ارتباط وجود دارد یا خیر. این موضوع که عدد به دست آمده معنادار است یا خیر، از خود آن عدد مهم‌تر است. با به توان دو رساندن ضریب همبستگی، مقدار ضریب تعیین ( $R^2$ ) بین دو متغیر به دست می‌آید. ضریب تعیین نشان می‌دهد که چند درصد تغییرات متغیر وابسته به وسیله متغیر مستقل تبیین می‌شود. این ضریب در رگرسیون کاربرد بسیاری دارد.

**2-11- مراحل برآورد آب قابل دسترس با مدل رگرسیونی ارائه شده**

به منظور برآورد آب قابل دسترس، ابتدا مفاهیم و پارامترهایی شناسایی و انتخاب شدند که امکان تأثیر در تغییر و برآورد آن را داشته باشند. متغیر پاسخ را با  $Y$  و متغیرهای مستقل را با  $X_1, X_2, \dots, X_p$  نشان می‌دهند که  $p$  تعداد متغیرهای مستقل است.

**2-12- روش برازش مدل برآوردگر آب قابل دسترس در خاک (AWC)**

پس از تعریف مدل و گردآوری داده‌ها، لازم است پارامترهای مدل بر مبنای داده‌های جمع‌آوری شده برآورد شوند. این کار را برآورد پارامتر یا برازش مدل می‌گویند. متداول‌ترین روش برآورد روش کمترین مجموع توان‌های دوم خطاست. پارامترها را با استفاده از روش کمترین توان‌های دوم برآورد می‌کنیم. این روش معادله‌ای خطی را می‌دهد که مجموعه توان‌های دوم فواصل عمودی هر نقطه از خط رگرسیون را مینیمم می‌کند.

**2-13- برازش مدل**

این مرحله شامل برآورد پارامترهای رگرسیون یا برازش الگو به داده‌های گردآوری شده است. برآورد پارامترهای

## 2-14- اعتبارسنجی مدل

در این تحقیق، برای ارزیابی دقت و مقایسه نسبی نتایج مدل تخمینی با مقادیر اندازه‌گیری شده زمینی، از آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSR) به وسیله 20٪ داده‌های باقی‌مانده استفاده شده است (رابطه (5)).

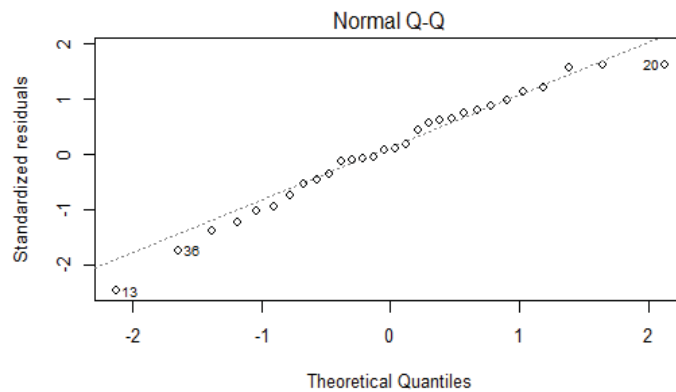
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه (13)}$$

در معادله بالا،  $Y_i$  مقدار برآورد شده ظرفیت آب قابل دسترس خاک،  $Y_r$  مقدار اندازه‌گیری شده متغیر مورد نظر به وسیله نمونه‌های زمینی، و  $n$  تعداد مشاهدات است که مقدار RMSE برآورد شده از مدل 2/6 محسوب می‌شود. نمودار مقادیر مانده‌ها (شکل 4) نشان می‌دهد نقاط حاصل از چندک تجربی مانده‌ها به خط نرمال نزدیک‌اند و این توزیع نرمال مانده‌ها را در مدل بیان می‌کند.

## 3- نتایج و بحث

مدل ترکیبی NDVI و LST از تصاویر و داده‌های

زمینی استخراج شد و در فاصله اطمینان 90 درصدی با سطح معناداری کمتر از 0/01 مورد آزمون قرار گرفت (جدول 1). در این مدل، ضرایب معنادار کمتر از 10٪ هستند و این اهمیت بالای ضرایب در افزایش دقت برآورد مدل را بیان می‌کند. در نتیجه، مدل ارائه شده امکان آن را دارد که با ضریب تبیین 85٪، با تفکیک مکانی شصت متر، مقدار آب قابل دسترس خاک را برآورد کند. نتایج آنالیز آماری طبق شکل‌ها و پارامترهای آماری نشان‌دهنده دقت بالای ضرایب به کاررفته در مدل است. ضریب تبیین 85٪، به ترتیب، در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی و نیز مقادیر پایین (RMSE=2/6) این مسئله را تأیید می‌کند. مدل ساده رگرسیونی حاصل در این پژوهش، به ترتیب، ضریب زاویه‌ای برابر با 15/729 و 59/27 و 94/496 دارد. به‌طور کلی در پژوهش‌ها، از مدل‌های ساده رگرسیونی در تخمین رطوبت خاک به وسیله داده‌های پوشش گیاهی و دمای سطحی زمین و نیز ضریب پس از انتشار رادار استفاده می‌شود.



