

تخمین رطوبت لایه سطحی خاک اراضی مرتعی مناطق خشک و نیمه خشک با استفاده از شاخص دما و پوشش گیاهی (مطالعه موردی: استان خراسان)

حسین بابازاده^۱، الناز نوروزی اقدم^{۲*}، حسین عقیقی^۳، سید امیر شمس نیا^۴ و داوود خدادادی دهکردی^۵

۱- استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

۲* - نویسنده مسئول، مربی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه

پست الکترونیک: el_noroozi@yahoo.com

۳- کارشناس ارشد سازمان فضایی ایران

۴- مربی پژوهشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز

۵- مربی پژوهشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

تاریخ پذیرش: ۹۰/۰۲/۲۵

تاریخ دریافت: ۸۹/۰۶/۰۶

چکیده

رطوبت لایه سطحی خاک و تغییرات زمانی و مکانی آن از مهمترین متغیرهای محیطی است که به دلیل اندازه گیریهای دشوار، پرهزینه و وقت گیر میدانی، تاکنون به طور گسترده در مدل‌های اقلیمی استفاده نشده است. امروزه با پیشرفت روزافزون علم، جایگزینی فن‌آوریهای جدید برای مدیریت صحیح منابع محدود آب و خاک ضروری می‌باشد. هدف از این تحقیق بررسی کاربرد داده‌های سنجنده MODIS^۱ برای برآورد رطوبت لایه سطحی خاک اراضی مرتعی مناطق خشک و نیمه خشک، دارای پوشش گیاهی افمرال^۲، با استفاده از شاخص دما و پوشش گیاهی (TVX^۳) می‌باشد. برای تخمین رطوبت لایه سطحی خاک در این تحقیق از داده‌های میدانی رطوبت خاک و داده‌های هواشناسی سه ایستگاه مشهد، نیشابور و گل‌مکان در استان خراسان، در دوره آماری سالهای ۲۰۰۳-۲۰۰۵ استفاده شد. شاخص NDVI^۴، دمای درختسندگی^۵ باندهای ۳۱ و ۳۲ و دمای سطح زمین^۶ از تصاویر ماهواره‌ای MODIS استخراج شده و شیب رابطه TVX بین NDVI، دمای سطح زمین و همچنین مقادیر دمای درختسندگی محاسبه گردید. مدل‌های مختلفی برای بررسی ارتباط بین شیب رابطه TVX و مقادیر رطوبت خاک برازش داده شد. به طوری که نتایج حاصل از این تحقیق، همبستگی خوبی بین شیب رابطه TVX (NDVI و LST) و مقادیر رطوبت لایه سطحی خاک نشان داد.

واژه‌های کلیدی: رطوبت خاک، MODIS، مرتع، TVX، استان خراسان، LST.

- 1- MODerate resolution Imaging Spectroradiometer
- 2- Ephemeral
- 3- Temperature/Vegetation IndeX
- 4- Normalized Difference Vegetation Index
- 5- Brightness Temperature (BT)
- 6- Land Surface Temperature (LST)

مقدمه

رطوبت خاک، یکی از مهمترین متغیرهای خاک و از نوع متغیرهای زمانی و مکانی است. این عامل یکی از اجزاء مهم مدل‌های آب و هوایی، اکولوژیکی و هیدرولوژیکی محسوب می‌شود و تخمین دقیق آن برای مدل کردن این فرایندها ضروریست (Wagner *et al.*, 1998؛ Wang & Qu, 2009). اندازه‌گیری میدانی رطوبت خاک علاوه بر طولانی و پرهزینه بودن، نمی‌تواند تغییرات مکانی آن را در سطح حوضه‌ها به نحو مطلوب نشان دهد (Wilson & Western, 2003)، در حالی که داده‌های سنجنده‌های ماهواره‌ای به صورت پیوسته و در محدوده وسیع تری وجود دارند و مشخصات بهتری از پدیده‌های محیطی را در کل فضا در مقایسه با موقعیت‌های نقطه‌ای مثل ایستگاه‌های هواشناسی ارائه می‌دهند (Kogan, 2000؛ Unganai & Kogan, 1998؛ Legates, 2000). این قابلیت، همان‌طور که مطالعات دهه‌های اخیر نشان داده است، شاخصهای ماهواره‌ای را برای پایش رطوبت کارا می‌سازد. اگر اندازه‌گیریهای سنجنش از دور بتواند با رطوبت لایه سطحی خاک ارتباط برقرار کند، از این طریق می‌توان به تغییرات منطقه‌ای و محلی رطوبت لایه سطحی خاک پی برد.

امروزه بسیاری از متخصصان سنجنش از دور ترکیب داده‌های انعکاسی و حرارتی را برای بدست آوردن اطلاعات از پوشش گیاهی و پایش رطوبت خاک مفید می‌دانند (علوی‌پناه، ۱۳۸۲؛ نجفی دیسفانی، ۱۳۷۷). محققان تاکنون نتایج رضایت‌بخشی از روش شاخص TVX برای تخمین رطوبت لایه سطحی خاک بدست آورده‌اند. شاخص TVX، شاخصی ترکیبی است که از داده‌های انعکاسی، مادون قرمز نزدیک و حرارتی برای

تخمین عاملهای سطحی زمین مانند رطوبت خاک، دمای هوای سطحی و غیره استفاده می‌کند (Goward *et al.*, 1985؛ Price, 1990).

Goward *et al.*, (2000) برای تخمین شرایط رطوبت خاک سطحی در مزرعه تحقیقاتی^۱ HAPEX-Mobilhy در کشور فرانسه از شاخص TVX و مدل SSiB^۲ استفاده کردند. نتایج نشان داد که شاخص TVX قادر است تغییرات روزانه رطوبت خاک را تا عمق ۲ سانتی‌متری و تغییرات فصلی آن را تا عمق ۱۰ سانتی‌متری تخمین بزند. در تحقیق ذکر شده، شیب TVX به سرعت باد، مشخصات خاک و زبری سطحی حساس بوده و با تغییر این عاملها تغییر می‌کند.

