

مدل‌سازی ارتباط دمای سطح زمین، شرایط توپوگرافی، و پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸

سعید حمزه* - استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
نعیم میجانی - دانشجوی کارشناسی ارشد گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
محمد کریمی فیروزجایی - دانشجوی دکتری گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۶/۱۵

چکیده

دمای سطح زمین در طیف وسیعی از مطالعات محیطی کاربرد دارد. عوامل مختلفی از جمله جنس مواد تشکیل‌دهنده سطح و شرایط توپوگرافی و محیطی در دمای سطح زمین تأثیرگذار است. شناخت ارتباط بین دمای سطح زمین با عوامل فوق از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در پژوهش حاضر، با استفاده از تصاویر حرارتی سنجنده TIRS و با به‌کارگیری الگوریتم پنجره مجزا، دمای سطح زمین محاسبه شد. سپس، ارتباط بین دمای سطح زمین با عوامل توپوگرافی از جمله ارتفاع، شیب، و جهت شیب و عامل پوشش گیاهی با استفاده از تحلیل‌های آماری بررسی و معنادار بودن روابط به‌دست‌آمده در سطح اطمینان ۹۵ درصد تحلیل شد. بر اساس نتایج پژوهش حاضر، ارتفاع با دمای سطح دارای ارتباط معکوس است. پارامترهای شیب و جهت شیب در مدل‌سازی دمای سطح تأثیرگذارند. در بررسی ارتباط سطح و شرایط توپوگرافی، با در نظر گرفتن هم‌زمان دو متغیر ارتفاع و شیب در جهت شیب‌های خاص، به‌عنوان متغیر مستقل، ارتباط قوی‌تر شده است. همچنین، با اضافه کردن پارامتر شاخص پوشش گیاهی به پارامترهای مستقل، ضریب تعیین ارتباط بالاتر رفته است. رابطه‌های به‌دست‌آمده در سطح معناداری ۹۵ درصد بررسی و آماره t حاصل‌شده برای ضرایب رابطه‌ها معنادار بودن ارتباط را تأیید کرده‌اند.

کلیدواژه‌ها: پوشش گیاهی، دمای سطح زمین، شرایط توپوگرافی، مدل‌سازی.

مقدمه

دمای سطح زمین (LST) تابعی از انرژی خالص در سطح زمین است که به مقدار انرژی رسیده به سطح زمین، گسیلندگی سطح، رطوبت، و جریان هوای اتمسفر، توپوگرافی، و شرایط اقلیمی منطقه بستگی دارد. LST را می‌توان از تابش مادون قرمز ساطع‌شده از سطح زمین و با معادله معکوس استفان-بولتزمن^۲ برآورد کرد (رات، ۲۰۰۰: ۵؛ سوپرینو و همکاران، ۱۹۹۱: ۲۱). برای تأمین داده‌ها در وسعت زیاد محدودیت‌ها، مشکلات، و موانع اطلاعاتی زیادی وجود دارد. داده‌های سنجش از دور با توجه به خصوصیات پوشش مکانی در سطح وسیع، پیوستگی در داده‌برداری برای تأمین داده‌ها، و اطلاعات مورد نیاز برای مطالعات محیطی بسیار مناسب‌اند. در سال‌های اخیر، با توسعه فناوری سنجش از دور، دمای سطح زمین برای یک منطقه وسیع با دقت بسیار زیادی قابل محاسبه شده است و استفاده از تشعشع فرسرخ حرارتی و مدل‌های فیزیکی ابزار مناسبی برای محاسبه مقدار دمای سطح در سطح وسیع محسوب می‌شود (رانینگ،

۱۹۹۴: ۳؛ سوبرینو و همکاران، ۲۰۱۶؛ کاتچی و همکاران، ۲۰۱۶). اجسام، بسته به دما و خصوصیات فیزیکی شان، از خود انرژی تابشی گسیل می کنند. جسم سیاه^۱ به صورت ایده آل حداکثر انرژی تابشی ممکن را به ازای دمای مشخص از خود گسیل می کند. LST، به معنای دمای سطح زمین در خشکی ها، یکی از پارامترهای مهم قابل اندازه گیری توسط سنجنده های^۲ سنجنش از دور است و اصولاً یکی از خروجی های سنجنش از دور حرارتی تهیه نقشه های LST از خشکی هاست. این شاخص اثرهای متفاوت اشیا را در گسیل انرژی الکترومغناطیس نشان می دهد و در کنار آن SST^۳، که دمای سطح دریاهاست، می تواند کاربرد فراگیری در حوزه های مدیریت اقلیم داشته باشد. برای محاسبه LST الگوریتم های مختلفی وجود دارد؛ از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- روش تک بانندی^۴ (کین و همکاران، ۲۰۰۱: ۳۷۲۶)
- روش پنجره مجزا^۵ (بکر و لی، ۱۹۹۰: ۳۸۹؛ جیمز و همکاران، ۲۰۱۴؛ یو و همکاران، ۲۰۱۴)
- روش تفکیک دما و قدرت تابندگی^۶ (ژیلپی و همکاران، ۱۹۹۸)
- و روش چندزاویه ای^۷ (سوبرینو و همکاران، ۱۹۹۶: ۲۱۱۱)

وضعیت پراکندگی تابش های حرارتی و ارتباط آن ها با انواع کاربری های موجود، شرایط توپوگرافی، و شرایط محیطی و اقلیمی اهمیت زیادی دارد. برای بررسی تأثیر شرایط توپوگرافی، کاربری اراضی، شرایط اقلیمی، و سایر پارامترهای مؤثر در دمای سطح نیازمند شاخص های کمی دما هستیم. در این زمینه تاکنون مطالعات بسیار محدودی انجام گرفته که در ادامه به آن ها اشاره می شود.

هرب و همکاران (۲۰۰۸) طی تحقیقی در سه منطقه مختلف آمریکا، LST در کاربری های مختلف را با استفاده از شار گرمایی استخراج کردند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تعیین دمای سطح خاک لخت از دقت کمتری نسبت به اراضی دارای پوشش گیاهی برخوردار است. تحقیقات وسیعی در زمینه پیدا کردن ارتباطی منطقی بین شاخص های پوشش گیاهی و LST انجام گرفته و در نهایت نشان داده شده است که ارتباطی منطقی بین شاخص اختلافاً نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)^۸ و LST وجود دارد (آگام و همکاران، ۲۰۰۷؛ کوستاس و همکاران، ۲۰۰۳). جیانگ و تیان (۲۰۱۰) در تحقیقی، با استفاده از شاخص های پوشش گیاهی، پوشش گیاهی را برای منطقه مورد مطالعه پژوهش خود استخراج کردند و اثرهای زیان بار تغییرات پوشش گیاهی بر روی LST را با استفاده از سه تصویر سنجنده TM9 و ETM+ ۱۰ بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که کاهش پوشش گیاهی عامل مؤثر و مهمی در افزایش LST است. درجه حرارت بالا در مناطقی با پوشش گیاهی پراکنده و درجه حرارت پایین در مناطقی با پوشش گیاهی متراکم توزیع شده است. پیترس و همکاران (۲۰۰۱) در تحقیقی برای ارزیابی وضعیت تبخیر و تعرق منطقه از خصوصیات فضای ویژگی بین دو پارامترهای LST و NDVI استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد که استفاده از مدل فضای ویژگی LST-NDVI برای این منظور در مناطق با توپوگرافی خشن پیچیدگی های خاصی دارد و نتایج از دقت لازم برخوردار نیست. به همین دلیل، باید دمای سطح

1. Black body
2. Sensor
3. Sea Surface Temperature (SST)
4. Mono-Window
5. Split-Window
6. Temperature and Emissivity Separation
7. Multi-angle
8. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

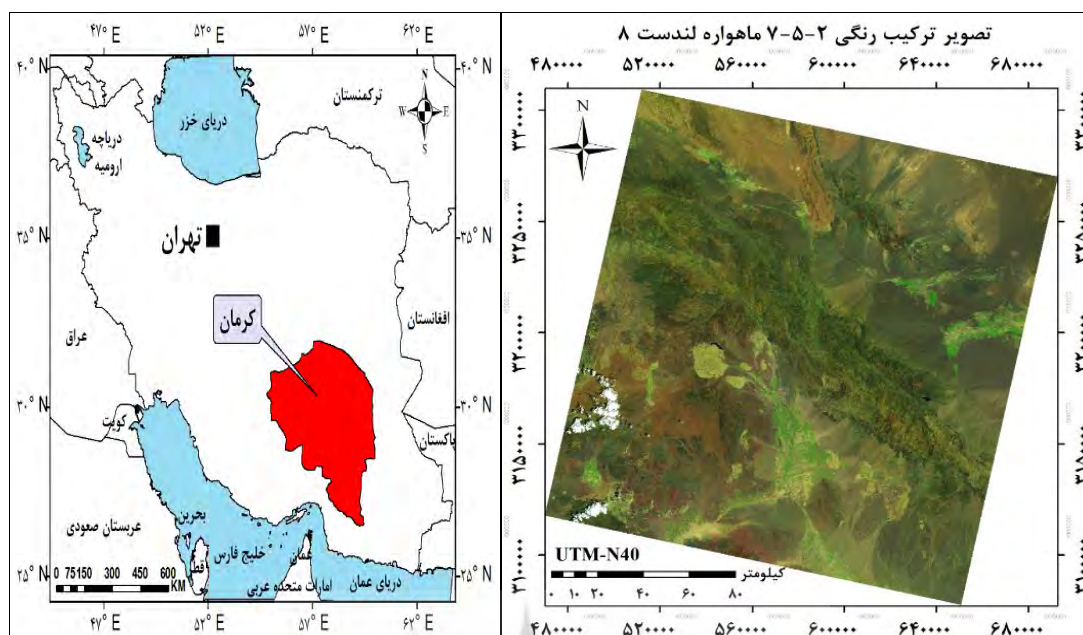
زمین به نسبت شرایط ارتفاعی منطقه نرمال شود. در این تحقیق، از مدل رگرسیونی خطی طبقه‌بندی‌شده برای بررسی ارتباط بین LST و ارتفاع منطقه استفاده شده است. جاین و همکاران (۲۰۰۸) در تحقیقی به بررسی تأثیر میزان کاهش دمای ناشی از ارتفاع در حوضه آبخیز ستلاچ پرداختند. آن‌ها در این پژوهش از داده‌های ماهواره‌های مادیس و نوا استفاده کردند. ارتفاع منطقه مورد مطالعه بین ۳۱۴-۶۸۹۹ متر متغیر بوده است. سطح منطقه مورد مطالعه به صورت کامل پوشیده از برف بوده است. بنابراین، میزان قدرت تابندگی با تغییرات مکانی ثابت بوده است. نتایج تحقیق نشان‌دهنده این است که ارتباط بین دمای سطح و ارتفاع ارتباط خطی معکوس است. بررسی ارتباط بین پارامترهای دمای سطح و ارتفاع برای تصاویر مادیس به نسبت تصاویر نوا همبستگی بیشتر و بالاتری را نشان می‌دهد؛ این نتیجه به قدرت تفکیک مکانی بهتر مادیس به نسبت نوا برمی‌گردد. همچنین، در این پژوهش نشان داده شده است که میزان همبستگی ارتباط بین LST و ارتفاع در ماه‌های مختلف سال متفاوت است. هی و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی به بررسی تأثیر عامل توپوگرافی ارتفاع بر LST پرداختند. نتایج حاصل از پژوهش نشان‌دهنده این بود که بین پارامترهای توپوگرافی و دمای سطح ارتباطی با همبستگی بالا وجود دارد. برای منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، ارتباط بین LST و ارتفاع ارتباط خطی معکوس بود. با توجه به مطالعات پیشین و تأثیر بسیار شرایط توپوگرافی و پوشش گیاهی بر دمای سطح، در بررسی و تجزیه و تحلیل پدیده‌های محیطی شناخت نوع و میزان ارتباط بین دمای سطح و شرایط توپوگرافی و پوشش گیاهی سطح از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است.

