

## مقایسه تخمین دمای سطح با استفاده از داده‌های باند حرارتی سنجنده‌های ماهواره‌ای در غرب استان تهران و قزوین

دکتر زهرا حجازی‌زاده<sup>۱</sup>، دکتر پرویز ضیائی‌ان<sup>۲</sup> و علیرضا شیرخانی<sup>۳</sup>

### چکیده

علم سنجش از دور با استفاده از تشعشع مادون قرمز حرارتی و کاربرد مدل‌های فیزیکی ابزار مناسبی جهت محاسبه مقدار دمای سطح در نواحی وسیع محسوب می‌شود. در این تحقیق با استفاده از باندهای ۵۴ و ۳۱ و ۳۲ سنجنده AVHRR و نیز باندهای ۳۱ و ۳۲ سنجنده MODIS، دمای سطح زمین در محدوده استان‌های تهران و قزوین مورد بازبینی قرار گرفت. پس از بررسی تعداد ۱۱۴ تصویر متعلق به دو سنجنده مذکور، ۱۶ تصویر برای محاسبه نهایی دما انتخاب گردید. از بین ۱۸ الگوریتم Split-window ارائه شده توسط محققین، الگوریتم پرایس برای محاسبه دمای سطح از تصاویر NOAA/AVHRR و الگوریتم کی‌ین جهت برآورد دما از تصاویر MODIS انتخاب شد. جهت اعتبار سنجی مقادیر به دست آمده، از اطلاعات دمای عمق ۵ سانتیمتری خاک در ۱۱ ایستگاه هواشناسی استفاده شد. بالا بودن ضرایب همبستگی در اکثر روزهای دوره مطالعه بویژه در مورد سنجنده AVHRR بیانگر قابل اطمینان بودن روش مورد استفاده در برآورد دمای سطح می‌باشد. همچنین با توجه به نقشه‌های دمای حاصل از داده‌های دمای سطح و با در نظر گرفتن وضعیت توپوگرافی منطقه، شرایط کلی حاکم بر توزیع دما در سطح منطقه توجیه‌پذیر است.

کلیدواژه‌گان: دمای سطح زمین، الگوریتم پرایس، الگوریتم کی‌ین، MODIS، سنجنده AVHRR، استان تهران و قزوین

۱. استاد گروه جغرافیا، دانشگاه خوارزمی

۲. دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه خوارزمی

۳. دانش‌آموخته دکترای اقلیم‌شناسی دانشگاه خوارزمی

## مقدمه

دمای سطح زمین (LST) را می‌توان به عنوان یک متغیر کلیدی ارزشمند در مطالعات محیطی و اقلیم‌شناسی در نظر گرفت. پژوهشگران علوم مختلف کاربردهای متعددی برای دمای سطح زمین برشمرده‌اند مثلاً (Diak. et al, 1993) جهت تخمین جریان گرمای نهان از دمای سطح خاک استفاده کردند. محاسبه دمای تاج پوشش گیاهان توسط (Vining. et al, 1992)، مطالعه همبستگی بین اثر گلخانه‌ای و دمای سطح بوسیله (Sinha, 1995)، بهبود و اصلاح مدل‌ها و روش‌های سنجش بیلان انرژی سطح زمین (Diak. et al, 1993).

انجام مطالعات تعیین دمای سطح زمین در منطقه سیستان (دانش کار آراسته، ۱۳۸۴) و بررسی ارتباط پوشش گیاهی و توسعه شهری با دمای سطح زمین در مناطق بیابانی (دشتکیان و دهقانی، ۱۳۸۶)، از جمله مطالعاتی است که در ایران صورت گرفته است. پژوهش‌های دیگری هم در ارتباط با نوع پوشش گیاهی و لزوم تعیین مقدار دمای سطح انجام شده است که از آن جمله می‌توان به مطالعات کاربری و پوشش زمین و ویژگی‌های آن در منطقه شهری تبریز (امیری، رضا، ۱۳۸۴) و همچنین آشکارسازی تنش آبی گیاه نیشکر (جوکار ارسنجان، جمال، ۱۳۸۵) اشاره کرد. یکی از مهمترین عرصه‌های فعالیت‌های انسانی که می‌توان نقش آگاهی از مقدار دمای سطح را در آن به صورت بارزتری شاهد بود، فعالیت‌های زراعی است. شناخت این پارامتر می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های نوع کشت و نیز جلوگیری از ایراد خسارت بر اثر رویدادهای وابسته به آن نظیر یخبندان نقش مؤثری داشته باشد.

