

برآورد دمای سطح زمین و تأثیر پوشش گیاهی بر دمای سطح با استفاده از تصاویر مودیس (مطالعه موردی: حوزه توپسرکان)

حجت ابراهیمی

گروه جغرافیا، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاداسلامی، نجف آباد، ایران

امیر گندمکار^۱

گروه جغرافیا، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاداسلامی، نجف آباد، ایران

سید علی المدرسی

سید علی المدرسی، دانشیار سنجش از دور، دانشگاه آزاداسلامی واحد یزد، ایران

محمد حسین رامشت

استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۷/۱۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۴/۲۶

چکیده

بررسی عوارض زمینی اعم از پوشش گیاهی، منابع آبی، انواع کاربری‌ها و از جمله جنس و بافت خاک منطقه از جمله مواردی است که نیاز به داده‌هایی با دقت بالا دارد. دقت بالا و کیفیت داده‌ها می‌تواند ما را به نتایج دقیق‌تر بهتر برساند. در این راستا داده‌های دورسنجی ابزار بسیار مناسبی برای تشخیص و تعیین الگوها محسوب می‌گردد. الگوریتم توازن انرژی سطح زمین سبال الگوریتم نسبتاً جدیدی است که در اکثر نقاط دنیا برای برآورد تبخیر و تعرق و سایر شارهای گرمایی و همچنین دمای سطح مورد استفاده قرار گرفته و نتایج رضایت‌بخشی داشته است. به منظور برآورد دمای سطح در منطقه توپسرکان از توابع استان همدان با استفاده از الگوریتم سبال داده‌های سنجنده مودیس استفاده گردید. هدف اصلی در این تحقیق بررسی دقت روش دورسنجی در برآورد دمای سطح و معرفی مناسب‌ترین روش می‌باشد. بالاترین دما در منطقه ۳۱۵ درجه کلوین و حداقل دما ۲۸۷ درجه کلوین می‌باشد. ارتفاعات با توجه به داشتن گرادیان دما حداقل میزان دمایی را برخوردار هست. مناطقی که دارای پوشش گیاهی می‌باشد دمای متعادل‌تری در منطقه دارد.

واژگان کلیدی: دمای سطح زمین، الگوریتم سبال، مودیس، توپسرکان

مقدمه

دمای سطح زمین به‌عنوان نمایه‌ای از شدت گرما، یکی از عناصر اساسی شناخت آب‌وهواست. با توجه به دریافت نامنظم انرژی خورشیدی توسط زمین، دمای هوا در سطح زمین از تغییرات زیادی برخوردار است که به‌نوبه خود موجب تغییر در دیگر پارامترهای آب‌وهوا در چرخه هیدرولوژی می‌شود (علیزاده ۱۳۸۹). اطلاعات مربوط به دمای هوا از اساسی‌ترین نیازها برای تجزیه و تحلیل‌های هیدرولوژیکی است. با توجه به اینکه هرگونه گیاهی احتیاجات محیطی ویژه‌ای دارد، پراکنش گونه‌های گیاهی در محدوده‌های خاصی امکان‌پذیر است (مصدیقی ۱۹۹۹). در این بین دمای سطحی به‌عنوان یکی از ورودی‌های چرخه آب و تعیین‌کننده اقلیم یک منطقه در اراضی مرتعی از اهمیت خاصی برخوردار است. بررسی دمای سطحی و پراکنش محیطی آن در ارتباط با بررسی مراحل رشد گونه‌های گیاهی، توزیع مکانی جوامع گیاهی، دوره خشکی تبخیر و تعرق و میزان رطوبت در دسترس حائز اهمیت است. تغییرات دمایی در طول سال و کوتاه و یا طولانی بودن دوره رشد و اثر دوره یخبندان و نیز میزان دمای حداقل و تأثیر متقابل دما بر میزان رطوبت در دسترس عواملی است که می‌تواند در فرم رویشی گیاهان به‌صورت‌های گیاهان فصلی، گیاهان چند ساله علفی و نیز بوته‌ها و درختان مؤثر باشد. بر این اساس گیاهان فصلی و یک‌ساله حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات دمایی نشان می‌دهند. اثر مستقیم تغییرات دما، افزایش و یا کاهش میزان تبخیر و تعرق و در نتیجه تغییر در میزان رطوبت در دسترس گیاهان می‌باشد. اسکات و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی دمای سطح زمین و دمای هوا را با استفاده از تصاویر سنجنش‌ازدور برآورد کردند که در منطقه مورد مطالعه ارتباط بین دمای هوا و سطح زمین دارای همبستگی ۰.۹۰ می‌باشد. جی ژو همکاران (۲۰۱۴) در بررسی دمای سطح زمین را با استفاده از دو مدل الگوریتم ژنتیک و رگرسیون خطی با تصاویر مودیس برآورد کردند که نتایج نشان داد الگوریتم ژنتیک در اندازه‌گیری دمای سطح زمین نتایج بهتری را به ما نشان می‌دهد.