با توجه به اینکه به ندرت در مطالعات اخیر به ارتباط بین دمای سطح و شرایط توپوگرافی و پوشش گیاهی توجه شده است، هدف از این پژوهش بررسی تأثیر پارامترهای شاخص NDVI و عوامل توپوگرافی بر دمای سطح زمین و مدل‌سازی ارتباط دمای سطح زمین، شرایط توپوگرافی، و پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، شامل محدوده‌ای به مساحت تقریبی ۱۱۳۳۹/۵۲ کیلومتر مربع در عرض جغرافیایی ۳۰۷۶۴۸۵ تا ۳۳۰۹۹۱۵ متر شمالی و طول ۶۹۶۹۱۵ تا ۴۰۴۲۱۵۵ متر شرقی، در کشور ایران و استان کرمان واقع شده است. منطقه مورد مطالعه، به دلیل شرایط خاص محیطی و جغرافیایی، دارای توپوگرافی ناهمگن، اقلیم‌های متنوع، و کاربری‌های اراضی مختلفی است؛ به طوری که ارتفاع منطقه بین ۲۲۹ تا ۴۴۶۹ متر متغیر است و هم‌زمان دارای شش اقلیم فراخشک، خشک، نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای، نیمه‌مرطوب، و مرطوب است (سازمان جنگل‌ها و مراتع کل کشور). شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه ایران و تصویر ترکیب رنگی ۷-۵-۲ ماهواره لندست ۸

داده‌های تحقیق

در مطالعه حاضر از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸، مدل رقومی ارتفاعی (DEM)^۱ سنجنده^۲ SRTM، و محصول MOD07 در مطالعه حاضر از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸، مدل رقومی ارتفاعی (DEM)^۱ سنجنده^۲ SRTM، و محصول MOD07 سنجنده^۳ MODIS استفاده شده است. این لایه‌های اطلاعاتی زمین مرجع شده و در سیستم تصویر UTM^۴ در ناحیه^۵ S۴۰ قرار دارند. داده‌های یادشده از طریق سایت زمین‌شناسی امریکا^۵ به صورت رایگان تهیه شده است. به منظور ارزیابی صحت هندسی نقشه‌های حاضر، از نقشه^۵ توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ تهیه‌شده توسط سازمان نقشه‌برداری استفاده شده است. جدول ۱ خلاصه مشخصات داده‌های مورد استفاده در پژوهش را نشان می‌دهد.

جدول ۱. داده‌های مورد استفاده در پژوهش

| تاریخ (شمسی) | قدرت تفکیک مکانی / مقیاس | ماهواره (سنجنده) | نوع داده |
|--------------|--------------------------|------------------|-----------------------------|
| ۱۳۹۴/۵/۱۲ | ۳۰ متر | لندست ۸ | تصویر ماهواره‌ای |
| --- | ۳۰ متر | SRTM | DEM |
| ۱۳۹۴/۵/۱۲ | ۲۵۰ متر | MODIS | بخار آب |
| ۱۳۹۴ | ۱:۲۵۰۰۰ | --- | نقشه ^۵ توپوگرافی |

1. Digital Elevation Model (DEM)
2. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)
3. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)
4. Universal Transverse Mercator (UTM)
5. <http://www.usgs.gov>

روش تحقیق

قدرت تابندگی

برای محاسبه دمای سطح زمین، نخست باید قدرت تابندگی سطح زمین محاسبه شود. قدرت تابندگی توانایی تابندگی یک جسم واقعی نسبت به جسم سیاه در دمای یکسان است (لی و همکاران، ۲۰۱۳). برای محاسبه قدرت تابندگی سطح زمین از روش جیمز و سوپرینو (۲۰۰۳) استفاده شد. در این روش قدرت تابندگی سطح زمین با استفاده از برآورد بازتاب شاخص NDVI در باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک و کسر پوشش گیاهی (FVC) به دست می‌آید (سوپرینو و همکاران، ۲۰۰۸: ۳۱۸؛ یو و همکاران، ۲۰۱۴). شاخص NDVI از رابطه ۱ به دست می‌آید (توکر، ۱۹۷۹: ۱۲۸).

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (1)$$

ρ_{red} و ρ_{nir} به ترتیب بازتابندگی در باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز است. مقادیر این شاخص بین -۱ و +۱ است. کسر پوشش گیاهی با استفاده از NDVI محاسبه می‌شود.

$$FVC = \left(\frac{NDVI - NDVI_S}{NDVI_V - NDVI_S} \right)^2 \quad (2)$$

در این رابطه، $NDVI_V$ مربوط به پوشش گیاهی متراکم و $NDVI_S$ مربوط به خاک خشک است. با به دست آوردن کسر پوشش گیاهی قدرت تابندگی محاسبه می‌شود.

برای لندست ۸، از رابطه ۳ برای محاسبه قدرت تابندگی استفاده می‌شود (سوپرینو و همکاران، ۲۰۰۸: ۳۱۸؛ یو و همکاران، ۲۰۱۴):

$$\begin{aligned} \varepsilon &= a + b * \rho_{red} & FVC &= 0 \\ \varepsilon &= \varepsilon_s * (1 - FVC) + \varepsilon_v * FVC & 0 < FVC < 1 & \\ \varepsilon &= 0/99 & FVC &= 1 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} TIRS1 &= 0/979 - 0/046 * r_{OLIB4} \text{ and } TIRS2 = 0/982 - 0/027r_{OLIB4} \\ TIRS1 &= 0/971 * (1 - FVC) + 0/987 * FVC \text{ and } TIRS2 = 0/977 * (1 - FVC) + \\ & 0/989 * FVC \\ \text{Water} &= TIRS1(0/991) \text{ and } TIRS2(0/986) \\ \text{Snow/Ice} &= TIRS1(0/986) \text{ and } TIRS2 (0/959) \end{aligned}$$

در این رابطه، ρ_{red} بازتاب در باند قرمز، a و b ضریب تعیین خطی بازتاب باند، ε_s قدرت تابندگی خاک، و ε_v قدرت تابندگی پوشش گیاهی در طول موج مورد نظر است.

دمای سطح منطقه

برای محاسبه دمای تابشی از اطلاعات باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ سنجنده^۱ TIRS استفاده می‌شود. برای دستیابی به دمای تابشی، نخست باید مقدار رقومی (DN)^۲ هر پیکسل به کمک مقادیر صحت‌سنجی^۳ داده‌شده در فراداده^۴ تصویر به میزان انرژی طیفی ثبت‌شده^۵ تبدیل شود. محاسبه دمای تابشی در دو مرحله انجام می‌شود: نخست برای تبدیل مقدار رقومی هر پیکسل در تصاویر خام به میزان انرژی طیفی ثبت‌شده در سنجنده برای تصاویر سنجنده TIRS از رابطه^۴ استفاده می‌شود (بوری و همکاران، ۲۰۱۵: ۶۳).

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{CAL} + A_L \quad (4)$$

در این رابطه، L_{λ} میزان انرژی طیفی ثبت‌شده در سنجنده $[W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)]$ ، M_L ضریب تبدیل ضربی، Q_{CAL} ارزش رقومی پیکسل تصویر خام حرارتی، و A_L ضریب تبدیل تجمیع‌کننده است. مقادیر M_L و A_L برای باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ تصویر استفاده‌شده در این تحقیق به صورت جدول ۲ است.

جدول ۲. مقادیر M_L و A_L برای باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱

| باند | A_L | M_L |
|-------|-------|----------|
| ۱۰-۱۱ | ۰/۱ | ۰/۰۰۰۳۴۳ |

پس از تبدیل ارزش رقومی پیکسل به انرژی طیفی ثبت‌شده، از میزان انرژی طیفی ثبت‌شده به دست‌آمده از باندهای حرارتی، می‌توان دمای تابشی را از رابطه^۵ محاسبه کرد (دینگ و شی، ۲۰۱۳: ۵۵۰۸؛ جیانگ و تیان، ۲۰۱۰: ۵۷۲).

$$BT = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (5)$$

در رابطه فوق، BT دمای تابشی در سطح سنجنده بر حسب کلونین (K)، L_{λ} میزان انرژی طیفی ثبت‌شده در سنجنده بر حسب $(W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m))$ ، K_1 ضریب ثابت صحت‌سنجی اول بر حسب $(W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m))$ ، و K_2 ضریب ثابت صحت‌سنجی دوم بر حسب کلونین است. ضرایب K_1 و K_2 برای تصویر استفاده‌شده در این تحقیق بر اساس جدول ۳ است.