در حال حاضر داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی مهمترین مرجع تصمیم‌گیری در این خصوص هستند، اما از آنجا که در بسیاری موارد این اطلاعات دقیقاً مربوط به سطح نیست، بلکه اندکی بالاتر از سطح و یا اعماق مختلف زمین را شامل می‌شود و نیز به دلیل فاصله نسبتاً زیاد شبکه ایستگاه‌های هواشناسی از یکدیگر نمی‌توان به طور کامل فقط به این اطلاعات متکی بود. این عوامل سبب می‌شود کاربرد داده‌های ایستگاهی در فعالیت‌هایی نظیر کشاورزی با اطمینان بالا صورت نگیرد.

به دلایل فوق تشخیص دمای سطح زمین بر اساس روش‌های سنجش از دور دو نتیجه مفید

---

## 1. Land Surface Temperature

برای مطالعات کشاورزی دارد:

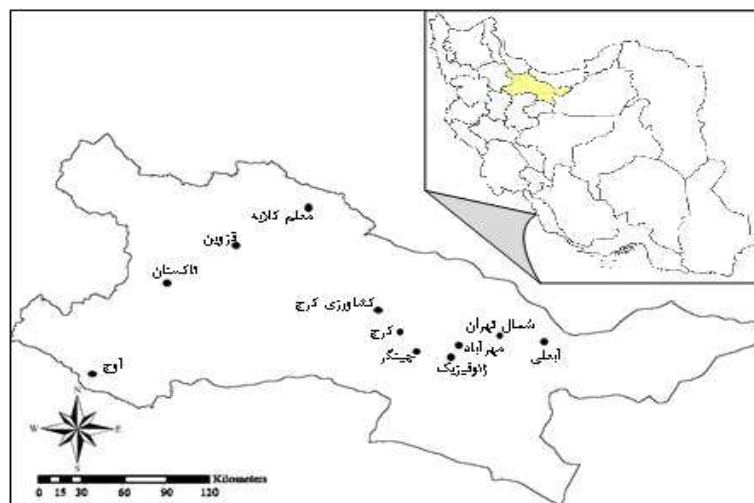
۱. دستیابی به تفکیک‌های مکانی بسیار کم
۲. توانایی محاسبه دقیق‌تر دمای سطح زمین

با توجه به موارد اشاره شده، تحقیق حاضر دو هدف عمده را دنبال می‌کند:

۱. محاسبه دقیق‌تر دمای سطح زمین نسبت به اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای ایستگاه‌های هواشناسی.
۲. مقایسه دماهای به‌دست آمده از طریق داده‌های سنجنده‌های NOAA/AVHRR و MODIS با داده‌های ثبت شده ایستگاهی.

### موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه

محدوده منطقه مورد مطالعه مشتمل بر نواحی غربی استان تهران و استان قزوین است (شکل ۱). این منطقه به لحاظ شرایط کشاورزی جزو مناطق ممتاز زراعی در کشور محسوب می‌گردد. از این‌رو، شناسایی ویژگی‌های طبیعی حاکم بر این منطقه به ویژه پارامترهای اقلیمی نظیر دما می‌تواند نقش مؤثری در کاهش آسیب‌پذیری محصولات کشت شده در برابر رخدادهای ناملایم طبیعی داشته باشد.



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه

## مواد و روش تحقیق

## داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق برای محاسبه دمای سطح زمین از دو سری داده شامل تصاویر سنجنده MODIS و ماهواره NOAA/AVHRR، استفاده شده است. علاوه بر این مقادیر درجه حرارت ۵ سانتیمتری عمق خاک از یازده ایستگاه هواشناسی موجود در منطقه به عنوان نقاط شاهد زمینی جهت مقایسه با نتایج نهایی بدست آمده در محاسبات دمای سطح مورد استفاده قرار گرفت. اطلاعات مربوط به این ایستگاه‌ها در جدول شماره (۱) ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های مشاهده زمینی