میرحاجی و سندگل (۲۰۰۶) در تحقیقی نشان دادند که زمان شروع و خاتمه رویش در سال‌های مختلف متفاوت بوده و این تغییرات تابع شرایط اقلیمی به‌ویژه دما و رطوبت خاک می‌باشد. کلیه گونه‌های مورد مطالعه در سال‌های خنک و تر دارای دوره فنولوژیکی طولانی‌تر از سال‌های گرم و خشک بودند. اما حرارت‌های تجمعی مورد نیاز کلیه مراحل فنولوژی گونه‌ها در سال‌های مختلف تقریباً یکسان محاسبه شد. بنابراین تعیین دقیق دمای سطح اراضی مرتعی از اهمیت زیادی برخوردار است. پای لنگ و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی ارتباط بین طبقات خاک و دمای سطح را و اثرات طبقه‌بندی‌ها در برآورد رطوبت خاک نشان دادند. مارسل اوربان (۲۰۱۳) دمای سطح زمین را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس و آستر برآورد کرده و داده‌های به‌دست‌آمده را با مقادیر دمای هوا اندازه‌گیری شده از طریق ایستگاه‌های اقلیم‌شناسی در منطقه آرکتیک (شمال ۶۰ درجه) مقایسه نمودند. ایشان در این تحقیق نشان دادند که داده‌های مودیس دارای ارتباط بیشتری و همبستگی بیشتری با دمای هوای اندازه‌گیری شده دارد.

استفاده از داده‌های سنجنش‌ازدور برای برآورد دمای سطح زمین روش نسبتاً جدیدی به شمار می‌آید که هزینه‌های تخمین دما به روش کلاسیک را به‌طور چشمگیری کاهش می‌دهد. همچنین داده‌های سنجنش‌ازدور پارامترهای محاسباتی را به‌صورت توزیعی با توجه به قدرت تفکیک مکانی سنجنده مورد استفاده در اختیار کاربر قرار می‌دهد. بررسی پدیده‌های زمانی و مکانی که بتوان توسط آن‌ها روند تغییرات را در فرآیندهای زمینی آشکار نمود همواره از