Goetz (1997) نشان داد که شیب منحنی TVX در چمنزارهای کانزاس مرکزی، ۶۶ درصد تغییرات رطوبت خاک را در عمق کمتر از ۲ سانتی‌متر نشان می‌دهد. Goetz *et al.*, (1999) نیز در جهت انجام تحقیقات خود در راستای ابداع یک مدل بازده تولید^۳ (PEM) رطوبت خاک را با استفاده از شیب منحنی NDVI و SRT^۴ (دمای رادیومتریک) و توسط داده‌های ماهواره‌ای NOAA/AVHRR بدست آوردند. (Qin *et al.*, 2008) از همبستگی خطی بین رطوبت خاک، شاخص PDI^۵ و TVX بدست آمده از داده‌های سنجنده مودیس، برای تخمین وضعیت خشکسالی در شمال غربی چین استفاده نمودند.

- 1- Hydrological and Atmospheric Pilot Experiment- Modelisation du Bilan Hydrique
- 2- Simplified Simple Biosphere
- 3- Production Efficiency Model
- 4- Surface Radiometric Temperature
- 5- Perpendicular Drought Index

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از مراتع استان خراسان است. استان خراسان در شمال شرقی کشور بین ۵۵ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. اقلیم این استان متغیر و متنوع است، ولی به طور کلی جزء اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. به طور کلی دمای هوای استان از شمال‌غرب به جنوب‌شرق افزایش می‌یابد، حداکثر و حداقل مطلق دمای هوای استان به ترتیب ۵۰ و ۳۲- درجه سانتی‌گراد و متوسط بارش آن در حدود ۵۱ میلی‌متر می‌باشد. تنوع اقلیمی در استان خراسان و وسعت زیاد آن باعث تنوع زیادی در توزیع پوشش گیاهی منطقه شده است، گیاهان افمرال نیز در مراتع استان به فراوانی مشاهده می‌شود.

به دلیل محدودیت داده‌های رطوبت لایه سطحی خاک اندازه‌گیری شده، از داده‌های سه ایستگاه مشهد، گل‌مکان و نیشابور استفاده شد. نام و مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب در جدول (۱) آمده است. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه در بخش شمال‌شرقی کشور را نشان می‌دهد.

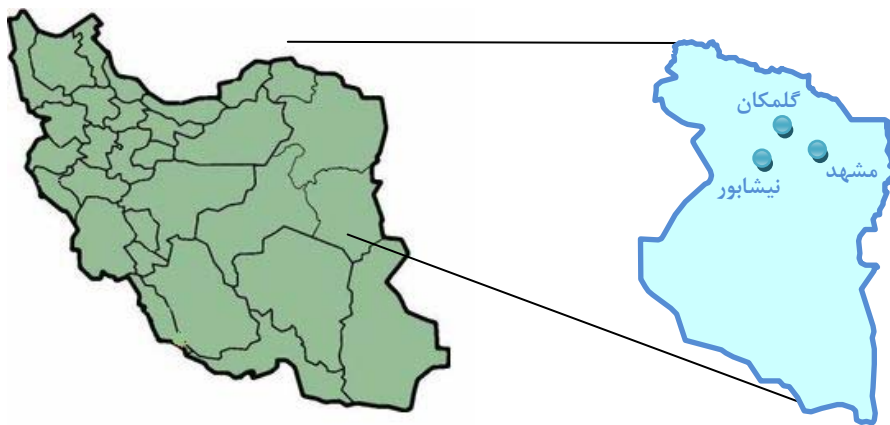
با توجه به اهمیت موضوع، (Ramirez et al., 2003)، (Shao et al., 2004)، (Jia et al., 2004) علوی‌پناه (۱۳۸۵) و محققان دیگری نیز به مطالعه ارتباط دمای سطح زمین با شاخص NDVI و نیز ارتباط این دو با رطوبت خاک پرداخته و به نتایج مطلوبی برای تخمین رطوبت لایه سطحی خاک رسیدند.

برای تخمین رطوبت خاک به وسیله شاخص TVX از شیب نمودار دمای سطحی و شاخص پوشش گیاهی (اغلب NDVI) بدست‌آمده از داده‌های ماهواره‌ای استفاده می‌شود. در این تحقیق، علاوه بر دمای سطحی از دمای درختسنگی باندهای ۳۱ و ۳۲ (BT₃₁, BT₃₂) مودیس، به طور جداگانه، برای کلیه تصاویر و ایستگاه‌های موجود، به منظور برآورد شیب رابطه TVX استفاده شد و همبستگی شیب نمودارهای بدست‌آمده با رطوبت خاک مورد بررسی قرار گرفت.

هدف از این تحقیق بررسی امکان برآورد رطوبت لایه سطحی خاک با استفاده از داده‌های باندهای مرئی، مادون قرمز نزدیک و حرارتی سنجنده مودیس در اراضی مرتعی مناطق خشک و نیمه‌خشک و ایجاد رابطه بین رطوبت خاک بدست‌آمده از عملیات میدانی با شیب رابطه TVX حاصل از تصاویر سنجنده مودیس است که می‌تواند به‌عنوان روشی کاربردی در مطالعات محیطی توسط محققان علوم مختلف مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۱- نام و مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب

ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه شرقی)	عرض جغرافیایی (درجه شمالی)	ارتفاع از سطح دریا (متر)
مشهد (M)	۵۹/۶۳	۳۶/۲۵	۹۹۰
گل‌مکان (G)	۵۹/۲۸	۳۶/۵۳	۱۱۷۶
نیشابور (N)	۵۸/۸	۳۶/۲	۱۳۵۰



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

- منابع داده‌ها

- داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده

در این تحقیق از داده‌های ماهواره‌ای مودیس استفاده شد، که علت استفاده از آن را می‌توان در دسترس بودن تصاویر برای محدوده مطالعاتی، قدرت تفکیک مکانی، رادیومتری، زمانی و طیفی مناسب آن و سوابق استفاده از این تصاویر در مطالعات مشابه ذکر کرد. تصاویر سنجنده مودیس برای روزهایی که آمار اندازه‌گیریهای رطوبت خاک آنها وجود داشت، از سازمان فضایی ایران تهیه شد. با توجه به دوره رویش حداکثر پوشش گیاهی، دوره ۵ ماهه از فروردین تا مرداد برای بررسی انتخاب شد. این انتخاب در کاهش حجم عملیات و افزایش دقت، تأثیر بسزایی داشت. پس از حذف تصاویر ابرناک و مشکل‌دار، نهایتاً ۲۳ تصویر برای بررسی انتخاب شد.