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
چیتگر	۵۱/۱۳	۳۵/۷۰	۱۲۱۵
ژئوفیزیک	۵۱/۳۸	۷۳/۳۵	۱۳۶۰
شمال تهران	۵۱/۶۲	۳۵/۷۸	۱۴۵۸
کرج	۵۱/۰۳	۳۵/۸۰	۱۳۲۱
مهرآباد	۵۱/۳۲	۳۵/۶۸	۱۱۹۱
آبعلی	۵۱/۸۸	۳۵/۷۵	۲۴۶۵
کشاوری کرج	۵۰/۹۰	۳۵/۹۲	۱۳۱۳
قزوین	۵۰/۰۵	۳۶/۲۵	۱۲۷۹
أوج	۴۹/۲۲	۳۵/۵۷	۲۰۳۵
معلم کلايه	۵۰/۴۸	۳۶/۴۵	۱۶۲۹
تاکستان	۴۹/۶۵	۳۶/۰۵	۱۲۸۳

پس از بررسی ۱۱۴ تصویر، تعداد ۱۶ مورد شامل هشت تصویر ماهواره NOAA/AVHRR و هشت تصویر سنجنده MODIS جهت پردازش نهایی و برآورد دمای سطح استفاده گردید. تصاویر مورد نیاز از سایت‌های اینترنتی هر یک از سنجنده‌های مذکور استخراج شد. ویژگی‌هایی مانند کامل بودن پوشش منطقه مطالعه، نبود پوشش ابری در روزهای انتخاب شده، داشتن بیشترین نزدیکی زمانی بین ساعت اخذ تصاویر و ساعت ثبت داده‌های زمینی و تطابق زمانی بین تصاویر هر دو سنجنده به لحاظ تاریخ و ساعت برداشت تصویر از جمله مواردی بودند که در انتخاب تصاویر ماهواره‌ای لحاظ شد.

## محاسبه دمای سطح

نیاز به اطلاعات دما در مقیاس وسیع برای مطالعات محیطی و فعالیت‌های مدیریتی منابع زمین، بازیابی دمای سطح با استفاده از سنجش از دور را به یک موضوع مهم در دهه‌های اخیر تبدیل کرده است (Mao, et al, 2005).

اهمیت این موضوع سبب شده است در پژوهش‌های مختلف روش‌های متنوعی برای بازیابی دمای سطح زمین ارائه شود. مثلاً (Hu, Y. and Zhongdong, Y. 2006) با ایجاد تغییرات گسترده در الگوریتم‌های روزنه مجزا ضمن ارائه یک روش جدید به محاسبه دمای سطح در چین پرداختند. با همین روش (Coops. et al, 1992) و با استفاده از داده‌های MODIS صبح و لحاظ کردن عامل ارتفاع اقدام به محاسبه دمای سطح در هنگام بعدازظهر کردند.

(Zhan, Z. et al 2004) و (ZHANG, J. et al 2007) نیز از جمله محققینی هستند که با نگاهی متفاوت و با استفاده از داده‌های لندست اقدام به بازیابی دمای سطح در بخش‌هایی از چین کرده‌اند. با استفاده از داده‌های مشابه تحقیق اخیر، (Qin, Z. and et al 2001) مقدار دمای سطح در منطقه مرزی بین مصر و اسرائیل را مورد سنجش قرار داده‌اند. ایالت گجرات هند نیز از جمله مناطقی است که دمای سطح در آن توسط (Bhattacharya, B. K. and Dadhwal, V.K. (2003) اندازه‌گیری شده است.

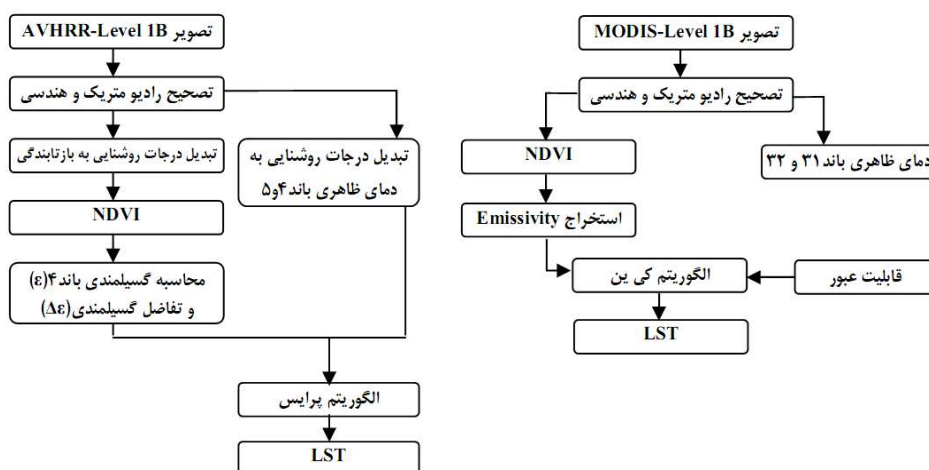
رحیمی خوب و همکاران (۱۳۸۵) نیز به بررسی روش‌های مختلف دمای سطح در حوزه آبریز دریاچه ارومیه پرداختند.