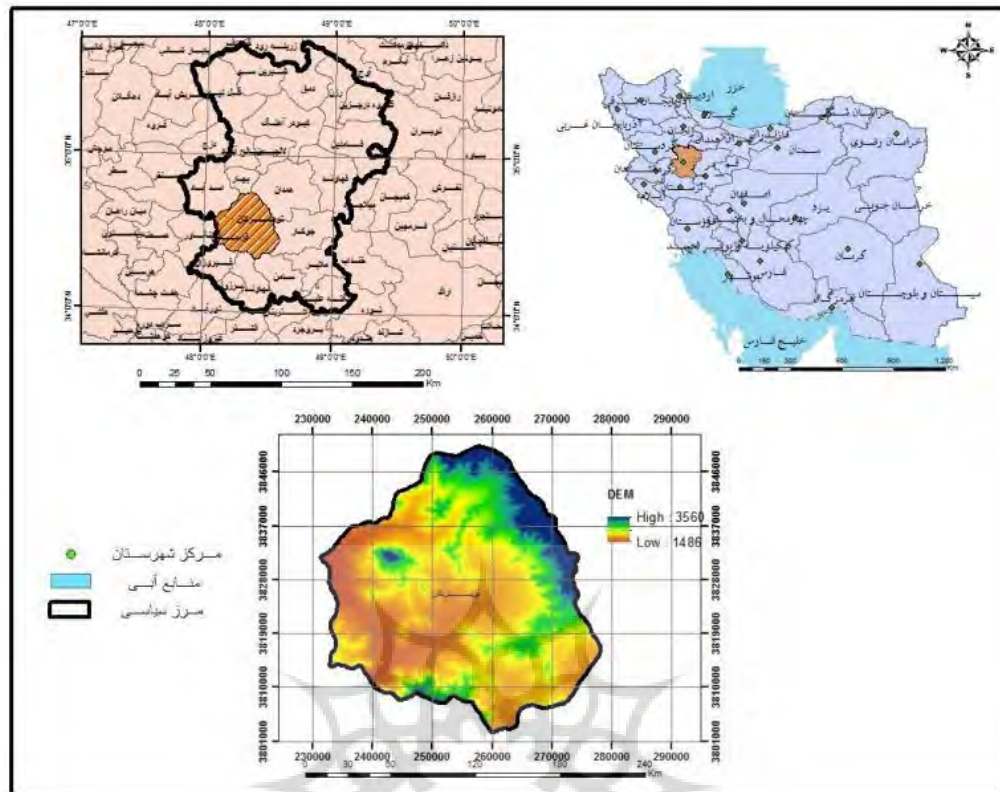
معضلات پیش روی بشر بوده است. از جمله این پدیده‌ها بیلان آب و اجزا آن می‌باشد که اهمیت آن در دنیای امروز مرتباً رو به فزونی است. در سال ۱۹۸۹ میلادی سنجش‌ازدور برای نخستین بار جهت تعیین تغییرات منابع آب در مصر توسط باستیانس و منه تی شروع گردید و سپس الگوریتم ارتباط زمین، خاک، پوشش گیاهی و آب در سطح زمین توسط باستیانس ارائه گردید. الگوریتم توازن انرژی سطح زمین (سبال) الگوریتم نسبتاً جدیدی است که در اکثر نقاط دنیا برای برآورد تبخیر و تعرق و سایر شارهای گرمایی در سطح مورد استفاده قرار گرفته و نتایج رضایت‌بخشی داشته است. سبال یک الگوریتم پردازش تصویر است که با استفاده از حداقل داده‌های زمینی تبخیر و تعرق را به صورت لحظه‌ای، ۲۴ ساعته و فصلی محاسبه می‌کند. اجسام با توجه به دما و خصوصیات فیزیکی خود انرژی تابشی گسیل می‌کنند. در حالت ایده آل جسم سیاه حداکثر انرژی تابشی را از خود تابش می‌کند. طبق قانون پلانک ۱ گسیل انرژی از جسم سیاه تابعی از دمای جسم، طول موج و سرعت نور در خلأ می‌باشد و کل انرژی گسیل یافته از جسم سیاه از قانون استفان و بولتزمن ۲ پیروی می‌کند (روت ۲۰۰۰). سبال فرآیند توازن انرژی را بر اساس میزان شارش گرما و بخار آب انتقال و، یافته در هر پیکسل محاسبه می‌کند باستیانس و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعه‌ای الگوریتم سبال را جهت برآورد تبخیر و تعرق در حوزه آبخیز یاکیما در ایالت واشنگتن مورد استفاده قرار دادند. احمد و دیگران در تحقیقی میزان آب مصرفی گیاهان را با استفاده از الگوریتم سبال در حوزه آبخیز کریشنا واقع در هند از تصاویر MODIS به دست آورده‌اند.

هدف در این تحقیق بررسی روش‌های تعیین دمای سطح بر اساس داده‌های دورسنجی در منطقه تویسرکان می‌باشد. پس از بررسی دقت برآورد دمای سطح با توجه به مشاهدات مناسب‌ترین روش ارائه و مورد بحث قرار می‌گیرد. با استفاده از روش‌های مذکور، استخراج پارامترهای اقلیمی با پراکنش مکانی در مطالعات اکولوژی مرتع تسهیل می‌گردد. الگوریتم ترازمندی انرژی سطح خشکی (SEBAL) تنها روشی است که می‌تواند متغیرهای معروفی نظیر دمای سطحی، ضریب سپیدایی و شاخص پوشش گیاهی را به صورت منطبق یا سازگار با محیط فراهم کرده و همچنین از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشد. اساس این روش استفاده از معادله ترازمندی انرژی و محاسبه مقدار شار گرمای نهان تبخیر لحظه‌ای به عنوان باقیمانده این معادله برای هر پیکسل (یاخته) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

۱- مشخصات منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوزه تویسرکان می‌باشد. در این حوزه یک ایستگاه سینوپتیک جهت ثبت داده‌های دمای سطح موجود است. داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده برای تعیین میزان دمای سطح مربوط به ماه می ۲۰۱۴ می‌باشد. که تصاویر خام منطقه از وبسایت مودیس دانلود گردید و پردازش‌های اولیه شامل زمین مرجع کردن تصاویر، حذف خط‌های نوارشدگی روی تصویر انجام گرفت.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه (ترسیم: نگارنده)