شکل 5. توزیع مانده‌ها نسبت به خط نرمال

جدول 1. آزمون تی-استیوننت ضرایب استفاده شده در مدل

ضرایب	برآورد	Std. Error	t آماره	معناداری
LST	15/729	1/461	9/357	***<0/01
NDVI	59/278	9/416	6/295	***<0/01
LST*NDVI	-94/496	14/539	-6/5	***<0/01

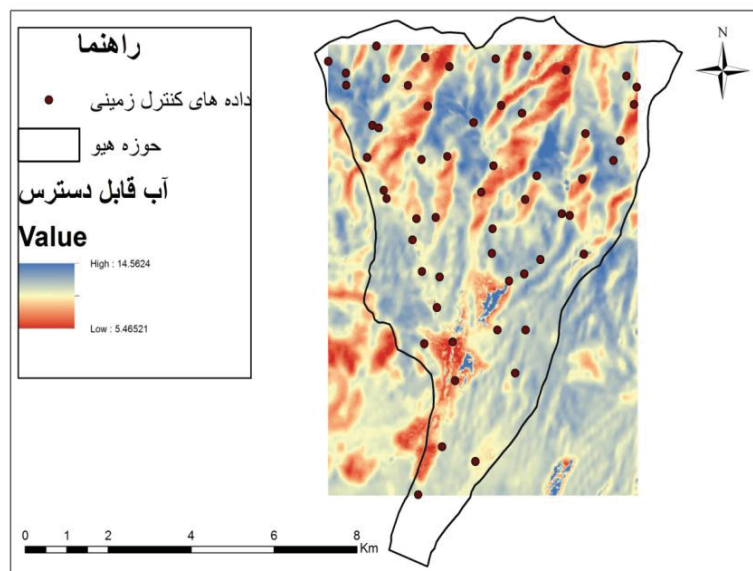
\*\*معناداری در سطح 0/01

ارتباط میان دو شاخص یادشده می‌تواند تغییرات رطوبتی را در خاک مشخص کند. همچنین، نتایج ارزیابی و اعتبارسنجی مدل نشان داد بین مقادیر تخمینی آب قابل دسترس خاک و مقادیر اندازه‌گیری شده آن تفاوت اندکی وجود دارد. جدول 2 مقادیر واقعی و برآزش داده شده به وسیله مدل را نشان می‌دهد. جدول 2 دارای مقدار واقعی پارامتر به دست آمده در آزمایشگاه و مقدار داده‌های برآزش داده شده است. با مقایسه دو مقدار واقعی و برآزش داده شده، مشخص می‌شود میان داده‌های واقعی و داده‌های برآوردشده از مدل اختلاف اندکی وجود دارد که این، خود، کارآیی مدل ارائه شده را می‌رساند.

طبق جدول 1، صفت معناداری ضرایب شاخص نرمال شده پوشش گیاهی و دمای سطح زمین و ضرب دو شاخص دارای مقدار  $P < 0/01$  است. پس این مقدار نشان می‌دهد ضرایب یادشده موجب افزایش دقت برآورد و بیان کننده ارتباط بین دمای سطح زمین و شاخص نرمال شده پوشش گیاهی است، زیرا در شرایط آب وهوایی مشخص، زمانی که رطوبت خاک زیاد است، گیاه ممکن است آب را با بیشترین میزان تعریق از دست بدهد. با خشک شدن خاک، استخراج آب مورد نیاز گیاه برای تأمین تقاضای جوی دشوارتر می‌شود و تعریق کاهش می‌یابد، در نتیجه، دمای برگ این گیاهان در مقایسه با آنهایی که قادر به تأمین آب فراوان‌اند، بالاتر می‌رود.

جدول 2. مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده مدل

واقعی	برآزش داده شده	واقعی	برآزش داده شده
9/1	9/2	6/2	5/9
11	9/8	11/1	10/1
8/3	9/8	9/2	8/8
11/2	10/7	11/3	8/6
6/2	9/8	12/2	10/3
8/2	9/7	11/4	11/2
10/1	9/1	10/4	10/4
10/2	9/8	8	9/2
9/4	9/8	12/1	8/3
14	8/5	8/3	10/1
14/1	8/8	11/9	10/4
7/3	9/6	11/8	9/6
6/2	6/3	4/4	5/5
11	9/6	11/8	10/2
12/2	12/4	12/6	10/3
9/3	12/1	6/2	9/2
8/5	8/6	9/2	8/8
8/8	10/2	11/8	19/6
8/3	10/1	12/1	11/1