جدول ۳. ضرایب صحت‌سنجی (منبع: فراداده تصویر لندست ۸)

| لندست ۸ باند ۱۱ | لندست ۸ باند ۱۰ | ضرایب سنجنده |
|-----------------|-----------------|--------------|
| ۴۸۰/۸۸۸۳ | ۷۷۴/۸۸۵۳ | K_1 |
| ۱۲۰۱/۱۴۴۲ | ۱۳۲۱/۰۷۸۹ | K_2 |

برای به دست آوردن دمای سطح زمین از داده‌های حرارتی سنجنده TIRS از الگوریتم پنجره مجزا (رابطه ۶) استفاده شد (بکر و لی، ۱۹۹۰: ۳۸۹؛ سوپرینو، ۱۹۹۱: ۲۰؛ جیمز و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۸۴۱؛ روزنستین و همکاران، ۲۰۱۴: ۲۰) و همکاران، ۲۰۱۴: ۲۰۱۶؛ ساهانا و همکاران، ۲۰۱۶).

1. Thermal Infrared Sensor (TIRS)
2. Digital Number (DN)
3. Calibration
4. Meta Data
5. Radiance

$$LST = TB_{10} + C_1(TB_{10} - TB_{11}) + (TB_{10} - TB_{11})^2 + C_0 + (C_3 + C_4W)(1 - m) + (C_5 + C_6W)\Delta\varepsilon \quad (6)$$

در این رابطه، TB_{10} و TB_{11} دمای تابشی برای باندهای ۱۰ و ۱۱، m میانگین قدرت تابندگی از دو باند TIRS، W مقدار بخار آب اتمسفر (که از MOD07 سنجنده MODIS به دست آمده است)، $\Delta\varepsilon$ تفاضل قدرت تابندگی دو باند TIRS، و C_0 تا C_6 ضرایب الگوریتم پنجره مجزا که مقادیر آن در جدول ۴ آمده است (جیمز و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۸۴۲).

جدول ۴. مقادیر ضرایب مورد استفاده در الگوریتم پنجره مجزا

| ضرایب | C_0 | C_1 | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_6 |
|--------|--------|-------|-------|--------|--------|----------|--------|
| مقادیر | -۰٫۲۶۸ | ۱٫۳۷۸ | ۰٫۱۸۳ | ۵۴٫۳۰۰ | -۲٫۲۳۸ | -۱۲۹٫۲۰۰ | ۱۶٫۴۰۰ |

نحوه یافتن ارتباط دمای سطح با شرایط توپوگرافی و پوشش گیاهی

نقشه‌های شیب و جهت شیب با استفاده از DEM منطقه تهیه شد. سپس، نقشه شیب و DEM مربوط به منطقه طبقه‌بندی شد. لایه‌های وکتوری^۱ به رستر^۲ تبدیل شد و همه لایه‌های موجود از جمله نقشه دمای سطح زمین، نقشه شاخص NDVI، نقشه طبقه‌بندی شده ارتفاع منطقه، نقشه طبقه‌بندی شده شیب، و نقشه جهت شیب با یکدیگر ترکیب شد و از نقشه‌های موجود نمونه‌های آموزشی به صورت سیستماتیک تهیه شد. نمونه‌های آموزشی به گونه‌ای انتخاب شدند که طبقات مختلف ارتفاع، جهت شیب، و شرایط پوشش گیاهی متنوع را شامل شوند. قبل از مرحله نمونه‌برداری برای هم‌مقیاس کردن پارامترهای مختلف و بررسی دقیق‌تر ارتباط همه نقشه‌های دمای سطح، پوشش گیاهی، ارتفاع، و شیب بین صفر تا ۱ نرمال شدند. نخست ارتباط بین دمای سطح و ارتفاع در طبقات ارتفاعی، شیب‌ها، و جهت شیب‌های مختلف بررسی شد. سپس، ارتباط بین دما با پارامترهای ارتفاع، شیب، و NDVI در جهت شیب‌های مختلف به صورت ترکیبی ارزیابی شد. ذکر این نکته لازم است که برای بررسی ارتباط بین دمای سطح و شاخص NDVI نقاط نمونه‌ای که دارای مقادیر منفی NDVI بودند حذف شدند. رابطه‌های به دست آمده از طریق ضریب تبیین تحلیل شد و معنادار بودن رابطه، ضرایب هر یک از متغیرها، و ضریب تعیین ارتباط از نظر آماری با استفاده از آماره t و پارامتر $prob$ در سطح اطمینان ۹۵ درصد بررسی شد.

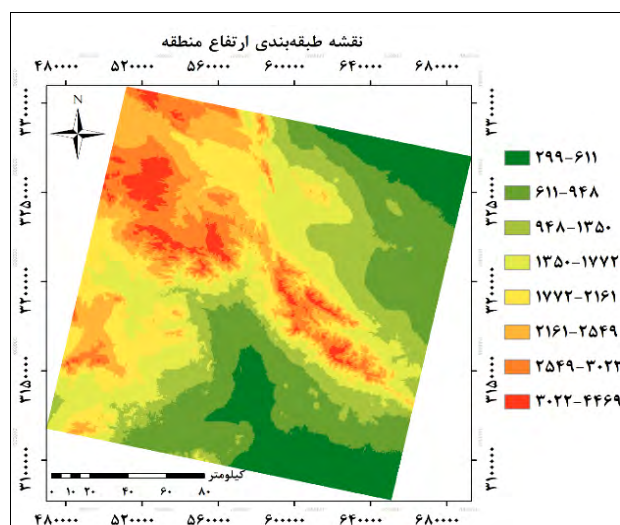
یافته‌های پژوهش

شرایط توپوگرافی منطقه

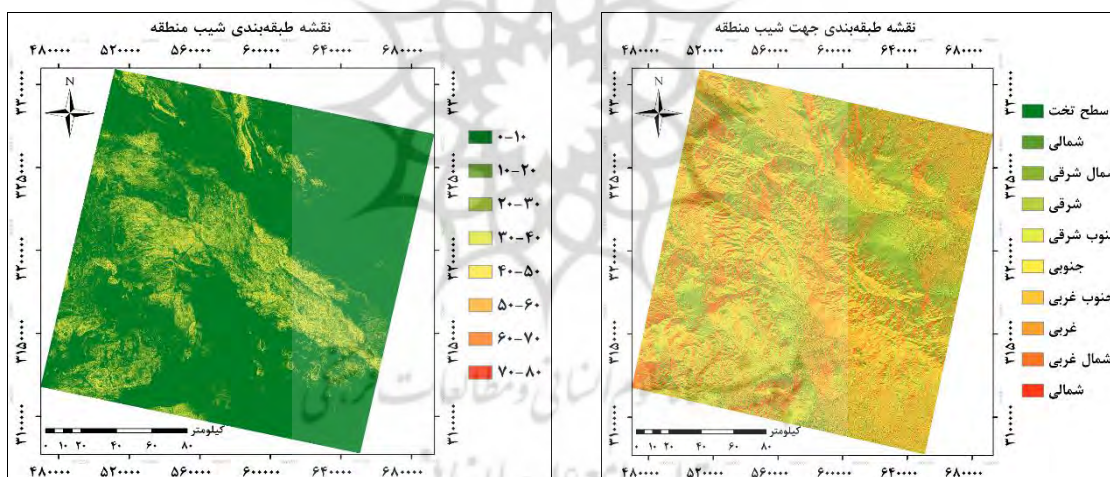
برای بررسی ارتباط دمای سطح با شرایط توپوگرافی از DEM منطقه استفاده شده است. شکل ۲ نقشه طبقه‌بندی شده ارتفاع منطقه را نشان می‌دهد.

توپوگرافی تحت تأثیر سه پارامتر مهم ارتفاع، شیب، و جهت شیب قرار دارد؛ هر پارامتر به صورت مجزا در میزان دمای سطح اثر می‌گذارد. در شکل ۳ نقشه طبقه‌بندی شده شیب و جهت شیب حاصل از DEM منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

1. Vector
2. Raster



شکل ۲. نقشه‌های طبقه‌بندی شده ارتفاع (متر)

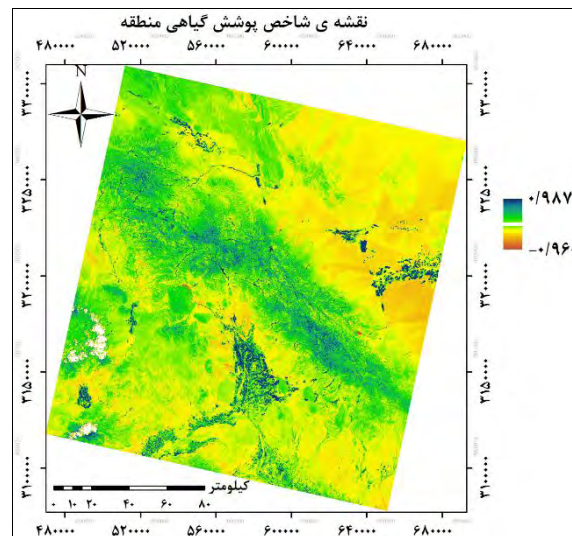


شکل ۳. نقشه‌های طبقه‌بندی شده شیب (درجه) و جهت شیب

دمای سطح منطقه

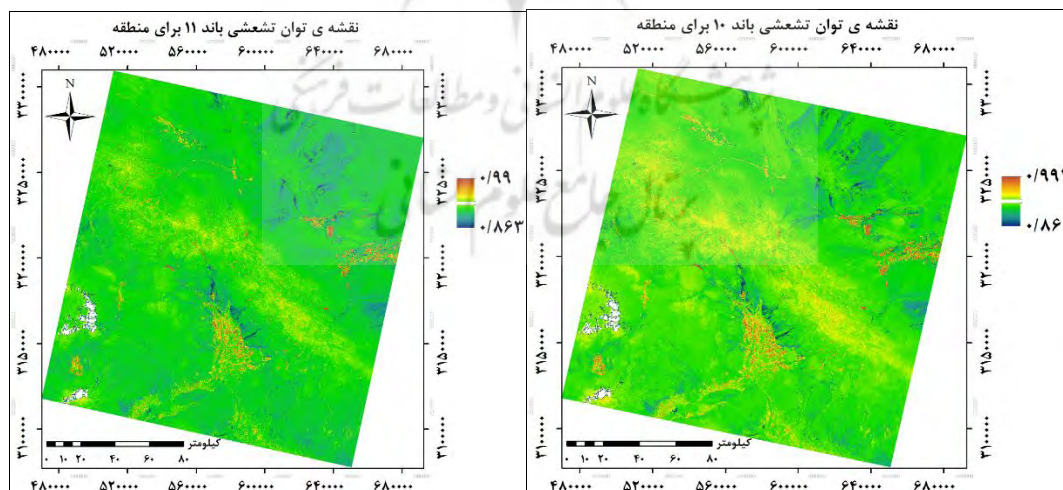
شکل ۴ نقشه شاخص NDVI به دست آمده از باندهای قرمز و مادون قرمز حرارتی سنجنده OLI^۱ ماهواره لندست را نشان می‌دهد.