۲- برآورد دمای سطح با استفاده از الگوریتم سبال:

در حوزه‌های آبخیز دمای سطح بر اساس اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیک و اقلیم‌شناسی و نیز ایستگاه‌های تبخیر سنجی قابل‌اندازه‌گیری می‌باشد. با توجه به پراکنش اندک نقاط ایستگاه‌ها همواره تعیین دما در تمام نقاط حوزه مسئله‌ای دشوار و از دقت قابل قبولی برخوردار نیست. کاربرد داده‌های دورسنجی در استخراج اطلاعات اقلیمی از اقداماتی است که اخیراً مورد توجه محققین قرار گرفته است. اطلاعات حاصل از تصاویر ماهواره‌ای با توجه به پوشش مکانی آن در سطوح مختلف حوزه فقدان اطلاعات مکانی و عدم دقت در برآورد پارامترهای اقلیمی را برطرف می‌سازد. در این تحقیق دمای سطح به چند روش بر مبنای اطلاعات دورسنجی در منطقه تویسرکان محاسبه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

دمای سطح نتیجه تعادل وضعیت ترمودینامیکی است که توسط توازن انرژی مابین اتمسفر، سطح و لایه زیرسطحی خاک و اثر انرژی تابشی سطح به اتمسفر که قابلیت انتشار نامیده می‌شود و همچنین مربوط به ترکیب زبری سطح و پارامترهای فیزیکی سطح مانند میزان رطوبت کنترل می‌شود. بنابراین جهت برآورد دقیق و کمی از دمای سطح نیاز به اثرات مجزای دما و تشعشع در رادپانس رسیده به سنجنده می‌باشد. امواج رسیده به سنجنده که در اندازه‌گیری‌های هوایی و فضایی قابل دستیابی است معمولاً دمای درخشندگی نامیده می‌شود. قبل از اینکه دمای درخشندگی مورد استفاده قرار گیرد باید به تابش امواج از سطح زمین واسنجی شود. برای برآورد دمای سطح از تصاویر مودیس و ماهواره ترا استفاده گردید.

جدول شماره ۱: مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده (وبسایت مودیس)

ماهواره	سنجنده	تاریخ تصویربرداری	ساعت تصویربرداری
TERRA	MODIS	۸ می ۲۰۱۴	۸:۳۰

۳- الگوریتم توازن انرژی سطح (Surface Energy Balance Algorithm):

این روش اولین بار به منظور برآورد تبخیر و تعرق در مناطق هموار و نواحی کشاورزی ارائه شده (باتسیاتسن و همکاران ۱۹۹۸) اما در نسخه‌ای که در سال ۲۰۰۲ توسط آلن و همکاران ارائه گردید تصحیحات لازم جهت کاربرد سبیل در مناطق هموار و کوهستانی نیز به روش اضافه شد. لذا در این تحقیق به منظور حصول توزیع مکانی تبخیر و تعرق و همچنین برآورد دمای سطح، ارتباط بین جنس خاک و دما، دما و توپوگرافی در منطقه مورد مطالعه از روش سبیل ویژه مناطق ناهموار و کوهستانی استفاده شده است.

به منظور برآورد دمای سطح زمین نیاز است تا ابتدا تصحیحات لازم از جمله تصحیحات هندسی و اتمسفری بر روی تصویر اعمال شود. مدل سبیل مقدار تبخیر و تعرق واقعی را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و حداقل داده‌های زمینی مورد نیاز و بر اساس معادله توازن انرژی محاسبه می‌کند. از آنجا که تصاویر ماهواره‌ای تنها می‌توانند اطلاعاتی در زمان گذر ماهواره ارائه دهند لذا سبیل می‌تواند مقدار شار تبخیر و تعرق لحظه‌ای را در زمان تصویر برآورد نماید. شار تبخیر و تعرق برای هر پیکسل تصویر، به صورت باقیمانده معادله توازن انرژی سطح محاسبه می‌شود.

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad \text{رابطه (۱)}$$

در معادله فوق λE شار گرمای نهان R_n (W/m²) شار تابش خالص در سطح زمین (W/m²)، شار گرمای خاک (W/m²) و H شار گرمای محسوس (W/m²) می‌باشد.