شکل 6. توزیع ظرفیت آب قابل دسترس در خاک منطقه هشتگرد، حوزه هیو

#### 4- نتیجه گیری و پیشنهاد

با توجه به نبود شبکه منسجم رطوبت سنجی خاک در کشور، به ویژه در مناطق کوهستانی، استفاده از مدل ترکیبی NDVI و LST از داده های لندست ممکن است روشی نو و کارآمد به منظور آگاهی از ظرفیت آب قابل دسترس در خاک در نظر گرفته شود. مدل ترکیبی شاخص نرمال شده پوشش گیاهی و دمای سطحی زمین برای برآورد پارامتر مورد نظر، در منطقه کوهستانی هشتگرد، مدل پیشنهادی است. در انتها، می شود اظهار داشت چه بسا در مناطقی مانند مناطق کوهستانی ایران که پیشینه تاریخی رطوبتی ثبت نشده است، پایش رطوبت از طریق تصاویر ماهواره ای، به منظور بررسی روند تغییرات آب قابل دسترس خاک، جایگزین مناسبی برای نمونه برداری مستقیم رطوبت باشد. همچنین، از آنجاکه پژوهش حاضر در بخشی از منطقه کوهستانی کشور انجام شده است، پیشنهاد می شود روش مورد نظر و مدل پیشنهادی در دیگر مناطق کشور و نیز در حضور و نبود پوشش گیاهی ارزیابی شود، زیرا برآورد این پارامتر در شناخت و تحلیل مسائل کشاورزی و هیدرولوژیکی اهمیت بسزایی دارد.

#### 5- منابع

علوی پناه، س.ک.، 1382، کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک)، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.

میذر، پ.م.، 1377، پردازش کامپیوتری تصاویر سنجش از دور، ترجمه محمد نجفی دیسفانی، تهران، انتشارات سمت.

Brocca, L., Hasenauer, S., Lacava, T., Melone, F., Moramarco, T., Wagner, W., Dorigo, W., Matgen, P., Martínez-Fernández, J., Llorens, P., Latron, J., Martin, C. & Bittelli, M., 2011. **Soil Moisture Estimation through ASCAT and AMSR-E Sensors: An intercomparison and Validation Study Across Europe**, Remote Sensing of Environment J., Vol. 115, PP.3390-3408.

Carlson, T.N. & Ripley, D.A., 1997, **On the Relation between NDVI, Fractional Vegetation Cover, and Leaf Area Index**, Remote Sensing of Environment, Vol. 62, Issue 3, PP. 241- 252.

- Engman, E.T., 1990, **Progress in Microwave Remote Sensing of Soil Moisture**, Canadian Journal of Remote Sensing, Vol.16, No. 3, PP. 6-14.
- Henricksen, B.L. & Durking, J.W., 1986, **Growing Period and Drought Early Warning in African Using Satellite Data**, International Journal of Remote Sensing, Vol. 7, Issue 11, PP. 1583-1608.
- Jiménez-Muñoz, J.C. & Sobrino, J.A., 2003, **A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data**, Journal of Geophysical Research, Vol. 108, Issue D22, PP. 4688-4694.
- Karnieli, A., Agam, N., Pinker, R.T., Anderson, M., Imhoff, M.L., Gutman, G.G., Panov, N. & Goldberg, A., 2010, **Use of NDVI and Land Surface Temperature for Drought Assessment, Merits and Limitations**, J. Climate, Vol. 23, No. 3, PP. 618-633.
- Keshavarz, M.R., Vazifedoust, M. & Alizadeh, A., 2001, **Development of Soil Wetness Deficit Index (SWDI) Using MODIS Satellite Data**, Iranian Journal of Irrigation and Drainage, Vol. 4, No. 3, PP. 465-477.
- 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, Vol. 456, PP. 44-56.
- Mallick, K., Bhattacharya, B.K., & Patel, N.K., 2009, **Estimating Volumetric Surface Moisture Content for Cropped Soils Using a Soil Wetness Index Based on Surface Temperature and NDVI**, Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 149, No. 8, PP. 1327-1342.
- Marshall, G.S., 2005, **Drought Detection And Quantification Using Field-Based Spectral Measurements Of Vegetation In Semi-Arid Regions**, New Mexico Institute of Mining and Technology Department of Earth and Environmental Science.
- Mattia, F., Satalino, G., Pauwels, V.R.N. & Loew, A., 2008, **Soil Moisture Retrieval through a Merging of Multi-Temporal L-Band SAR Data and Hydrologic Modeling**, Hydrology and Earth System Sciences, Vol. 13, Issue 3, PP. 343-356.
- \_\_\_\_\_, 2009, **Soil Moisture Retrieval through a Merging of Multi-Temporal L-Band SAR Data and Hydrologic Modeling**, Hydrology and Earth System Sciences, Vol. 13, issue 3, PP. 343-356.
- 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, Vol. 49, No. 3, PP. 246-263.
- Moran, M.S., Peters-Lidard, C.D., Watts, J.M. & McElroy, S., 2004, **Estimating Soil Moisture at the Watershed Scale with Satellite-Based Radar and Land Surface Models**, Can. J. Remote Sens, Vol 30, Issue 5, PP. 805-826.
- Nemani, R.R., Running, S.W., Pielke, R.A. & Chase, T.N., 1993, **Global Vegetation Cover Changes from Coarse Resolution Satellite Data**, Journal of Geophysical Research, Vol. 101, Issue D3, PP. 7157-7162.
- Ngie, A., Abutaleb, K., Ahmed, F., Taiwo, O.J., Darwish, A.A. & Ahmed, M., 2015, **An Estimation of Land Surface Temperatures from Landsat ETM+ images for Durban, South Africa**, GeoTechRwanda, Kigali, 18-20 November.
- Peters, A.J., Rundquist, D.C. & Wilhite, D.A., 1991, **Satellite Detection of the Geographic Core of the 1988 Nebraska Drought**, Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 57, PP. 1-3.
- Qin, Z., Karnieli, A. & Berliner, P., 2001, **A Mono-Window Algorithm for Retrieving Land Surface Temperature from Landsat TM Data and its Application to the Israel-Egypt Border Region**, International Journal of Remote Sensing, Vol. 22, Issue 18, PP. 3719-3746.