دقت بیشتر روش‌های مورد استفاده در این گونه مطالعات بسیار بالاست اما محاسبه آنها نیاز به داشتن اطلاعات اولیه از پارامترهای متعددی مانند رطوبت، مقدار انتقال و همچنین انتشار سطح دارد. کاهش یا افزایش دقت در هر یک از روش‌های استفاده شده بسته به شیوه محاسبه و دسترسی به پارامترهای اشاره شده متفاوت است.

عدم دسترسی به برخی پارامترهای مهم مورد نیاز در روش‌های استفاده شده در مطالعات فوق باعث شده در تحقیق حاضر نتوان از اکثر آنها بهره جست زیرا اعتبار نتایج نهایی با عدم اطمینان مواجه خواهد شد.

با توجه به بررسی‌های انجام شده، هدف تحقیق و در دسترس بودن یا قابلیت محاسبه

پارامترهای موردنیاز بهترین الگوریتم‌ها برای بازیابی دمای سطح در این مطالعه روش‌های پرایس و کی‌ین و همکاران تشخیص داده شد. این روش‌ها از جمله الگوریتم‌های روزنه مجزا<sup>۱</sup> محسوب می‌شوند که محققین تاکنون حداقل ۱۸ مدل از این نوع معرفی کرده اند (Sobrino, J.A. et al 2004). شکل کلی مراحل کار انجام شده جهت بازیابی دمای سطح برای سنجنده‌های AVHRR و MODIS به‌اختصار در شکل‌های (۲) و (۳) نشان داده شده است. مطابق این اشکال الگوریتم پرایس برای پردازش تصاویر AVHRR و الگوریتم کی‌ین و همکاران نیز در بازیابی دما بر روی داده‌های MODIS به کار گرفته شده است. استفاده همزمان از داده‌های دو سنجنده برای منطقه مطالعه و مقایسه نتایج، وجه تمایز این مطالعه از تحقیقات مشابه به شمار می‌رود.



شکل ۲: روند نمای کلی برآورد LST از تصاویر NOAA

شکل ۳: روند نمای کلی برآورد LST از تصاویر MODIS

## 1. Split-Window

الگوریتم پرایس<sup>۱</sup>

الگوریتم پرایس که شکل کلی آن در رابطه (۱) آورده شده است جهت محاسبه دمای سطح در داده‌های سنجنده AVHRR به کار گرفته شده است:

$$LST = T_4 + 3.33 \cdot [T_4 - T_5] \cdot \frac{5.5 - \varepsilon_4}{4.5} + 0.75 \cdot T_5 \cdot \Delta\varepsilon \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن،

- LST: دمای سطح
- $T_4$  و  $T_5$ : دمای ظاهری باند ۴ و باند ۵
- $\varepsilon_4$ : گسیلمندی باند ۴
- $\Delta\varepsilon$ : تفاضل گسیلمندی باندهای ۴ و ۵

طبق رابطه ۱، استفاده از داده‌های باند ۴ و ۵ سنجنده AVHRR برای محاسبه دمای سطح مورد نیاز است.

از آنجا که آگاهی از میزان گسیلمندی به عنوان یک عامل بسیار اثرگذار در تعیین دمای سطح ضروری است، لذا برای محاسبه گسیلمندی، باند ۴ و تفاضل گسیلمندی باند ۴ و ۵ نیز از داده‌های NDVI استفاده می‌شود.

دمای ظاهری دیگر پارامتر مورد نیاز در این مرحله است که برای هر یک از باندهای ۴ و ۵ از طریق رابطه (۲) محاسبه گردید.

$$T_E = \frac{T_E^* - A}{B} \quad (\text{رابطه ۲})$$

ضرایب استفاده شده در این رابطه از Header تصاویر برداشت شده است.