برآورد دمای سطح در این الگوریتم بر اساس معادلات زیر انجام می‌گیرد:

۱- تشعشع طیفی (spectral radiance)

تشعشع طیفی باند با تشعشع طیفی حداکثر و تشعشع طیفی حداقل در هر باند (به جز باندهای حرارتی) محاسبه می‌شود.

۲- قابلیت انتشار (reflectivity)

با استفاده از دمای روشنایی بالای جو، \cos زاویه تابش خورشیدی و معکوس مربع فاصله خورشید تا زمین محاسبه می‌گردد.

۳- شاخص پوشش گیاهی (NDVI)

این شاخص با استفاده از قابلیت انتشار دو باند مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز محاسبه می‌شود. شاخص گیاهی تغییرات نرمال شده (NDVI¹). شاخصی جهت تعیین مقدار و تراکم پوشش گیاهی در سطح زمین است. رابطه تعیین NDVI در سنجنده AVHRR عبارتست از:

$$NDVI_{AVHRR} = \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\alpha_2 + \alpha_1} \quad \text{رابطه (۲)}$$

¹. Normalized Difference Vegetation Index

که در آن α_1 و α_2 بازتاب سطح زمین در کانال‌های ۱ و ۲ در سنجنده مودیس می‌باشد.

۴- شاخص خاک (SAVI)

شاخص تصحیح شده NDVI می‌باشد که اثرات خاک و رطوبت خاک را در سطح کاهش می‌دهد و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$SAVI = \frac{(1+L)(NIR-Red)}{(NIR+Red+L)}$$

رابطه (۳)

در این رابطه L فاکتور تصحیح اثرات خاک است که دامنه آن از صفر برای پوشش گیاهی متراکم تا ۱ برای پوشش گیاهی با تراکم کمتر متغیر می‌باشد. فاکتور L با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$L = 1 - 2 * a * NDVI * WVDI \quad (4)$$

رابطه (۵) $WVDI = NIR - YRed$

A و Y ضریب خاک می‌باشد که در واقع شیب خط برازش داده شده بر نمودار بازتاب طیفی باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز است. (یانگ و همکاران ۲۰۰۶)

۵- شاخص سطح برگ (LAI)

شاخص سطح برگ (LAI)، بیان‌کننده سطح برگ (فقط یک طرف) به سطح زمین اشغال شده توسط محصول است. LAI یک، مساوی یک واحد از مساحت سطح برگ در واحد سطح زمین است که به‌طور نظری می‌تواند تمام نور برخورد کرده به خود را دریافت نماید، ولی با توجه به شکل برگ، نازکی (نور عبور کرده)، زاویه و مقدار عمودی بودن برگ‌ها، به‌ندرت تمام نور را دریافت می‌کند.

$$LAI = \frac{\ln[a - \frac{SAVI}{b}]}{c}$$

رابطه (۶)

۶- دمای سطح (surface temperature)

طبق بررسی‌ها و تحقیقات انجام شده توسط سایر محققین در رابطه با برآورد دمای سطح زمین از بین ۵ الگوریتم برآورد دمای سطح، الگوریتم کول و کاسیلیس (۲۰۰۲) دارای نتایج بهتری نسبت به بقیه الگوریتم‌های پیشنهادی برآورد دمای سطح می‌باشد. بدین منظور در این تحقیق از الگوریتم مذکور استفاده گردید. به این ترتیب برای محاسبه ارتباط بین شاخص NDVI و LSI ارتباط رگرسیونی گرفته شد که نتیجه آن در فرمول زیر آورده شده است:

$$Lst \max = -3.712x + 313.3$$

$$Lst \min = 10.47x + 298.1$$

از آنجاکه اتمسفر در طول موج‌های مختلف، عکس‌العمل‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهد به منظور حذف اتمسفر از روش چند باندی یا روزانه مجزا به‌طور گسترده استفاده می‌شود. به دلیل وجود دو باند حرارتی نزدیک به هم (باندهای ۳۱ و ۳۲) در سنجنده مودیس می‌توان از این روش برای تصحیح تصاویر این سنجنده نیز استفاده نمود. جهت برآورد دمای سطح زمین نیاز است تا ابتدا دمای روشنایی برای باندهای حرارتی (باندهای ۳۱ و ۳۲) محاسبه