1. Operational Land Imager (OLI)



شکل ۴. نقشه شاخص NDVI منطقه

با تحلیل هیستوگرام شاخص NDVI، مقدار NDVI برای خاک خشک ۰/۰۶ و برای گیاه ۰/۴ در نظر گرفته شده است. از آنجا که همه عوارض در طول موج‌های مختلف از خود انرژی متفاوتی ساطع می‌کنند، در طول موج‌های مختلف دارای قدرت تابندگی متفاوتی هستند. با توجه به قدرت تابندگی متفاوت عوارض در طول موج‌های مختلف، این پارامتر برای عوارض منطقه مورد مطالعه، برای باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ لندست ۸ به صورت مجزا محاسبه شده است. شکل ۵ نقشه قدرت تابندگی حاصل شده برای منطقه، برای دو باند حرارتی ۱۰ و ۱۱، را نشان می‌دهد.



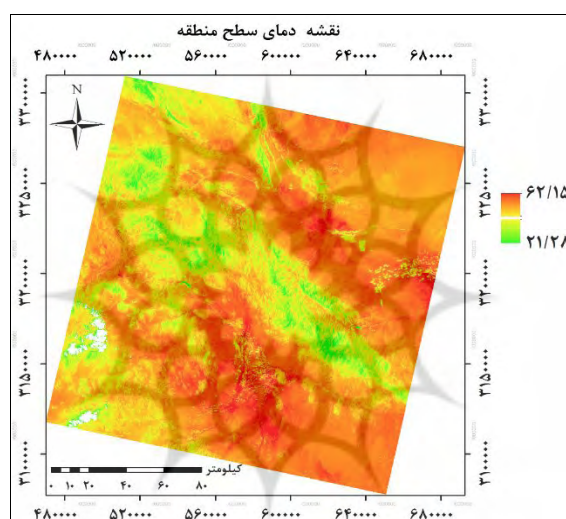
شکل ۵. نقشه قدرت تابندگی منطقه برای باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱

با به کارگیری الگوریتم پنجره مجزا، با استفاده از نقشه های میانگین و تفاضل قدرت تابندگی برای باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱، دمای تابشی ثبت شده به وسیله سنجنده در باندهای ۱۰ و ۱۱، میزان بخار آب موجود و ضرایب ثابت نقشه دمای جنبشی سطح حاصل شده است (شکل ۶).

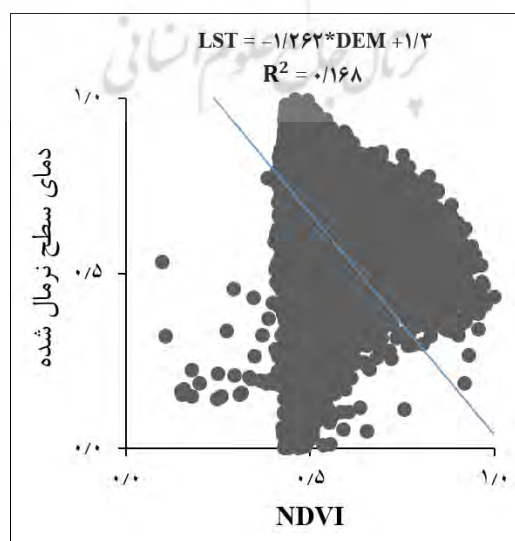
ارتباط دمای سطح با شرایط محیطی

رابطه بین دمای سطح و پوشش گیاهی

با توجه به اینکه دمای سطح از عوامل موجود در سطح تأثیر می پذیرد، در نواحی ای که تراکم پوشش گیاهی بیشتر است و تبخیر و تعرق بالاتر است، طبیعی است که دمای سطح، نسبت به جاهایی که عاری از پوشش گیاهی است، کمتر باشد. پوشش گیاهی با جذب انرژی خورشید و تعرق آب از طریق برگ های خود به داخل جو یک سیستم تهویه مطبوع طبیعی است. شکل ۷ ارتباط بین داده های دمای سطح نرمال شده با شاخص NDVI، با استفاده از نمونه های تصادفی، را نشان می دهد.



شکل ۶. نقشه دمای سطح منطقه (درجه سانتی گراد)

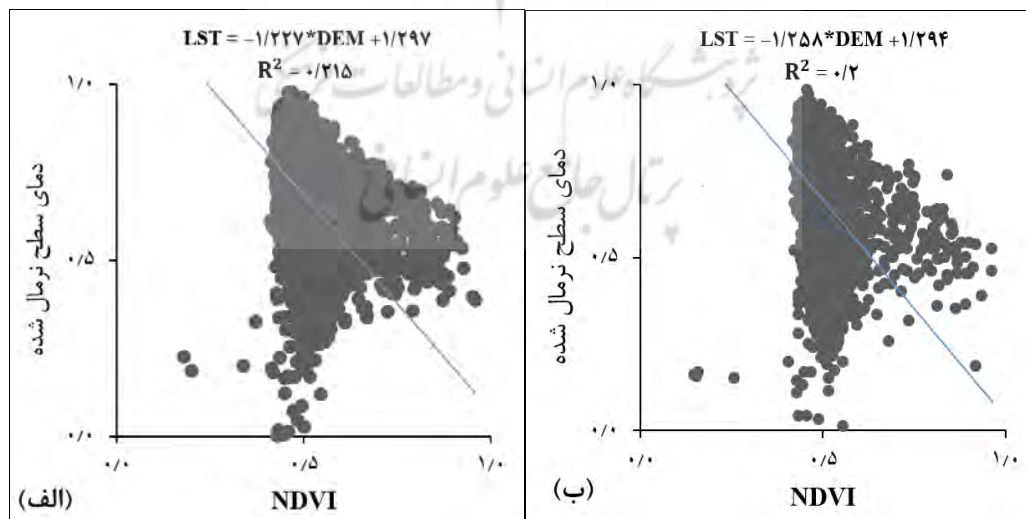


شکل ۷. ارتباط بین دمای سطح نرمال شده با NDVI

بررسی نمودار پراکنش ارتباط بین دمای سطح زمین و پوشش گیاهی نشان می‌دهد که دو پارامتر دارای ارتباط خطی معکوس‌اند. منطقه مورد مطالعه در بیشتر نقاط دارای پوشش گیاهی یکنواخت است و بیشتر نقاط دارای شاخص NDVI در بازه ۰/۴۵-۰/۶ می‌باشند. ولی به سبب تنوع در شرایط توپوگرافی و اقلیمی دمای سطح منطقه ناهمگون است. به همین دلیل، در این منطقه رابطه‌ای با ضریب تعیین بالا برای ارتباط بین دمای سطح زمین و پوشش گیاهی وجود ندارد. جدول ۵ پارامترهای آماری مربوط به ارتباط بین طبقات ارتفاعی و پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. با افزایش ارتفاع، میانگین شاخص NDVI منطقه افزایش می‌یابد که یکی از عوامل مؤثر در پایین‌بودن میانگین دمای سطح در ارتفاعات بالاتر در منطقه مورد مطالعه است. ولی مقدار میانگین پوشش گیاهی برای هر منطقه پایین و اختلاف میانگین پوشش گیاهی برای طبقات ارتفاعی مختلف اندک است که ناشی از ضعیف‌بودن و یکنواخت‌بودن پوشش گیاهی در منطقه است. ارتباط بین دمای سطح و شاخص NDVI در منطقه در جهت‌های شیب مختلف به‌صورت مجزا بررسی شده است؛ نتایج آن به‌صورت شکل ۸ و جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۵. پارامترهای آماری ارتباط بین ارتفاع و شاخص NDVI

| ارتفاع (متر) | کمترین NDVI | بیشترین NDVI | میانگین NDVI | انحراف معیار |
|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| ۶۱۱-۲۹۹ | ۰ | ۰/۸۸۴ | ۰/۱۱۲ | ۰/۰۵۱ |
| ۹۴۸-۶۱۱ | ۰/۰۰۵ | ۰/۹۰۲ | ۰/۱۱۸ | ۰/۰۳۵ |
| ۱۳۵۰-۹۴۸ | ۰ | ۰/۸۷۷ | ۰/۱۲۱ | ۰/۰۵۸ |
| ۱۷۷۲-۱۳۵۰ | ۰ | ۰/۹۳۲ | ۰/۱۳ | ۰/۰۵۷ |
| ۲۱۶۱-۱۷۷۲ | ۰ | ۰/۹۸۱ | ۰/۱۳۴ | ۰/۰۴۹ |
| ۲۵۴۹-۲۱۶۱ | ۰/۰۳۸ | ۰/۹۸۷ | ۰/۱۳۹ | ۰/۰۶۲ |
| ۳۰۲۲-۲۵۴۹ | ۰ | ۰/۹۶۷ | ۰/۱۴۴ | ۰/۰۵۳ |
| ۴۴۶۹-۳۰۲۲ | ۰/۰۳۳ | ۰/۸۸۲ | ۰/۱۵۷ | ۰/۰۴۸ |



شکل ۸. ارتباط بین دمای سطح با NDVI در شیب‌های خاص: (الف) جهت شیب غربی؛ (ب) جهت شیب شمالی