- داده‌های هواشناسی

برای تخمین دقیق‌تر رطوبت لایه سطحی خاک، علاوه بر شیب رابطه TVX از برخی داده‌های روزانه هواشناسی (تهیه شده از مرکز آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی

مقادیر واقعی رطوبت لایه سطحی خاک، دمای سطح زمین (LST) و شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) حاصل از تصاویر سنجنده مودیس و عامل‌های هواشناسی، امکان تجزیه و تحلیل داده‌ها را به منظور دستیابی به مدل‌های برآورد رطوبت لایه سطحی خاک (SMC^1) با کمک رگرسیون‌های ساده و چندمتغیره خطی فراهم نمودند. ۷۵ درصد از داده‌ها برای تدوین و ۲۵ درصد از آنها برای ارزیابی مدل‌ها استفاده شد.

- رطوبت خاک

داده‌های رطوبت لایه سطحی خاک (۱۰-۰ سانتی‌متر) سه ایستگاه مشهد، گلستان و نیشابور در سه سال آماری ۲۰۰۳، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵، که تقریباً هر ۵ روز یکبار به روش وزنی- حرارتی اندازه‌گیری شده و در بخش آمار و اطلاعات اداره کل هواشناسی استان خراسان رضوی موجود بود، به‌عنوان داده‌های مرجع در این تحقیق استفاده شد.

1- Soil Moisture Content

- شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) -
NDVI متداولترین شاخص پوشش گیاهی است که از تقسیم اختلاف مقادیر باندهای قرمز (Red) و مادون قرمز نزدیک (NIR) بر مجموع آنها بدست می‌آید:

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

این شاخص برای تمامی پیکسل‌های تصویر با توجه به رابطه بالا و با استفاده از باندهای ۱ و ۲ سنجنده مودیس، محاسبه شد.

- دمای سطح زمین (LST) و دمای درخشندگی باندهای ۳۱ و ۳۲ (BT₃₂, BT₃₁)

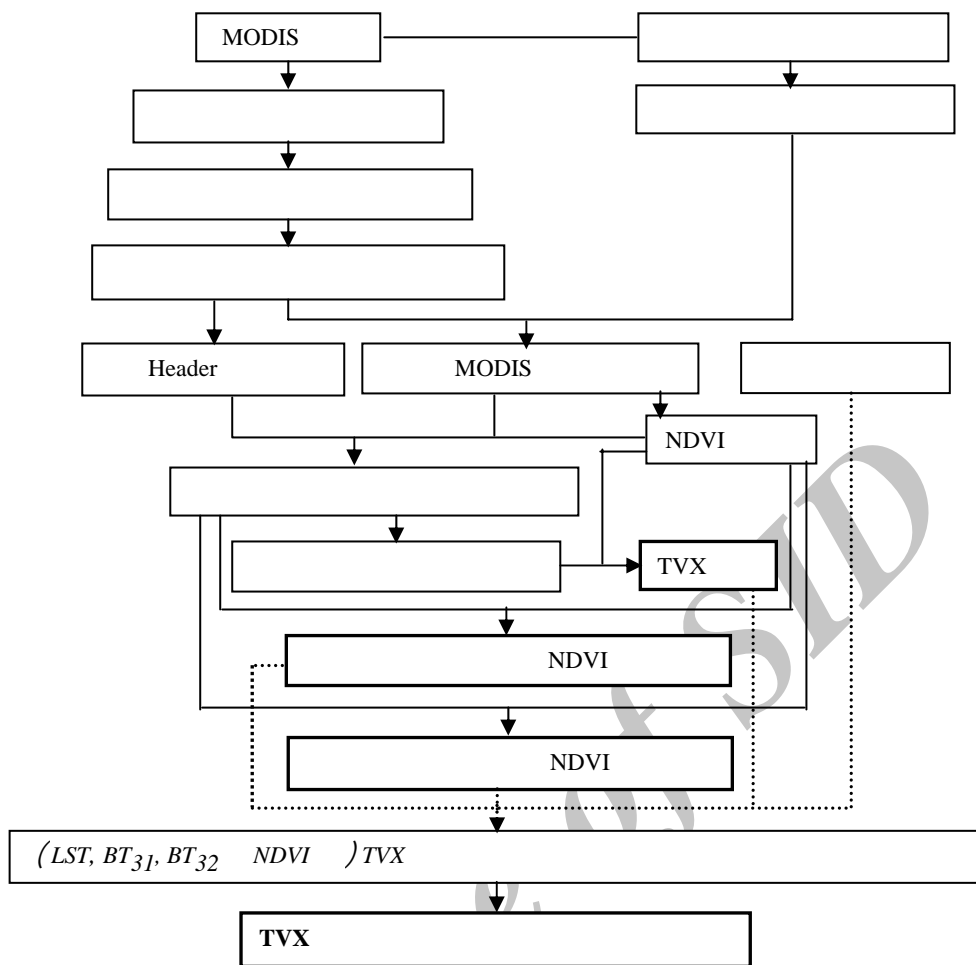
الگوریتم‌های محدودی برای بدست آوردن درجه حرارت از تصاویر ماهواره‌ای مودیس ارائه شده است که در برخی از آنها تنها از یک باند حرارتی و در برخی دیگر از دو یا چند باند حرارتی استفاده شده است. در اینجا به دلیل نتایج قابل قبولی که در کشور از الگوریتم دو بانده مورد استفاده در الگوریتم سبال (SEBAL¹) بدست آمده است، از این الگوریتم برای بدست آوردن درجه حرارت استفاده شد.

کشور) شامل سرعت باد، دمای هوا، بارندگی و تبخیر نیز استفاده شد.

با توجه به مطالعات انجام شده و ارتباط نزدیکی که بین رشد و نمو گیاهان مرتعی و رطوبت خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک وجود دارد، به نظر می‌رسد بتوان از همبستگی بین دمای سطح زمین و شاخصهای معرف پوشش گیاهی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای جهت مطالعه رطوبت لایه سطحی خاک در این مناطق استفاده نمود.