شود. دمای روشنایی، دمای متناظر با انرژی تابشی دریافتی از سطح یک پدیده توسط سنجنده است. این دما به علت پدیده پخش و جذب در اتمسفر کمتر از دما در سطح زمین می‌باشد. این مقدار از معکوس معادله پلانک. به صورت ذیل قابل محاسبه است (کو ۲۰۰۹):

$$T_{b-n} = \frac{C_2}{\lambda \ln \left(1 + \frac{C_1}{\lambda^5 L_{\lambda n}} \right)}$$

رابطه (۷)

که در این رابطه N شماره باند، Tb-n دمای روشنایی باند n (K)، Lλ تابش طیفی باند λ، میانگین طول موج باند مادون قرمز حرارتی است (μm)، n، C1=1.191066*108 و C2=1.438*104 می‌باشد. مقدار تابش طیفی هر باند (Lλ) با استفاده از معادله ذیل قابل محاسبه می‌باشد (منگ و همکاران ۲۰۰۸).

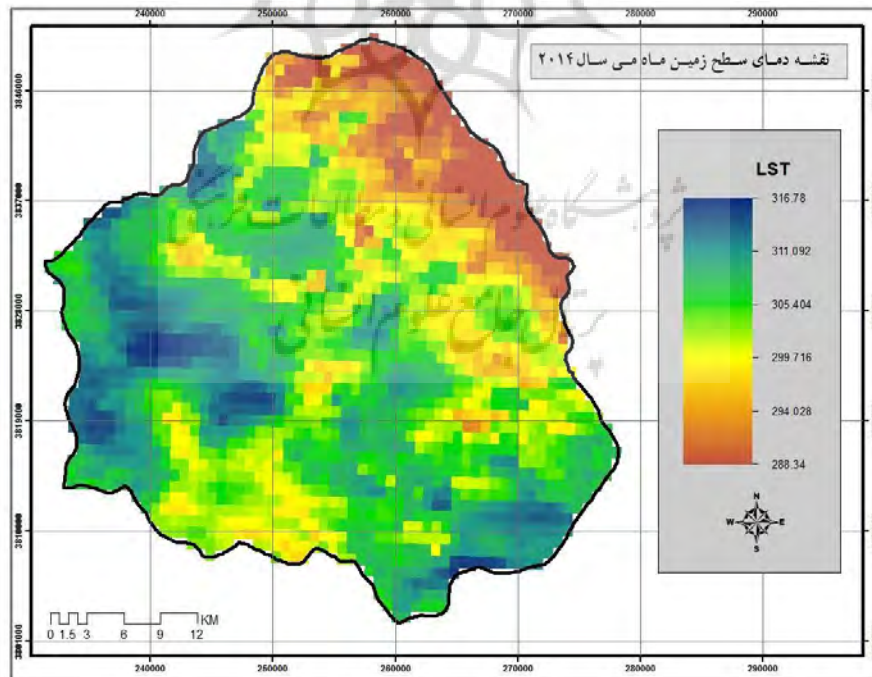
$$l_{\lambda} = \text{radiance scale}(\text{SI} - \text{radiance offset}) \quad (8)$$

مقادیر radiance-scale و radiance-offset با استفاده از فایل فراداده‌ای که همراه با تصاویر مختلف مودیس می‌باشد در نرم‌افزار متلب قائل استخراج می‌باشد. SI نیز مقدار خام تصویر می‌باشد. دمای سطح زمین با استفاده از رابطه (کول و کاسیلیس ۲۰۰۲) به صورت زیر محاسبه گردید:

$$LST = 0.39T_{31}^2 + 2.34T_{31} - 0.78T_{31}T_{32} - 1.34T_{32} + 0.39T_{32}^2 + 0.56$$

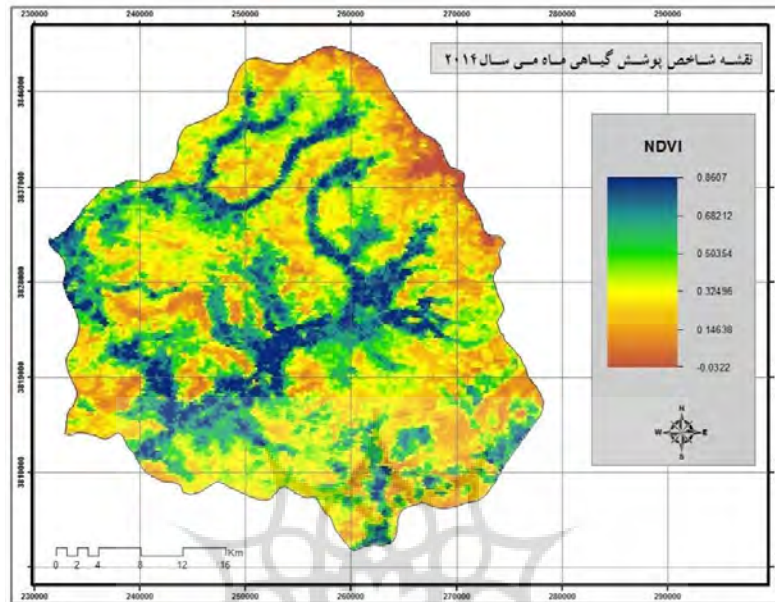
رابطه (۹)