جدول ۶. ارتباط بین دمای سطح با شاخص NDVI در شیب‌های خاص

| پارامتر | رابطه | R ² | آماره t | |
|-----------|--------------------------|----------------|------------------------|------------------------|
| | | | t ₁ Prob | t ₂ Prob |
| شمال | LST = ۱,۲۹۱ - ۱,۲۵۸*NDVI | ۰,۲ | -۱۰,۱۲۶ ۰,۰۰۳ | ۳۸۹,۵۷ ۰,۰۰۱ |
| شمال غربی | LST = ۱,۲۷۲ - ۱,۱۵۹*NDVI | ۰,۱۹ | -۱۴۷,۱۳ ۰,۰۰۱ | ۵۷۱,۶۶ ۰,۰۰ |
| غربی | LST = ۱,۲۹۷ - ۱,۲۷۳*NDVI | ۰,۲۱ | -۱۵۸,۰۷ ۰,۰۰ | ۶۰۶,۵۷ ۰,۰۰ |
| جنوب غربی | LST = ۱,۱۸۹ - ۰,۹۷۸*NDVI | ۰,۲۳ | -۱۶۶,۸۷ ۰,۰۰ | ۶۸۵,۷۱ ۰,۰۰ |
| جنوبی | LST = ۱,۲۰۳ - ۱,۰۵۴*NDVI | ۰,۲۱ | -۱۶۲,۸ ۰,۰۰۳ | ۷۷۱,۲۴ ۰,۰۰ |
| جنوب شرقی | LST = ۱,۲۷۱ - ۱,۲۷۳*NDVI | ۰,۲ | -۱۳۹,۶۲ ۰,۰۰۱ | ۸۹۳,۷۷ ۰,۰۰ |
| شرقی | LST = ۱,۳۶۷ - ۱,۴۷۶*NDVI | ۰,۱۸ | -۱۴۴,۰۷ ۰,۰۰۱ | ۹۴۰,۰۷ ۰,۰۰۲ |
| شمال شرقی | LST = ۱,۴۴۲ - ۱,۶۲۸*NDVI | ۰,۱۹ | -۵۵,۴۴ ۰,۰۰۱ | ۱۴۰,۵۳ ۰,۰۰ |

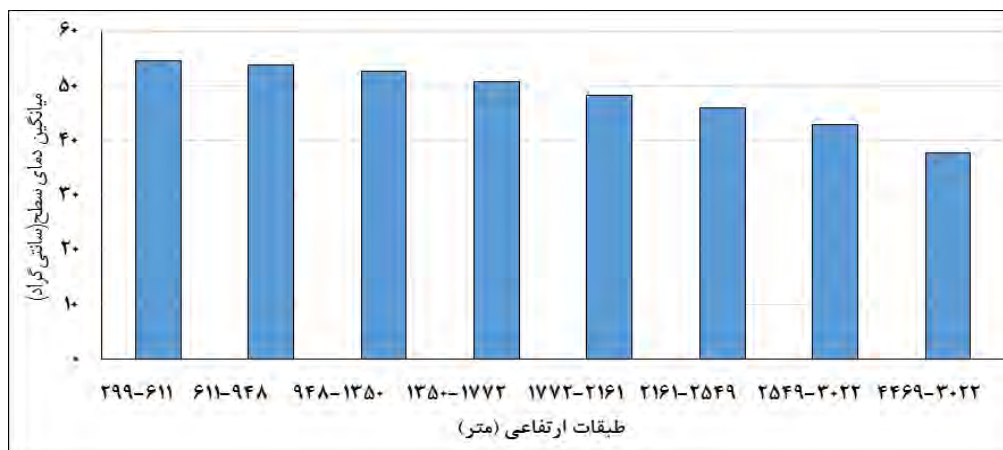
ضریب تعیین ارتباط بین دمای سطح و شاخص NDVI در جهت شیب خاص نسبت به حالت قبل بالاتر رفته است که نشان دهنده تأثیر جهت شیب در ارتباط بین دو پارامتر است؛ ولی مقدار ضریب تعیین پایین است؛ این موضوع بیانگر آن است که برای تجزیه و تحلیل دمای سطح منطقه مورد مطالعه به دخالت پارامترهای دیگری نیاز است.

ارتباط بین دمای سطح زمین و شرایط توپوگرافی

در بررسی ارتباط بین دمای سطح با توپوگرافی نتایج زیر حاصل شده است؛ جدول ۷ پارامترهای آماری مربوط به ارتباط بین دما با پارامتر ارتفاع بدون مستقل کردن پارامترهای وابسته دیگر را نشان می دهد.

جدول ۷. پارامترهای آماری ارتباط بین دما و ارتفاع

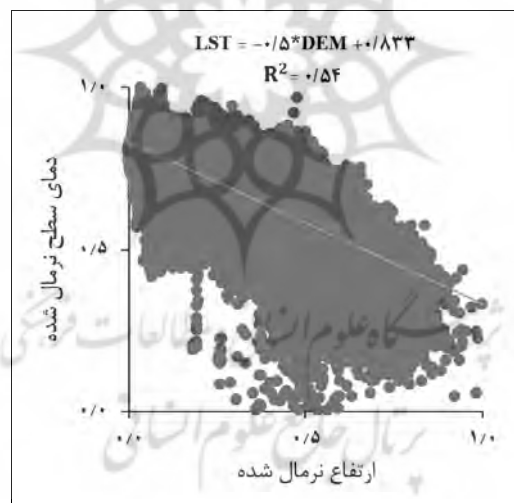
| ارتفاع (متر) | کمترین دما (سانتی گراد) | بیشترین دما (سانتی گراد) | میانگین (سانتی گراد) | انحراف معیار |
|-----------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------|
| ۶۱۱-۲۹۹ | ۳۵,۶ | ۶۲,۱۵ | ۵۵,۶ | ۲,۲ |
| ۹۴۸-۶۱۱ | ۳۲ | ۶۱,۸ | ۵۴,۸ | ۲,۹ |
| ۱۳۵۰-۹۴۸ | ۲۶,۵ | ۵۹,۲ | ۵۲,۴ | ۳,۵ |
| ۱۷۷۲-۱۳۵۰ | ۲۲,۱ | ۵۹,۸ | ۵۰,۲ | ۳,۷ |
| ۲۱۶۱-۱۷۷۲ | ۲۲ | ۶۰ | ۴۸,۹ | ۴,۱ |
| ۲۵۴۹-۲۱۶۱ | ۲۱,۳۰ | ۶۱,۹ | ۴۶,۱ | ۴,۲ |
| ۳۰۲۲-۲۵۴۹ | ۲۱,۲۸ | ۵۶,۳ | ۴۲,۵ | ۴,۷ |
| ۴۴۶۹-۳۰۲۲ | ۲۰,۰ | ۵۴,۵ | ۳۷,۱ | ۴,۳ |



شکل ۹. ارتباط بین دما و ارتفاع

پارامترهای آماری این جدول نشان می‌دهد که هرچه ارتفاع بیشتر می‌شود میانگین دمای سطح زمین کاهش می‌یابد؛ این نتیجه در شکل ۹ درج شده است.

همچنین، در بررسی ارتباط بین ارتفاع با دمای سطح زمین بدون مستقل کردن پارامترهای مؤثر دیگر نتیجه ارتباط به صورت رگرسیون خطی است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰. ارتباط بین دما و ارتفاع

این نمودار نشان می‌دهد که برای ارتباط بین دما با ارتفاع می‌توان یک رابطه معکوس خطی را با ضریب تعیین ۰.۵۴ درصد نسبت داد. ولی در ارتباط با دمای سطح زمین، پارامترهای توپوگرافی دیگر نیز مؤثرند؛ برای مطالعه دقیق رابطه بین دما و ارتفاع باید ارتباط را از این پارامترها مستقل کرد.

پارامترهای شیب و جهت شیب نیز به‌طور مجزا با دمای سطح مرتبطاند. در جدول‌های ۸ و ۹ پارامترهای آماری مربوط به ارتباط بین دمای سطح- جهت شیب و دمای سطح- شیب درج شده است.

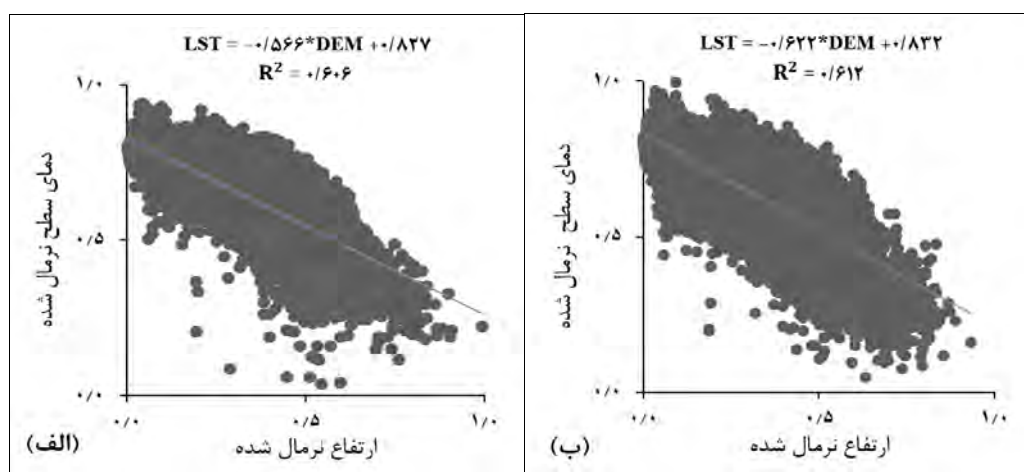
جدول ۸. پارامترهای آماری ارتباط بین دما و جهت شیب

| شیب (درجه) | کمترین دما (سانتی گراد) | بیشترین دما (سانتی گراد) | میانگین (سانتی گراد) | انحراف معیار |
|---------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------|
| سطح تخت | ۲۱,۲۸ | ۶۲,۱۵ | ۵۳,۳۳ | ۳,۱ |
| شمالی | ۲۲,۰۰ | ۶۲,۱۰ | ۴۹,۸۵ | ۵,۵ |
| شمال شرقی | ۲۲,۱ | ۶۱,۱ | ۵۱,۹ | ۴,۳ |
| شرقی | ۲۱,۹ | ۵۹,۹۹ | ۵۱,۹ | ۴,۷ |
| جنوب شرقی | ۲۱,۷ | ۶۰,۲۸ | ۵۱,۶ | ۴,۱ |
| جنوبی | ۲۱,۳۵ | ۶۱,۵ | ۴۹,۸۶ | ۵,۲ |
| جنوب غربی | ۲۱,۴۵ | ۶۱,۹ | ۵۰,۲ | ۶,۱ |
| غربی | ۲۱,۳۰ | ۶۱,۴ | ۴۸,۱ | ۶,۳ |
| شمال غربی | ۲۱,۲۸ | ۶۵,۰ | ۴۸,۰ | ۶,۴ |