آماده‌سازی داده‌های مودیس و روش انجام کار

در این پژوهش از روش TVX برای برآورد رطوبت سطحی خاک استفاده شد، که مراحل انجام کار در شکل (۲) آمده است. روش TVX از رابطه بین دمای سطحی و شاخص پوشش گیاهی برای تخمین رطوبت حجمی لایه سطحی خاک استفاده می‌کند. بدین منظور شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده، دمای روشنایی باندهای حرارتی ۳۱ و ۳۲ و دمای سطح زمین از تصاویر سنجنده مودیس استخراج شد و در نهایت شیب رابطه TVX (شیب نمودار همبستگی بین NDVI با عامل‌های LST، BT₃₁، BT₃₂) بدست آمد. برای بررسی شیب مذکور از تصاویر در تاریخهای مختلف استفاده گردید. بنابراین در هر تاریخ و هر ایستگاه در داخل پنجره ۳*۳ لحاظ شده (به مرکزیت ایستگاه مورد نظر)، LST، BT₃₁، BT₃₂ و NDVI محاسبه شده و در نهایت شیب رابطه TVX بدست آمد.



شکل ۲- مراحل استفاده از شاخص TVX برای تخمین رطوبت لایه سطحی خاک

عرض باندهای حرارتی سنجنده‌های ماهواره‌ای کمتر از آن است که بتواند معرف B در معادله فوق باشد. محدوده تابش استفاده شده در رابطه استفان-بولتزمن ۳ تا ۳۰۰ میکرومتر است، در حالی که محدوده باندهای حرارتی تصاویر ماهواره‌ای عموماً بین ۱۰/۵ تا ۱۲/۵ میکرومتر می‌باشد. بنابراین الگوریتم سبال از رابطه پلانک استفاده می‌کند (Morse et al., 2000):

$$B_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left[\exp\left(\frac{hc}{k\lambda T}\right) - 1 \right]} \quad (3)$$

قانون استفان-بولتزمن رابطه بین دما و تابش واحد سطح یک جسم سیاه در کل طیف الکترومغناطیسی را نشان می‌دهد (Morse et al., 2000):

$$B = \sigma T^4 \quad (2)$$

که B تابش جسم سیاه (W/m^2)، T دمای سطحی جسم سیاه (K) و σ ثابت بولتزمن است که معادل $5.67 \times 10^{-8} (W/m^2 / K^4)$ می‌باشد.

دستگاه SI واحد K_2 ، درجه کلونین و واحد K_1 ، $W/m^2/sr/\mu s$ می باشد.

رادیانس طیفی $(L\lambda)$ ، انرژی تابش طیفی در هر باند است که توسط ماهواره از بالای اتمسفر در واحد زاویه فضایی مشاهده می شود و برای تصاویر مودیس از رابطه زیر بدست می آید (Kumar Sen, 2004):

$$L_\lambda = scale_radiance(SI - offset_radiance) \quad (5)$$

که واحد آن بر حسب $W/m^2/\mu m/st$ می باشد. در فرمول فوق SI معادل درجات روشنایی تصویر است. مقادیر $scale_radiance$ و $offset_radiance$ برای باندهای ۳۱ و ۳۲ (باندهای حرارتی) در جدول (۲) ارائه شده است (Hongjie Xie, 2003).

جدول ۲- مقادیر $Scale_radiance$ و $Offset_radiance$ برای باندهای ۳۱ و ۳۲

Offset_radiance	Scale_radiance	Band
۱۵۷۷/۳۴	۰/۰۰۰۸۴۰۰۲۲	۳۱
۱۶۵۸/۲۲	۰/۰۰۰۷۲۹۶۹۸	۳۲

گردید. با معکوس سازی معادله (۴) روابط زیر برای ضرایب k_1 و k_2 بدست آمد:

$$k_1 = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \quad (6)$$

$$k_2 = \frac{hc}{k\lambda} \quad (7)$$

با استفاده از روابط (۶) و (۷) مقادیر زیر برای ضرایب k_1 و k_2 بدست آمد:

که $B\lambda$ شدت تابشی است که طول موج λ دارد h ثابت پلانک $6.626 \times 10^{-34} Js$ ، c سرعت نور $2.998 \times 10^8 m/s$ ، k ثابت بولتزمن $1.381 \times 10^{-23} J/K$ و T دمای سطحی جسم سیاه ($^{\circ}K$) می باشد. دمای سطحی از معکوس سازی معادله (۳) و با استفاده از ثابت پلانک اصلاح شده برای جسم غیرسیاه بدست می آید (Allen et al., 2002):

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} K_1}{R_c} + 1\right)} \quad (8)$$

که R_c تابش باند حرارتی تصحیح شده ϵ_{NB} ($W/m^2/sr/\mu s$) گسیلمندی سطحی باند کم عرض حرارتی و k_1 و k_2 ثوابت معادله هستند. در

در این مرحله با توجه به جنس مواد متشکله عوارض سطح زمین و با استفاده از معکوس رابطه پلانک برای هر پیکسل تصویر، یک عدد برای دمای درخشندگی بدست می آید که با دمای درخشندگی واقعی جسم تفاوت دارد. برای محاسبه دمای سطحی از باندهای ۳۱ و ۳۲ تصویر مودیس که محدوده طیفی $10/78$ تا $12/27$ میکرومتر را پوشش می دهند، استفاده شد. با استفاده از رابطه (۳) دمای درخشندگی باندهای ۳۱ و ۳۲ محاسبه