در معادله بالا T دمای روشنایی باند ۳۱ و ۳۲ بر حسب کلوین می‌باشد.



شکل ۲: LST محاسبه شده با استفاده از الگوریتم سیال

در شکل ۲ حداکثر و حداقل دمای سطح در منطقه تویسرکان نشان داده شده است. بالاترین دما ۳۱۵ درجه کلون و حداقل دما ۲۸۷ درجه کلون می‌باشد. ارتفاعات با توجه به داشتن گرادیان دما حداقل میزان دمایی را برخوردار هست. مناطقی که دارای پوشش گیاهی می‌باشد (با توجه به شکل شماره ۳) دمای متعادل‌تری در منطقه دارد.



شکل ۳: نقشه توزیع مکانی NDVI منطقه تویسرکان

در شکل شماره ۳ نقشه توزیع مکانی شاخص پوشش گیاهی سطح ترسیم گردید با توجه به عدم اطلاعات کامل در زمینه پوشش گیاهی در منطقه و نقص اطلاعات در زمینه میزان سطح زیر کشت درختان بادام و گردو در منطقه تویسرکان میزان NDVI بالاتر از ۰.۵ به عنوان پوشش کامل و کمتر از ۰.۱ به عنوان خاک فاقد پوشش گیاهی در نظر گرفته شد. با توجه به شکل بالاترین مقدار NDVI ۰.۸ و کمترین مقدار آن ۰ می‌باشد. در این منطقه بیشترین پوشش سطح مربوط به باغات گردو بادام می‌باشد.

جدول شماره ۲: بررسی دمای سطح زمین با تأثیر پوشش گیاهی

سال	محصول مودیس	نوع باند	معیار	انحراف			دمای سطح با تأثیر پوشش سطح		
				مد	میانگین	حداقل دما	حداکثر دما	تعداد پیکسل	درصد پیکسل
A2014137	MOD11A2	LST	4.6327	307.28	285.7	320.42	40401	100	
A2014137	MOD11A2	LST+N DVI	3.2829	307.34	296.94	314.08	432	100	

منبع: یافته‌های پژوهش

نتایج و بحث

دمای سطح محاسبه شده با استفاده از الگوریتم سبال در شکل (۲) و هم چنین اثرات پوشش گیاهی بر دما در جدول شماره (۲) ارائه شده است. اراضی مرتعی و کشاورزی با توجه به دارا بودن پوشش گیاهی از انعکاس نور بازتابیده و همچنین شار گرما نسبت به اراضی بدون پوشش کمتری برخوردارند لذا جهت بررسی اثر پوشش گیاهی در کمتر نمودن شار گرما و در نهایت تلطیف هوا، جلوگیری از تبخیر و تعرق بالا بخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک که تبخیر از سطح خاک در اثر دما و گرمای محیط یک عامل مهم در به هم خوردن سیکل هیدرولوژیکی می‌باشد.

الگوریتم سبال در مطالعات گذشته جهت برآورد دمای سطح زمین در اراضی با پوشش گیاهی مختلف، تعیین میزان آب مصرفی گیاهان و نیز برآورد مقادیر تبخیر و تعرق توسط محققین مختلفی به کار گرفته شده است (باستیانسن و همکاران (۲۰۰۵)، احمد و همکاران (۲۰۰۶) و هرب و همکاران (۲۰۰۸)، امیدوار (۱۳۹۲) نوری (۱۳۸۹). در این تحقیق نیز الگوریتم مورد نظر در منطقه توپسرکان با تنوع انواع کاربری و پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گرفت. بر این اساس دمای اراضی دارای پوشش گیاهی بیشتر از اراضی بدون پوشش گیاهی بوده و از سوی دیگر اراضی مرتعی با توجه به دارا بودن پوشش گیاهی از انعکاس نور بازتابیده و همچنین شار گرما نسبت به اراضی بدون پوشش کمتری باشد. همچنین ارتفاعات نیز دارای دمای کمتری نسبت به مناطق دارای شاخص NDVI بالاتر از ۰.۵ می باشد.