جدول ۹. پارامترهای آماری ارتباط بین دما و شیب

| شیب (درجه) | کمترین دما (سانتی گراد) | بیشترین دما (سانتی گراد) | میانگین (سانتی گراد) | انحراف معیار |
|---------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------|
| ۱۰-۰ | ۲۱,۴۰ | ۶۱,۰۸ | ۵۱,۷۴ | ۳,۹۲ |
| ۲۰-۱۰ | ۲۲ | ۶۲,۱۵ | ۴۷,۱۵ | ۵,۱۶ |
| ۳۰-۲۰ | ۲۱,۵۳ | ۶۱,۰۰ | ۴۲,۸۵ | ۵,۲۸ |
| ۴۰-۳۰ | ۲۲,۰۱ | ۶۱,۵۶ | ۴۰,۱۵ | ۵,۲۶ |
| ۵۰-۴۰ | ۲۱,۲۸ | ۶۰,۰۱ | ۳۹,۷۹ | ۵,۷۶ |
| ۶۰-۵۰ | ۲۲,۱۸ | ۵۷,۵۴ | ۳۸,۰۵ | ۵,۹۱ |
| ۷۰-۶۰ | ۲۶,۱۶ | ۵۲,۰۴ | ۴۱,۰۹ | ۴,۱۸ |
| ۸۰-۷۰ | ۳۷,۳۸ | ۴۶,۵۶ | ۴۲,۰۵ | ۲,۶۲ |

جهت شیب‌های شرقی و جنوب‌شرقی و جنوبی، به سبب اینکه در لحظه تصویربرداری رو به خورشید قرار می‌گیرند، دارای بیشترین دما هستند و جهت شیب‌های جنوب‌غربی، غربی، و شمال‌غربی میانگین دمایی کمتری دارند. پارامترهای دیگر همچون شرایط اقلیمی و کاربری اراضی نیز در دمای سطح زمین تأثیرگذارند. برای مستقل کردن پارامتر جهت شیب در ارتباط بین دما با ارتفاع، این ارتباط در جهت شیب‌های گوناگون به صورت مجزا بررسی شده است. نتایج بررسی ارتباط بین دما با ارتفاع در جهت شیب‌های خاص به صورت نمونه در شکل ۱۱ و به صورت کامل در جدول ۱۰ درج شده است.

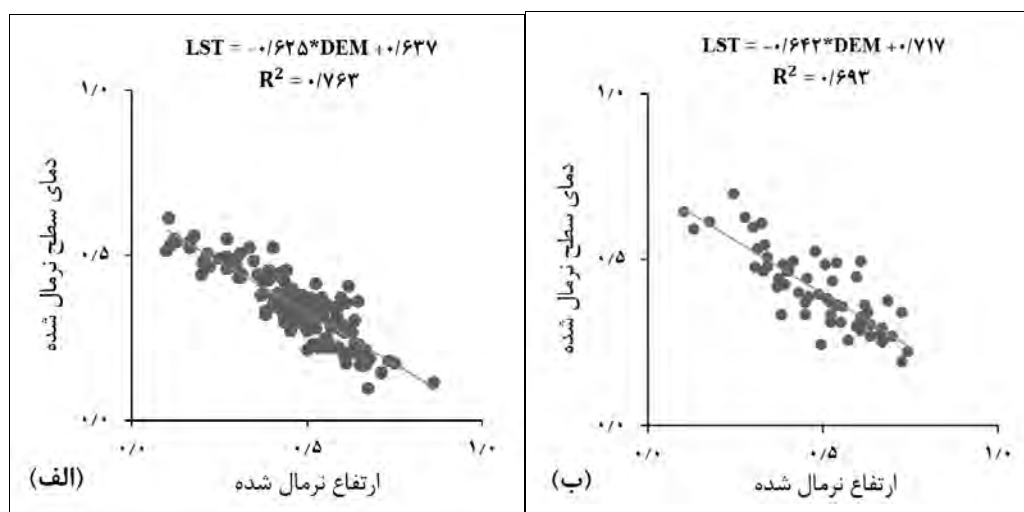


شکل ۱۱. ارتباط بین دما و ارتفاع در جهت شیب‌های خاص: (الف) جهت شیب شمالی؛ (ب) جهت شیب غربی

جدول ۱۰. ارتباط بین دما و ارتفاع در جهت شیب‌های خاص

| پارامتر | رابطه | R ² | آماره t ₁ | آماره t ₂ |
|-----------|----------------------------|----------------|----------------------|----------------------|
| | | | Prob | Prob |
| شمال | LST = 0.8271 - 0.56601*DEM | 0.6 | -10.126 0.003 | 379.57 0.001 |
| شمال غربی | LST = 0.8380 - 0.5991*DEM | 0.6 | -143.13 0.001 | 581.66 0.00 |
| غربی | LST = 0.8310 - 0.6240*DEM | 0.61 | -157.86 0.00 | 606.52 0.00 |
| جنوب غربی | LST = 0.83823 - 0.5791*DEM | 0.61 | -165.87 0.00 | 684.75 0.00 |
| جنوبی | LST = 0.8340 - 0.4956*DEM | 0.58 | -170.8 0.003 | 771.24 0.00 |
| جنوب شرقی | LST = 0.8390 - 0.3960*DEM | 0.58 | -139.18 0.001 | 894.88 0.00 |
| شرقی | LST = 0.8291 - 0.3821*DEM | 0.56 | -144.17 0.001 | 952.05 0.002 |

با بررسی رابطه بین دما و ارتفاع در جهت شیب‌های خاص در بیشتر موارد ضریب تعیین بالاتر رفته و ارتباط بین دما و ارتفاع قوی‌تر شده است. مقادیر آماره t و Prob حاصل شده در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار بودن ضرایب به دست آمده برای رابطه را تأیید می‌کنند. این نتایج نشان می‌دهد که برای بررسی رابطه دما و ارتفاع باید شرایط به درستی تعریف شود. پارامتر دیگری که می‌توان آن را نیز از ارتباط دما و ارتفاع مستقل کرد پارامتر شیب است. پارامتر شیب به عنوان یک عامل مؤثر در دریافت میزان انرژی از طرف خورشید در دمای سطح مؤثر است. ارتباط بین دما و ارتفاع در جهت شیب‌های خاص و شیب‌های معین بررسی شده است؛ نتایج به صورت نمونه در شکل ۱۲ و به صورت کامل در جدول ۱۱ درج شده است.



شکل ۱۲. ارتباط بین دما و ارتفاع در جهت شیب خاص و شیب مشخص: (الف) جهت شیب غربی و شیب ۵۰-۶۰ درجه؛ (ب) جهت شیب شمالی و شیب ۴۰-۵۰ درجه

جدول ۱۱. ارتباط بین دما و ارتفاع در جهت شیب خاص و شیب مشخص

| پارامتر | رابطه | R ² | آماره t ₁ Prob | آماره t ₂ Prob |
|---------------------------|-------------------------------|----------------|------------------------------|------------------------------|
| جهت شیب شمالی و شیب ۳۰-۲۰ | $LST = 0.7572 - 0.5861 * DEM$ | ۰.۶۴ | -۳۳.۴۷ ۰.۰۳ | ۹۰.۶۱ ۰.۰۰ |
| جهت شیب شمالی و شیب ۴۰-۳۰ | $LST = 0.6956 - 0.5654 * DEM$ | ۰.۶۴ | -۲۴.۶۰ ۰.۰۰ | ۵۸.۷۱ ۰.۰۰ |
| جهت شیب شمالی و شیب ۵۰-۴۰ | $LST = 0.7198 - 0.6418 * DEM$ | ۰.۶۹ | -۳۵.۱۱ ۰.۰۴ | ۳۱.۸۸ ۰.۰۱ |
| جهت شیب شرقی و شیب ۶۰-۵۰ | $LST = 0.7553 - 0.4573 * DEM$ | ۰.۶۷ | -۷.۰۴ ۰.۰۱ | ۱۹.۴۷ ۰.۰۰ |
| جهت شیب غربی و شیب ۳۰-۲۰ | $LST = 0.7255 - 0.6109 * DEM$ | ۰.۶۸ | -۵۷.۷۳ ۰.۰۲ | ۱۳۴.۳۲ ۰.۰۰ |
| جهت شیب غربی و شیب ۶۰-۵۰ | $LST = 0.6374 - 0.631 * DEM$ | ۰.۷۶ | -۱۹.۶۵ ۰.۰۰ | ۴۱.۷ ۰.۰۲ |

با مستقل کردن پارامترهای شیب و جهت شیب همبستگی بین دمای سطح و ارتفاع بالاتر رفته است و با اطمینان بیشتری می‌توان ارتباط بین دمای سطح و ارتفاع را ارزیابی کرد. در این شرایط در همه موارد بررسی شده، ضریب تعیین بین دو پارامتر دما و ارتفاع چندین واحد بالاتر رفته است. به عنوان نمونه، رابطه بین دما و ارتفاع بدون در نظر گرفتن پارامترهای دیگر دارای ضریب تعیین حدود ۰.۵۴ است. با مطالعه همین ارتباط در جهت شیب غربی ضریب تعیین به ۰.۶۱ درصد افزایش یافته است و با بررسی این رابطه در جهت شیب غربی و مناطق با شیب‌های ۳۰-۲۰ و ۵۰-۶۰ به ترتیب ضریب تعیین به ۰.۶۸ و ۰.۷۶ رسیده است. مقادیر آماره t و prob حاصل شده در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار بودن ضرایب به دست آمده برای رابطه‌های حاصل شده را تأیید می‌کنند.

تا اینجا در بررسی رابطه‌های حاصل شده برای دما فقط از پارامتر ارتفاع به عنوان پارامتر مستقل استفاده شده بود. حال پارامتر شیب نیز به عنوان یک پارامتر مؤثر بر دما در بررسی ارتباط به کار گرفته می‌شود. دمای سطح زمین از طریق دو

پارامتر ارتفاع و شیب بررسی شده است. برای مستقل کردن پارامتر وابسته جهت شیب، این ارتباط به صورت جداگانه در جهت شیب‌های مختلف ارزیابی شده است. نتایج ارتباط دو پارامتر ارتفاع و شیب با دمای سطح در جهت شیب‌های مختلف در جدول ۱۲ درج شده است.