دمای سطح زمین براساس رابطه استفاده شده توسط Kumarsen (2004) به صورت زیر محاسبه گردید:

$$\text{برای باند ۳۱: } k_1 = ۷۳۰/۷ \text{ و } k_2 = ۱۳۰۶/۳$$

$$\text{برای باند ۳۲: } k_1 = ۴۷۵/۵ \text{ و } k_2 = ۱۱۹۸/۷$$

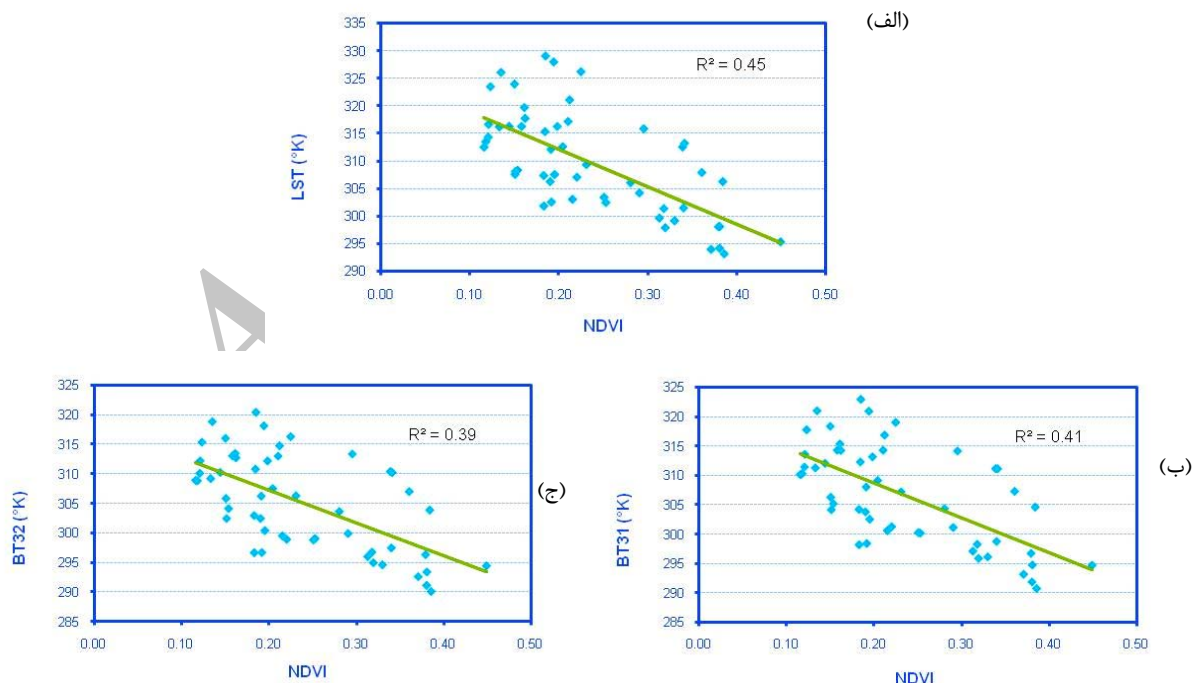
$$LST = 0.39BT_{(31)}^2 + 2.34BT_{(31)} - 0.78BT_{(31)}BT_{(32)} - 1.34BT_{(32)} + 0.39BT_{(32)}^2 + 0.56 \quad (۸)$$

تصویر (پنجره ۳×۳ که ایستگاه مورد نظر در مرکز این پنجره قرار دارد) استفاده گردید.

نتایج

این مطالعه از طریق ترکیب داده‌های انعکاسی با داده‌های حرارتی، رطوبت لایه سطحی خاک را با توجه به وضعیت پوشش گیاهی طبیعی منطقه انجام شده است. نتایج بدست‌آمده نشانگر موفقیت نسبی این روش در پیش‌بینی رطوبت لایه سطحی خاک با استفاده از شیب رابطه TVX در منطقه مورد مطالعه است.

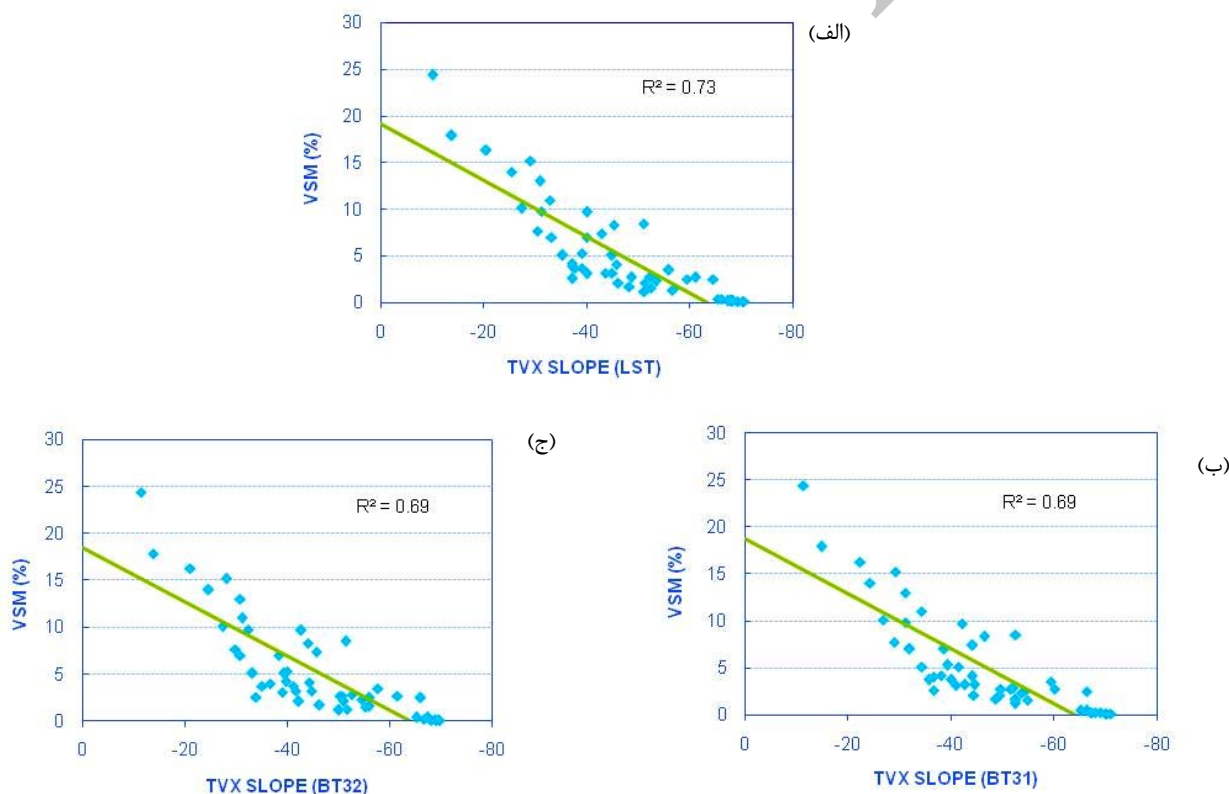
که در آن $BT_{(31)}$ دمای درخشندگی باند ۳۱ و $BT_{(32)}$ دمای درخشندگی باند ۳۲ بر حسب درجه کلونین می‌باشد. با استفاده از روابط و ضرایب ثابت ارائه شده، مدل BT_{31} ، BT_{32} و LST برای محاسبه دمای درخشندگی باندهای ۳۱، ۳۲ و درجه حرارت سطحی در قسمت Modeller نرم‌افزار Erdas Imagine نوشته شد. برای افزایش دقت برآورد شاخصهای ماهواره‌ای LST ، $NDVI$ ، BT_{31} و BT_{32} از مقادیر میانگین ۹ پیکسل