منابع

- امیدوار، ج و همکاران برآورد تبخیر و تعرق واقعی مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از دو الگوریتم سبال و متریک، مجله علمی و پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال سوم شماره ۱۲، سال ۱۳۹۲
- علیزاده، امین، اصول هیدرولوژی کاربردی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۹
- نوری، س. برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر سنجنده مودیس در زیر حوضه آبریز مشهد. کنفرانس مدل‌سازی آب‌و‌خاک و گیاه، دانشگاه کرمان، ۱۳۸۹
- Ahmad, M.D., Biggs, T., Turrall, H., Scott, C.A., 2006. Application of SEBAL approach and MODIS time-series to map vegetation water use patterns in the data scarce Krishna river basin of India, *Journal of Water Science & Technology*, 53 (10): 83–90.
- Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A. and Holtslag, A.A.M., 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL), part 1: Formulation, *Journal of Hydrology*, 212–213, pp. 198–212.
- Bastiaanssen, W. G. M., Noordman, E. J. M., Pelgrum, H., Davids, G., Thoreson, B.P., Allen, R. G., 2005. SEBAL Model with Remotely Sensed Data to Improve Water-Resources Management under Actual Field Conditions, *Journal of irrigation and drainage engineering*, 131 (1): 85-93.
- Herb, W. R., Janke, B., Mohseni, O., Stefan, H. G., 2008. Ground surface temperature simulation for different land covers, *Journal of Hydrology*, 356, pp. 327–343.
- Leng, P.; Song, X.; Li, Z.-L.; Wang, Y. Evaluation of the Effects of Soil Layer Classification in the Common Land Model on Modeled Surface Variables and the Associated Land Surface Soil Moisture Retrieval Model. *Remote Sens.* 2013, 5, 5514-5529.
- Mesdaghi M., 1993. Management of Iranian's Rangelands, Astan_e_Ghods publications, 218 pp. Modis-land.gsfc.nasa.gov/
- Rott, H., 2000. Physical principles and technical aspects of remote sensing, In: Schultz, G.A. & Engman, E.T. (Eds.), *Remote sensing in hydrology and water management*, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, Germany, 15-39
- Sohrabinia, M.; Rack, W.; Zawar-Reza, P. Analysis of MODIS LST Compared with WRF Model and in situ Data over the Waimakariri River Basin, Canterbury, New Zealand. *Remote Sens.* 2012, 4, 3501-3527.
- Soliman, A.; Duguay, C.; Saunders, W.; Hachem, S. Pan-Arctic Land Surface Temperature from MODIS and AATSR: Product Development and Intercomparison. *Remote Sens.* 2012, 4, 3833-3856.
- Tasumi M., Trezza, R., Allen, R.G. and Wright, J.L., 2003. U.S. Validation tests on the SEBAL model for evapotranspiration via satellite. ICID Workshop on Remote Sensing of ET for Large Regions, Montpellier, France, 17 Sept. 2003.

- Urban, M.; Eberle, J.; Hüttich, C.; Schmullius, C.; Herold, M. Comparison of Satellite-Derived Land Surface Temperature and Air Temperature from Meteorological Stations on the Pan-Arctic Scale. *Remote Sens.* 2013, 5, 2348-2367.
- Wang, J., R. Kimura and W. Bastiaanssen. 2005. "Monitoring ET with remote sensing and the management of water resources on a basin scale". The 11th CERES International Symposium on Remote Sensing Japan.
- Williamson, S.N.; Hik, D.S.; Gamon, J.A.; Kavanaugh, J.L.; Flowers, G.E. Estimating Temperature Fields from MODIS Land Surface Temperature and Air Temperature Observations in a Sub-Arctic Alpine Environment. *Remote Sens.* 2014, 6, 946-963.
- Zhou, J.; Zhang, X.; Zhan, W.; Zhang, H. Land Surface Temperature Retrieval from MODIS Data by Integrating Regression Models and the Genetic Algorithm in an Arid Region. *Remote Sens.* 2014, 6, 5344-5367.