جدول ۱۲. ارتباط بین دما با ارتفاع و شیب در جهت شیب‌های خاص

| پارامتر | رابطه | R ² | آماره t ₁ Prob | آماره t ₂ Prob | آماره t ₃ Prob |
|-----------|--|----------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| شمال | $LST = 0.8461 - 0.4175 * DEM - 0.4305 * SLOPE$ | ۰٫۷۵ | -۸۱٫۶۳ ۰٫۰۰ | -۶۰٫۵۵ ۰٫۰۱ | ۴۸۲٫۶۱ ۰٫۰۰ |
| شمال غربی | $LST = 0.8481 - 0.4121 * DEM - 0.5724 * SLOPE$ | ۰٫۷۹ | -۱۱۸٫۴۸ ۰٫۰۱ | -۱۰۷٫۴۸ ۰٫۰۰ | ۷۷۶٫۰۵ ۰٫۰۰ |
| غربی | $LST = 0.8505 - 0.4251 * DEM - 0.5600 * SLOPE$ | ۰٫۸ | -۱۴۰٫۵۷ ۰٫۰۱ | ۱۱۰٫۴۱ ۰٫۰۰ | ۸۴۶٫۲۷ ۰٫۰۲ |
| جنوب غربی | $LST = 0.8482 - 0.3976 * DEM - 0.4966 * SLOPE$ | ۰٫۷۷ | -۱۳۹٫۶۸ ۰٫۰۰ | -۱۱۸٫۶۹ ۰٫۰۰ | ۸۹۹٫۹۱ ۰٫۰۰ |
| جنوبی | $LST = 0.8428 - 0.3701 * DEM - 0.3180 * SLOPE$ | ۰٫۶۷ | -۱۲۴٫۷۶ ۰٫۰۰ | -۷۲٫۶۹ ۰٫۰۰ | ۸۷۹٫۹۱ ۰٫۰۰ |
| جنوب شرقی | $LST = 0.8323 - 0.3174 * DEM - 0.2275 * SLOPE$ | ۰٫۶۳ | -۱۱۱٫۱۵ ۰٫۰۰ | -۴۹٫۵۶ ۰٫۰۳ | ۹۵۲٫۱۲ ۰٫۰۰ |
| شرقی | $LST = 0.8322 - 0.3154 * DEM - 0.2172 * SLOPE$ | ۰٫۶۲ | -۱۲۰٫۸۱ ۰٫۰۰ | -۵۴٫۲۰ ۰٫۰۰۱ | ۱۰۱۲٫۵۵ ۰٫۰۰ |
| شمال شرقی | $LST = 0.8381 - 0.3269 * DEM - 0.3048 * SLOPE$ | ۰٫۶۱ | -۱۴۳٫۰۵ ۰٫۰۲ | ۷۱٫۸۶ ۰٫۰۰ | ۹۵۰٫۲۶ ۰٫۰۱ |

در بررسی ارتباط دما با پارامترهای توپوگرافی، با وارد کردن توأمان دو پارامتر ارتفاع و شیب برای برآورد میزان دمای سطح، نسبت به به‌کارگیری پارامتر ارتفاع به‌تنهایی، ضریب تعیین ارتباط بالاتر رفته که نشان‌دهنده قوی‌تر شدن رابطه است؛ به طوری که ضریب تعیین رابطه به‌دست‌آمده برای برآورد دمای سطحی در جهت شیب غربی برای حالت به‌کارگیری هر دو پارامتر ارتفاع و شیب ۰٫۸ و برای حالت به‌کارگیری پارامتر ارتفاع به‌تنهایی ۰٫۶۱ است. مقادیر آماره t و Prob حاصل‌شده در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار بودن ضرایب به‌دست‌آمده برای رابطه‌های حاصل‌شده را تأیید می‌کند. پارامتر Prob به‌دست‌آمده برای ضرایب رابطه‌ها، مقادیر کوچک‌تر از ۰٫۰۵ دارند که به معنای تأیید فرض صفر و معنادار بودن ضرایب به‌دست‌آمده است.

بررسی ارتباط دمای سطح با شرایط توپوگرافی و پوشش گیاهی به صورت تلفیقی

سرانجام، با در نظر گرفتن توأمان پارامترهای شرایط پوشش گیاهی و توپوگرافی، ارتباط آن‌ها با دمای سطح زمین ارزیابی شده است. با استفاده از پارامترهای ارتفاع، شیب، و شاخص NDVI، به‌عنوان پارامترهای مستقل، رابطه‌ای برای به‌دست‌آوردن پارامتر وابسته دمای سطح برای شیب‌های گوناگون حاصل شده است؛ این ارتباط در جهت شیب‌های مختلف به صورت جداگانه بررسی شده است. نتایج حاصل از بررسی ارتباط به صورت جدول ۱۳ نشان داده شده است.

جدول ۱۳. ارتباط بین دما سطح و ارتفاع، شیب، و شاخص NDVI در جهت شیب های مختلف

| پارامتر | رابطه | R ² | آماره t ₁ Prob | آماره t ₂ Prob | آماره t ₃ Prob | آماره t ₄ Prob |
|-----------|---|----------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| شمال | LST = ۱/۱۲۵ - ۰/۴۷۰۱*DEM - ۰/۴۱۲۵*SLOPE - ۰/۵۷۴۹*NDVI | ۰/۷۸ | -۷۴/۹۱ ۰/۰۰ | -۷۱/۳۲ ۰/۰۲ | -۲۴/۶۸ ۰/۰۰ | ۱۱۲/۴۶ ۰/۰۰ |
| شمال غربی | LST = ۱/۱۱۹۰ - ۰/۳۸۲۷*DEM - ۰/۵۴۶۳*SLOPE - ۰/۵۸۶۴*NDVI | ۰/۸۱ | -۱۲۱/۶۲ ۰/۰۱ | -۱۱۸/۴۸ ۰/۰۰ | -۴۰/۲۳ ۰/۰۰ | ۱۴۲/۵۸ ۰/۰۳ |
| غربی | LST = ۱/۱۳۴۵ - ۰/۳۹۸۸*DEM - ۰/۵۳۰۹*SLOPE - ۰/۶۰۷۶*NDVI | ۰/۸۴ | -۱۳۷/۸ ۰/۰۰ | ۱۲۲/۵۳ ۰/۰۲ | -۴۷/۷۷ ۰/۰۰ | ۱۷۸/۲۶ ۰/۰۰ |
| جنوب غربی | LST = ۱/۱۳۱۲ - ۰/۳۷۳۵*DEM - ۰/۴۸۲۵*SLOPE - ۰/۶۰۲۱*NDVI | ۰/۸ | -۱۲۵/۳ ۰/۰۰ | -۱۲۲/۷۹ ۰/۰۰ | -۵۱/۶۶ ۰/۰۱ | ۱۹۸/۵۵ ۰/۰۰ |
| جنوبی | LST = ۱/۱۲۹۷ - ۰/۳۴۶۰*DEM - ۰/۳۰۷۳*SLOPE - ۰/۶۳۳۳*NDVI | ۰/۷۱ | -۱۱۲/۶۶ ۰/۰۱ | -۷۵/۱۹ ۰/۰۰ | -۵۱/۶۷ ۰/۰۱ | ۲۲۴/۰۰ ۰/۰۰ |
| جنوب شرقی | LST = ۱/۱۳۰۳ - ۰/۲۹۲۵*DEM - ۰/۲۱۸۳*SLOPE - ۰/۶۱۶۱*NDVI | ۰/۸۱ | -۹۸/۵ ۰/۰۰ | -۵۱/۲۶ ۰/۰۰ | -۵۴/۶۳ ۰/۰۰ | ۲۱۱/۲۹ ۰/۰۰ |
| شرقی | LST = ۱/۱۳۶۱ - ۰/۲۸۹۳*DEM - ۰/۱۹۴۷*SLOPE - ۰/۶۶۵۰*NDVI | ۰/۷۳ | -۱۱۳/۵۰ ۰/۰۰ | -۵۳/۲۶ ۰/۰۴ | -۵۵/۷۶ ۰/۰۰ | ۲۰۱/۳۸ ۰/۰۰ |
| شمال شرقی | LST = ۱/۱۲۲۹ - ۰/۲۹۲۲*DEM - ۰/۲۸۳۵*SLOPE - ۰/۶۱۰۶*NDVI | ۰/۷۶ | -۵۸/۵۵ ۰/۰۲ | -۷۹/۶۸ ۰/۰۰ | -۱۱۴/۸ ۰/۰۰ | ۲۱۶/۴۳ ۰/۰۳ |

مقادیر ضریب تعیین برای این حالت از حالات قبلی بالاتر رفته است. برای نمونه، ضریب تعیین رابطه در حالت استفاده از پارامترهای ارتفاع، شیب، و شاخص NDVI برای برآورد دمای سطح در جهت شیب غربی ۰/۸۴، در حالت استفاده از پارامترهای ارتفاع و شیب ۰/۸، در حالت به کارگیری پارامتر ارتفاع ۰/۶۱، و در حالت به کارگیری پارامتر پوشش گیاهی به تنهایی ۰/۲۱ است. مقادیر آماره t و prob حاصل شده در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار بودن ضرایب به دست آمده برای رابطه های حاصل شده را تأیید می کنند.