شکل ۳- رابطه (الف) دمای سطح زمین، (ب) دمای روشنایی باند ۳۱، (ج) دمای روشنایی باند ۳۲ و شاخص $NDVI$ (شیب رابطه TVX)

آزمونهای همبستگی به منظور تعیین ارتباط شیب رابطه TVX با داده‌های مشاهده شده رطوبت خاک بین آنها انجام شد. شکل (۴-الف) نمودار رگرسیونی شیب رابطه TVX حاصل از همبستگی LST و NDVI با رطوبت حجمی لایه سطحی خاک (VSM^1) را در طول دوره مطالعاتی نشان می‌دهد. همانطور که پیش‌تر اشاره شد در این تحقیق علاوه بر LST از دمای روشنایی باند ۳۱ و ۳۲ نیز برای تعیین شیب رابطه TVX استفاده شده است (شکل‌های ۴-ب و ۴-ج).

با توجه به عامل‌های مورد نیاز در محاسبه رطوبت خاک به روش TVX، شاخص پوشش گیاهی NDVI و عامل‌های LST، BT_{31} و BT_{32} از تصاویر سنجنده MODIS استخراج گردید و در ادامه اقدام به بررسی شیب رابطه TVX (شیب نمودار همبستگی بین LST، NDVI، BT_{31} و BT_{32}) شد. شکل (۳) شیب رابطه TVX را در سه حالت (رابطه NDVI با LST، BT_{31} و BT_{32}) نشان می‌دهد.



شکل ۴- نمودار شیب رابطه TVX (الف) LST-NDVI، (ب) BT_{31} -NDVI، (ج) BT_{32} -NDVI و رطوبت حجمی لایه سطحی خاک (VSM)

1- Volumetric Soil Moisture

نتایج و خصوصیات آماری مدل‌های برازش داده شده بین شیب رابطه TVX و رطوبت حجمی خاک (شکل ۴)) در جدول (۳) جمع‌آوری شده است. سه مدل رطوبتی ارائه شده نشان می‌دهد که شیب رابطه TVX از لحاظ آماری همبستگی منفی و معنی‌داری با رطوبت لایه سطحی خاک دارد (این بدان معنی است که افزایش شیب منفی رابطه

در مدل‌های بدست‌آمده، بمنزله کاهش رطوبت خاک می‌باشد). ضرایب همبستگی و میانگین مربعات خطا (MSE) در همه مدل‌ها تقریباً یکسان و یا نزدیک به هم است، ولی مدل بدست‌آمده از شیب نمودار NDVI و LST ضریب همبستگی (۰/۷۳) بالاتر و میانگین مربعات خطای (۲/۷۱) کمتری نسبت به دو مدل دیگر دارد.

جدول ۳- ضرایب همبستگی مدل‌های رطوبت لایه سطحی خاک حاصل از شیب رابطه TVX

	Equation	R ² -adj	RMSE
1	VSM=19.089+0.3 Slope-LST	.73	2.71
2	VSM=18.756+0.294 Slope-BT31	.68	2.97
3	VSM=18.446+0.289 Slope-BT32	.68	2.99

برای تخمین دقیق‌تر رطوبت لایه سطحی خاک، از برخی داده‌های روزانه هواشناسی شامل سرعت باد (Wind)، دمای هوا (Tem)، باران پیشین (Rain)، تبخیر تجمعی ۵ (Ev₅) و ۱۰ (Ev₁₀) روز قبل از اندازه‌گیری رطوبت خاک که هر یک به‌نحوی در تغییرات رطوبت لایه سطحی خاک منطقه مؤثر می‌باشند، استفاده شد. خلاصه مدل‌های بدست‌آمده در جدول (۴) ارائه شده است. همان‌طور که مدل‌های ارائه شده در جدول (۴) نشان می‌دهند با دخالت عامل‌های هواشناسی، مدل‌های بهتری برای تخمین رطوبت لایه سطحی خاک بدست‌آمد. در انتخاب مدل‌های برتر، جهت‌گزینش مدل مناسب از بین مدل‌های رگرسیونی دو متغیره و چندمتغیره، ضمن توجه به عامل‌های مؤثر در انتخاب مدل، به سهل‌الوصول بودن شاخص‌های مورد استفاده نیز باید توجه شود.

و استفاده از روش TVX، رطوبت خاک بدست‌آمده از مدل‌ها دقیق‌تر و نزدیک‌تر به واقعیت خواهد بود. لازم به ذکر است که برازش داده‌ها در این تحقیق به روش گام به گام انجام شد. برای متغیرهای مستقل حذف نشده در مدل، ضرایب رگرسیون ارائه و معنی‌دار بودن این ضرایب با آماره F در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ بررسی گردید. برای آزمایش مدل‌های تولید شده به روش گام به گام، آزمون t¹ در سطوح مختلف (حداکثر ۰/۰۵) انجام شد و فرض صفر در کلیه مدل‌های ارائه شده، پذیرفته شد (تأیید فرض صفر بدان معناست که تفاوت معنی‌داری بین مقادیر رطوبت خاک مشاهداتی و تخمینی وجود ندارد). در این تحقیق، برای تعیین وجود همراستایی چندگانه بین متغیرهای مستقل از عامل تورم واریانس^۲ (VIF) استفاده گردید، مقدار این آماره در هیچ یک از مدل‌ها در محدوده بحرانی قرار نگرفت و همراستایی بین متغیرهای مستقل موجود در مدل‌ها مشاهده نشد.