- Sandholt, I., Rasmussen, k. & Andersen, J., 2002, **A Simple Interpretation of the Surface Temperature/Vegetation Index Space for Assessment of Surface Moisture Status**, Remote sensing of Environment, Vol. 79, No. 2-3, PP. 213-224.
- Sanli, F.B., Kurucu, Y., Esetlili, M.T. & Abdikana, S., 2008, **Soil Moisture Estimation from RADARSAT-1, ASAR and PALSAR Data in Agricultural Fiels of Menemen Plain of Western Turkey**, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Part B7, Beijing.
- Simpson, J. J. and Still, J.R., 1998, **A Procedure for the Detection and Removal of Cloud Shadow from AVHRR Data over Land**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 36, No. 3, PP. 8880-897.
- Sobrino, J., Li, Z.L., Stoll, M.P. & Becker, F., 1996, **Multi-channel and multi-angle algorithms for estimating sea and land surface temperature with ASTER data**, International Journal of Remote Sensing, Vol. 17, No. 11, PP. 2089-2114.
- Stisen, S., Sandholt, I., Nørgaard, A., Fensholt, R. & Jensen, K.H., 2008, **Combining the Method with Thermal Inertia to Estimate Regional Evapotranspiration-Applied to MSG-SEVIRI Data in the Senegal River Basin**, Remote Sens. Environ., Vol. 112, Issue 3, 1242-1255.
- Tucker, C.J., 1996, **History of the Use of AVHRR Data for Land Applications**, In: G.D'Souza, A.S. Selward and J-P. Malin Greau, Editors, *Advances in use of NOAA AVHRR data for land applications*, Kluwer Academic publishers, pordrecht.
- Verstraeten, W.W., 2006, **Integration of Remotely Sensed Hydrological Data into an Ecosystem Carbon Flux Model**, PhD thesis, Katholieke University the Leuven.
- Walker, J.P., 1999, **Estimation Soil Moisture Profiles Dynamics from near Surface soil Moisture Measurements and Standard Meteorological**, data.ph. Dissertation the university of Newcastle, Australia.
- \_\_\_\_\_ & Houser, P.R., 2004, **Requirements of a Global near-Surface Soil Moisture Satellite Mission: Accuracy, Repeat Time, and Spatial Resolution**, Advances in Water Resources, Vol. 27, Issue 8, PP. 785-801.
- Wang, K.C., Li, Z.Q. & Cribb, M.M., 2006, **Estimation of Evaporative Fraction from a Combination of Day and Night Land Surface Temperatures and NDVI: A New Method to Determine Priestley-Taylor Parameter**, Remote Sens. Environ, Vol. 102, PP. 293-305.
- Weng, Q., Lu, D. & Schubring, J., 2004, **Estimation of Land Surface Temperature-Vegetation Abundance Relationship for Urban Heat Island Studies**, Remote Sensing Environ., Vol. 89, 4, PP. 467-483.
- Zhang, D., Tang, R., Zhao, W., Tang, B., Wu, H., Shao, K. & Li, Zh.L., 2014, **Surface Soil Water Content Estimation from Thermal Remote Sensing based on the Temporal Variation of Land Surface Temperature**, Remote Sensing, Vol. 6, No. 4, PP. 3170-3187.