نتیجه گیری

دمای سطح زمین تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله شرایط توپوگرافی، میزان انرژی موج کوتاه و بلند ورودی، شرایط اقلیمی، کاربری اراضی، وضعیت پوشش گیاهی، و موقعیت جغرافیایی منطقه قرار دارد. با تغییر هر یک از پارامترهای فوق، دمای سطح نیز دستخوش تغییر می شود. در این تحقیق، میزان تأثیر شرایط توپوگرافی (شامل سه عامل ارتفاع، شیب، و جهت شیب) و پوشش گیاهی بر دمای سطح زمین در منطقه ای در استان کرمان با تغییرات توپوگرافی و پوشش گیاهی متنوع بررسی و مطالعه شد. نتایج تحقیق نشان داد که مناطقی با ارتفاع بالاتر از میانگین دمای پایین تری برخوردارند و میانگین دمای منطقه در جهت شیب های مختلف متفاوت است. به سبب قرارگرفتن منطقه در نیمکره شمالی، در لحظه تصویربرداری در جهت شیب های شرقی، جنوب شرقی، و جنوبی خورشید به صورت مستقیم بیشتر می تابد؛ این عامل باعث می شود این جهت ها، نسبت به جهت های دیگر، از میانگین دمای بیشتری برخوردار باشند. همچنین، اراضی در طبقات شیب متفاوت میانگین دمای سطحی متفاوتی دارند. ارتباط بین دمای سطح و ارتفاع بدون مستقل کردن دو عامل شیب و جهت شیب یک رابطه معکوس خطی با ضریب تعیین ۰/۵۴ است. ولی این ارتباط در جهت شیب ها و شیب های مختلف به صورت متفاوت است. در نتیجه، ارتباط بین ارتفاع و دما در جهت شیب ها و طبقات

مختلف شیب نیز بررسی شد؛ نتایج بیانگر این موضوع است که در این حالت، ارتباط بین دو پارامتر دمای سطح و ارتفاع به صورت یک ارتباط معکوس خطی با ضریب تعیین بالاتر از حالت قبل است. همچنین، با در نظر گرفتن پارامترهای ارتفاع و شیب به صورت توأمان در جهت شیب‌های مختلف، به عنوان متغیرهای مستقل، ضریب تعیین ارتباط دمای سطح و این پارامترها بالاتر می‌رود. در نهایت، با توجه به اینکه پوشش گیاهی یکی از عوامل مؤثر در توزیع کمی و کیفی دمای سطح است، شاخص NDVI، به عنوان متغیری مستقل، در کنار پارامترهایی همچون ارتفاع، شیب، و جهت شیب در بررسی دمای سطح در نظر گرفته شد؛ نتایج بررسی ارتباط بهتر و ضریب تعیین بالاتری را نشان داد. معنادار بودن ضرایب روابط به دست آمده از نظر آماری بررسی شد؛ با توجه به پارامترهای آماری، آماره t و Prob برای ضرایب در سطح اطمینان ۹۵ درصد، روابط از نظر معنادار بودن تأیید شده‌اند. در مطالعات گذشته نشان داده شد که مقادیر شاخص NDVI ارتباطی قوی با مقادیر دمای سطح زمین دارد؛ ولی در این پژوهش نشان داده شد که در مناطق کوهستانی با توپوگرافی ناهمگن ارتباط بین پوشش گیاهی و دمای سطح تحت تأثیر پارامترهای توپوگرافی قرار می‌گیرد؛ به همین دلیل، در این مناطق، برای بررسی دقیق میزان تأثیرگذاری پوشش گیاهی بر دمای سطح، نخست باید دمای سطح نسبت به پارامترهای توپوگرافی نرمال شود. نتایج پژوهش نشان داد که هر یک از پارامترهای ارتفاع، شیب، جهت شیب، و NDVI به تنهایی ارتباط قوی معناداری با دمای سطح ندارند و می‌توان با استفاده توأمان از پارامترهای توپوگرافی و پوشش گیاهی به عنوان پارامترهای وابسته، ارتباط قوی‌تر بین این پارامترها و دمای سطح یافت. بدین منظور، در این زمینه به مطالعات و پژوهش‌های بیشتری نیاز است.

منابع

- جهانبخش، س.؛ زاهدی، م. و ولیزاده کامران، خ. (۱۳۹۰). محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از روش سبال و درخت تصمیم‌گیری در محیط GIS RS در بخش مرکزی منطقه مراغه، جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۱۶(۳۸): ۱۹-۴۲.
- علوی‌پناه، س. ک. (۱۳۸۶). *سنجش از دور حرارتی و کاربردهای آن در علوم زمین*، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- Agam, N.; Kustas, W.P.; Anderson, M.C.; Li, F. and Neale, C.M. (2007). A vegetation index based technique for spatial sharpening of thermal imagery, *Remote Sensing of Environment*, 107(4): 545-558.
- Alavipanah, S.K. (2007). *Thermal remote sensing and its application in earth sciences*, Tehran University Press.
- Becker, F. and Li, A.L. (1990). Towards a local split window method over land surfaces, *Internatoinal Journal of Remote Sensing*, 11: 369-393.
- Boori, M.S.; Balzter, H.; Choudhary, K.; Kovelskiy, V. and Vozenilek, V. (2015). A Comparison of Land Surface Temperature, Derived from AMSR-2, Landsat and ASTER Satellite Data, *Journal of Geography and Geology*, 7(3): 61.
- Ding, H. and Shi, W. (2013). Land-use/land-cover change and its influence on surface temperature: a case study in Beijing City, *International Journal of Remote Sensing*, 34(15): 5503-5517.
- Gillespie, A.; Rokugawa, S.; Matsunaga, T.; Cothorn, J.S.; Hook, S. and Kahle, A.B. (1998). A temperature and emissivity separation algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) images, *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 36(4): 1113-1126.
- Herb, W.R.; Janke, B.; Mohseni, O. and Stefan, H.G. (2008). Ground surface temperature simulation for different land covers, *Journal of Hydrology*, 356(3): 327-343.
- He, J.; Zhao, W.; Li, A.; Wen, F. and Yu, D. (2018). The impact of the terrain effect on land surface temperature variation based on Landsat-8 observations in mountainous areas, *International Journal of Remote Sensing*, 1-20.
- Jahanbakhsh, S.; Zahedi, M. and Valizadeh Kamran, KH. (2012). Land surface temperature Calculation using SEBAL and Decision Tree Methods Based on ETM+ Image in RS, GIS Environment in the Maragh central region, *Quarterly Geography and Planning*, 16(38): 19-42.
- Jain, S.K.; Goswami, A. and Saraf, A.K. (2008). Determination of land surface temperature and its lapse rate in the Satluj River basin using NOAA data, *International Journal of Remote Sensing*, 29(11): 3091-3103.
- Jiang, J. and Tian, G. (2010). Analysis of the impact of land use/land cover change on land surface temperature with remote sensing, *Procedia environmental sciences*, 2: 571-575.
- Jiménez-Muñoz, J.C. and Sobrino, J. A. (2003). A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D22).
- Jiménez-Muñoz, J.C.; Sobrino, J.A.; Skoković, D.; Mattar, C. and Cristóbal, J. (2014). Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(10): 1840-1843.
- Kotchi, S.O.; Barrette, N.; Viau, A.A.; Jang, J.D.; Gond, V. and Mostafavi, M.A. (2016). Estimation and uncertainty assessment of surface microclimate indicators at local scale using airborne infrared thermography and multispectral imagery, *In Geospatial Technology-Environmental and Social Applications*, InTech.
- Kustas, W.P.; Norman, J.M.; Anderson, M.C. and French, A.N. (2003). Estimating subpixel surface temperatures and energy fluxes from the vegetation index-radiometric temperature relationship, *Remote sensing of environment*, 85(4): 429-440.
- Li, Z.L.; Wu, H.; Wang, N.; Qiu, S.; Sobrino, J.A.; Wan, Z. ... and Yan, G. (2013). Land surface emissivity retrieval from satellite data, *International Journal of Remote Sensing*, 34(9-10): 3084-3127.
- Lu, D. and Weng, Q. (2006). Spectral mixture analysis of ASTER images for examining the relationship between urban thermal features and biophysical descriptors in Indianapolis, Indiana, USA. *Remote Sensing of Environment*, 104(2): 157-167.
- Okamoto, K. (2001). *Global Environment Remote Sensing*, IOS Press.

- Peters, J.; De Baets, B.; De Clercq, E.M.; Ducheyne, E. and Verhoest, N.E. (2012). Influence of topographic normalization on the vegetation index–surface temperature relationship, *Journal of Applied Remote Sensing*, 6(1): 063518-1.
- Qin, Z.; Karnieli, A. and 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*, 22(18): 3719-3746.
- 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, pp. 15-39.
- Rozenstein, O.; Qin, Z.; Derimian, Y. and Karnieli, A. (2014). Derivation of land surface temperature for Landsat-8 TIRS using a split window algorithm, *Sensors*, 14(4): 5768-5780.
- Running, S.W.; Justice, C.O.; Salomonson, V.; Hall, D.; Barker, J.; Kaufmann, Y.J. ... and Wan, Z.M. (1994). Terrestrial remote sensing science and algorithms planned for EOS/MODIS, *International journal of remote sensing*, 15(17): 3587-3620.
- Sahana, M.; Ahmed, R. and Sajjad, H. (2016). Analyzing land surface temperature distribution in response to land use/land cover change using split window algorithm and spectral radiance model in Sundarban Biosphere Reserve, India, *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(2): 81.
- Sobrino, J.; Coll, C. and Caselles, V. (1991). Atmospheric correction for land surface temperature using NOAA-11 AVHRR channels 4 and 5, *Remote sensing of environment*, 38(1): 19-34.
- Sobrino, J. A.; Jiménez-Muñoz, J.C.; Sòria, G.; Romaguera, M.; Guanter, L.; Moreno, J. ... and Martínez, P. (2008). Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(2): 316-327.
- Sobrino, J.A.; Li, Z.L.; Stoll, M.P. and Becker, F. (1996). Multi-channel and multi-angle algorithms for estimating sea and land surface temperature with ATSR data, *International Journal of Remote Sensing*, 17(11): 2089-2114.
- Sobrino, J.A.; Del Frate, F.; Drusch, M.; Jiménez-Muñoz, J.C.; Manunta, P. and Regan, A. (2016). Review of thermal infrared applications and requirements for future high-resolution sensors, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54(5): 2963-2972.
- Tucker, C.J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation, *Remote sensing of Environment*, 8(2): 127-150.
- Weng, Q. (2003). Fractal analysis of satellite-detected urban heat island effect. *Photogrammetric engineering & remote sensing*, 69(5): 555-566.
- Weng, Q. Liu, H. and Lu, D. (2007). Assessing the effects of land use and land cover patterns on thermal conditions using landscape metrics in city of Indianapolis, United States. *Urban ecosystems*, 10(2): 203-219.
- Xian, G. and Crane, M. (2006). An analysis of urban thermal characteristics and associated land cover in Tampa Bay and Las Vegas using Landsat satellite data. *Remote Sensing of environment*, 104(2): 147-156.
- Xiao, J. and Moody, A. (2005). A comparison of methods for estimating fractional green vegetation cover within a desert-to-upland transition zone in central New Mexico, USA. *Remote Sensing of Environment*, 98(2): 237-250.
- Yu, X.; Guo, X. and Wu, Z. (2014). Land surface temperature retrieval from Landsat 8 TIRS- Comparison between radiative transfer equation-based method, split window algorithm and single channel method, *Remote Sensing*, 6(10): 9829-9852.