نوروزی اقدام و همکاران (۱۳۸۷) همبستگی معنی‌داری (با ضریب همبستگی ۰/۵۶) بین رطوبت لایه سطحی خاک و NDVI (حاصل از تصاویر سنجنده مودیس) تأخیری ۱۵ روزه بدست‌آوردند. مقایسه نتایج این دو بررسی نشان می‌دهد با دخالت شاخص‌های حرارتی

1- t-student

2- Variance Inflation Factor

جدول ۴- ضرایب همبستگی بدست آمده از شیب رابطه TVX، عاملهای هواشناسی و رطوبت لایه سطحی خاک

	Equation	R ² -adj	RMSE
1	VSM=22.268+0.255 Slope-LST-0.106 Ev ₅	.77	2.52
2	VSM =22.222+0.244 Slope-LST-0.059 Ev ₁₀	.79	2.45
3	VSM =18.398+0.299 Slope -LST+0.343 Rain	.74	2.68
4	VSM =22.619+0.27608 Slope-LST-0.208 Tem	.74	2.68
5	VSM =21.639+0.252 Slope-LST-0.11 Ev ₅ +0.365 Rain	.80	2.36
6	VSM =21.595+0.240 Slope-LST-0.062 Ev ₁₀ +0.377 Rain	.82	2.26
7	VSM =22.135+0.246 Slope-BT ₃₁ -0.112 Ev ₅	.74	2.69
8	VSM =22.062+0.235 Slope-BT ₃₁ -0.063 Ev ₁₀	.76	2.61
9	VSM =18.053+0.295 Slope-BT ₃₁ +0.405 Rain	.72	2.81
10	VSM =22.662+0.268 Slope-BT ₃₁ -0.228 Tem	.71	2.84
11	VSM =21.48+0.247 Slope-BT ₃₁ -0.115 Ev ₅ +0.419 Rain	.78	2.48
12	VSM =21.418+0.234 Slope-BT ₃₁ -0.065 Ev ₁₀ +0.428 Rain	.80	2.39
13	VSM =21.997+0.242 Slope-BT ₃₂ -0.115 Ev ₅	.74	2.68
14	VSM =21.9+0.23 Slope-BT ₃₂ -0.064 Ev ₁₀	.75	2.61
15	VSM =17.749+0.288 Slope-BT ₃₂ +0.356 Rain	.70	2.87
16	VSM =22.031+0.264 Slope-BT ₃₂ -0.211 Tem	.70	2.88
17	VSM =21.358+0.24 Slope-BT ₃₂ -0.119 Ev ₅ +0.38 Rain	.77	2.52
18	VSM =21.267+0.227 Slope-BT ₃₂ -0.066 Ev ₁₀ +0.39 Rain	.79	2.43

Wind: سرعت باد، Tem: دمای هوا، Rain: باران پیشین، Ev₅ و Ev₁₀: تبخیر تجمعی ۵ و ۱۰ روز قبل از اندازه گیری رطوبت خاک

بحث

بدست آمده از تصاویر مودیس و مقادیر واقعی رطوبت لایه سطحی خاک، امکان تجزیه و تحلیل داده ها به منظور دستیابی به مدل های برآورد رطوبت لایه سطحی خاک، با کمک رگرسیون های خطی ساده و چند متغیره فراهم شد. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان داد که شیب رابطه TVX همبستگی معنی داری با رطوبت لایه سطحی خاک دارد و می تواند تخمین خوبی از رطوبت لایه سطحی خاک در اراضی مرتعی مناطق خشک و نیمه خشک ارائه دهد.

تعیین رطوبت لایه سطحی خاک توسط تصاویر سنجنده مودیس از گام های نخستین برای شناسایی خصوصیات طبیعی و توان های ویژه منطقه مورد نظر و بهره برداری بهینه از امکانات آن، به طریق علمی می باشد. اطلاع دقیق از میزان رطوبت و نوسانهای روزانه آن، می تواند راهکارهایی مناسب در جهت تهیه نقشه های رطوبت لایه سطحی خاک، پیش بینی سیل، خشکسالی و سایر پدیده های اقلیمی با در اختیار داشتن تغییرات زمانی

روشهای اندازه گیری همواره با دگرگونی و پیشرفت همراه است و هر روز شاهد بهبود روشهای قبلی و جایگزینی فناوری و روشهای بدست آوردن داده ها و اطلاعات از پدیده های مختلف سطح زمین هستیم. منابع اطلاعاتی جدید و روشهای بهینه، در برآورد و اندازه گیری رطوبت لایه سطحی خاک نیز مؤثر بوده است. با استفاده از تصاویر مودیس و انجام مراحل مختلف پردازش و تصحیح داده ها، امکان استخراج شاخصهایی نظیر اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، درجه حرارت خاک (LST) و دمای درخشندگی (BT) با استفاده از باندهای حرارتی ۳۱ و ۳۲ فراهم گردید. به منظور تعیین رابطه هر یک از این شاخصها و همچنین ارزیابی دقت آنها، نیاز به داده های واقعی رطوبت خاک، همزمان با گذر ماهواره بود که این مهم با استفاده از داده های میدانی موجود در محدوده سه ایستگاه ذکر شده، انجام گردید. بدین ترتیب با استفاده از شاخصهای

- NDVI for the Arctic tundra in northern Alaska. *International Journal of Remote Sensing*, 25(9), 1547-1564.
- Kogan, F.N., 2000. Contribution of remote sensing to drought early warning In D.A. Wilhite, & D.A. Wood(Eds), Early warning systems for drought preparedness and drought management (PP. 75-87). Geneva: World Meteorological Organization.
 - Kumar Sen, P., 2004. Diagnosing Irrigation Water Resources with Multi Sensor Remote sensing and GIS Techniques (A case study of the Roxo Dam Irrigation System, Portugal). International Institute for Geo Information Science and Earth Observation Enschede, the Netherlands.
 - Legates, D.R., 2000. remote sensing hydroclimatology: An introduction. *The professional Geographer*, 52, 233-234.
 - Morse, A., Tasumi, M., Allen, R.G. and Kramber, W., 2000. Application of the SEBAL Methodology for Estimating Consumptive Use of Water and Stream Flow Depletion in the Bear River basin of Idaho through Remote Sensing, Final report, EOSDIS, Idaho Department of Water Resources and University of Idaho, pp. 107.
 - Price, J.C., 1990. Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, 28 (5), 940– 948.
 - Qin, Q., Ghulam, A., Zhu, L., Wang, L., Li, J. and Nan, P., 2008. Evaluation of MODIS derived perpendicular drought index for estimation of surface dryness over northwestern China, *International Journal of Remote Sensing*, 29: 1983 – 1995.
 - Ramirez, N.D., Vasquez R. and Cruzado, H., 2003. Estimation of Soil Moisture.
 - Shao, M., Park, J. and Yasuda, Y., 2004. Monitorin of land surface temperature change of the NorthEast region in china by MODIS data.
 - Unganai, L.S. and Kogan, F.N., 1998. Drought monitoring and corn yield estimation in southern Africa from AVHRR data. *Remot Sensing of Environment*, 63, 219-232.
 - Wang, L. and Qu, J., 2009. Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring: A review, *Frontiers of Earth Science in China*.
 - Wigneron, J.P., Schmugge, T., Chanzy, A., Calvet, J.C. and KERR, Y., 1998. Use of passive microwave remote sensing to monitor soil moisture a review. *Agronomie: Agriculture and Environment* 18:27-43.
 - Wilson, D. and Western, A.W., 2003. Spatial distribution of soil moisture over 6 and 30cm depth, Machurangi river catchment, New Zealand. *Journal of Hydrology*, 276: 254-274.
- و مکانی رطوبت خاک، مطالعات کشاورزی و منابع طبیعی، مدیریت مرتع و ... فراهم نماید.
- ### منابع مورد استفاده
- پوراصغر، ف.، ۱۳۸۲. بررسی توزیع دما در سطح دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس.
 - علوی پناه، س.ک.، ۱۳۸۲. کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک). مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
 - علوی پناه، س.ک.، ۱۳۸۵. سنجش از دور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین. مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
 - نجفی دیسفانی، م.، ۱۳۷۷. پردازش کامپیوتری تصاویر سنجش از دور. تألیف میدز، پل ام، انتشارات سمت.
 - نوروزی اقدم، ا.، بهبهانی، س.م.، رحیمی خوب، ع. و عقیقی، ح.، ۱۳۸۷. مدل رطوبتی لایه سطحی خاک با استفاده از شاخص NDVI در اراضی مرتعی مناطق خشک و نیمه‌خشک. *مجله علمی و پژوهشی محیط‌شناسی*، دوره ۳۴، شماره ۴.
 - Allen, R., Waters, R., Tasumi, M., Trezza, R. and Bastianssen, W., 2002. SEBAL, Surface Energy Balance Algorithms for Land Idaho Implementation, Advanced Training and Users Manual. Idaho, USA.
 - Goetz, S.J., 1997. Multi-sensor analysis of NDVI, surface temperature and biophysical variables at a mixed grassland site. *International Journal of Remote Sensing*, 18 (1), 71– 94.
 - Goetz, S.J., Prince, S.D., Goward, S.N., Thawley, M.M. and Small, J., 1999. Satellite remote sensing of primary production: an improved production efficiency modeling approach.
 - Goward, S.N., Cruickshanks, G.C. and Hope, A.S., 1985. Observed relation between thermal emissions and reflected spectral reflectance from a complex vegetated landscape. *Remote Sensing of Environment*, 18, 137– 146.
 - Goward, S.N., Xue, Y. and Czajkowski, K.P., 2000. Evaluating land surface moisture conditions from the remotely sensed temperature/vegetation index measurements An exploration with the simplified simple biosphere model. *Remote Sensing of Environment*, 79, 225– 242.
 - Hongjie Xie, 2003. Some MODIS products and pre-processing. *New Mexico Tech*.
 - Jia, G.J., Epstein, H.E. and Walker, D.A., 2004. Controls over intra-seasonal dynamics of AVHRR

Estimation of soil surface moisture in arid and semi arid rangelands using remotely sensed Temperature/Vegetation Index measurements (TVX) (Case Study: Khorasan Province)

Babazadeh, H.¹, Norouzi Aghdam, E.^{2*}, Aghighi, H.³, Shamsnia, S.A.⁴ and Khodadadi dehkordi, D.⁵

1- Assistant Professor, Department of Hydrology Engineering, Islamic Azad University, Science & Research Branch, Tehran, Iran.

2*- Corresponding Author, Research Instructor, Islamic Azad University, Urmia Branch, Urmia, Iran, Email:el_noroozi@yahoo.com

3-Senior Research Expert of Iranian Space Agency

4-Research Instructor, Department of Hydrology Engineering, Islamic Azad University, Shiraz Branch, Shiraz, Iran.

5- Research Instructor, Department of Hydrology Engineering, Islamic Azad University, Science & Research Branch, Tehran, Iran.

Received: 28.08.2010

Accepted: 15.05.2011

Abstract

Soil surface moisture and its spatial and temporal variability is one of the most important environmental variables. Due to the difficult, costly and time consuming measurements of field studies, this parameter has not been used widely in climate models. Nowadays, with the increasing development of science, adoption of new technologies for proper management of limited water and soil resources is necessary. The objective of this research was to analyze the application of MODIS images for estimating the soil surface moisture in arid and semiarid rangelands with ephemeral vegetation cover using TVX. Field data measurements of soil surface moisture and some daily meteorological parameters in three stations of Mashhad, Golmakan and Neyshaboor of Khorasan province were used for more accurate estimate of soil surface moisture from 2003 to 2005. NDVI, Brightness Temperature of the bands (BT₃₁, BT₃₂) and Land Surface Temperature (LST) were derived from MODIS images and TVX slope was calculated. Different regression models were fitted to assess the relationship between TVX slope and soil surface moisture. According to the results, soil surface moisture in arid and semiarid climate showed a good correlation with TVX slope.

Key words: Soil surface moisture, MODIS, Rangeland, TVX, Khorasan province, LST