مقدار هر یک از ضرایب A و B و  $V_C$  مورد استفاده در رابطه (۲) از راهنمای ماهواره NOAA قابل استخراج است.

مقدار  $T_E^*$  نیز از رابطه (۳) تعیین گردید:

$$T_E^* = \frac{C_2 V_c}{\ln \left[ 1 + \left[ \frac{C_1 V_c^3}{NE} \right] \right]} \quad (\text{رابطه ۳})$$

در این رابطه ضرایب  $C_1$  و  $C_2$  به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$C_1 = 1.1910427 \cdot 10^{-5} \quad (\text{mwm}^{-2} \text{srm}^4) \quad \blacksquare$$

$$C_2 = 1.4387752 \quad (\text{cm}) \quad \bullet$$

مقدار NE، عبارتست از:  $\bullet$

$$NE = a_0 + a_1 \cdot C_E + a_2 \cdot C_E \quad \bullet$$

مقدار هر یک از ضرایب  $a_0$ ،  $a_1$  و  $a_2$  برای باندهای ۴ و ۵ سنجنده AVHRR نیز از Header تصاویر استخراج شده است.

### الگوریتم کی‌ین<sup>۱</sup> و همکاران

در محاسبه دمای واقعی سطح با استفاده از داده‌های سنجنده MODIS از الگوریتم کی‌ین و همکاران استفاده شد. رابطه (۴) شکل کلی این الگوریتم را معرفی می‌نماید:

$$LST = \frac{C_{32}(B_{31} + D_{31}) - C_{31}(B_{32} + D_{32})}{C_{32}A_{31} - C_{31}A_{32}} \quad (\text{رابطه ۴})$$

ضرایب این رابطه به شکل زیر محاسبه شده است:

$$A_{31} = 0.13787 \varepsilon_{31} \tau_{31}$$

$$B_{31} = 0.13787 T_{31} + 3165677 \tau_{31} \varepsilon_{31} - 31.65677$$

$$C_{31} = (1 - \tau_{31})(1 + (1 - \tau_{31})\tau_{31})0.13787$$

$$D_{31} = (1 - \tau_{31})(1 + (1 - \tau_{31})\tau_{31})31.65677$$

$$A_{32} = 0.11849 \varepsilon_{32} \tau_{32}$$

$$B_{32} = 0.11849 T_{32} + 26.50036 \tau_{32} \varepsilon_{32} - 26.50036$$

$$C_{32} = (1 - \tau_{32})(1 + (1 - \tau_{32})\tau_{32})0.11849$$

$$D_{32} = (1 - \tau_{32})(1 + (1 - \tau_{32})\tau_{32})26.50036$$

در ضرایب فوق  $\varepsilon$ ، بیانگر مقدار گسیلمندی است - که در ادامه مطالب نحوه محاسبه و کاربرد



آن تشریح می‌گردد - و  $\tau$  نیز نشان‌دهنده ضریب عبور بوده و مقدار آن برای دو باند مورد استفاده قرار گرفته سنجنده MODIS شامل مقادیر زیر است:

$$\tau_{31} = 0.857237$$

$$\tau_{32} = 0.778058$$

با مشخص بودن مقادیر گسیلمندی ( $\varepsilon$ ) و ضریب عبور ( $\tau$ ) می‌توان ضرایب  $A_i$ ,  $B_i$ ,  $C_i$  و  $D_i$  را نیز محاسبه کرد.

دمای ظاهری تصاویر MODIS نیز مشابه داده‌های سنجنده NOAA با استفاده از رابطه (۵) محاسبه شد.

بر این اساس:

$$T = \frac{C_2}{\lambda} \cdot \frac{1}{\ln \left[ \frac{C_1}{\lambda^5 B_{\lambda(T)}} = 1 \right]} \quad \text{رابطه (۵)}$$

در این رابطه:

- $T$ ، دمای ظاهری بر حسب کلوین
- $\lambda$ ، طول موج باند که برای هر یک از باندهای مورد استفاده عبارتند از:

$$\lambda_{31} = 11.03 \mu\text{m}$$

$$\lambda_{32} = 11.77 \mu\text{m}$$

$C_1$  و  $C_2$  ضرایب ثابت که به طریق زیر بدست می‌آیند:

$$C_1 = 2hc^2 \quad \text{رابطه (۶)}$$

در این رابطه:

- $h$ ، ثابت پلانک ( $6.63 \times 10^{-34}$ )
- $C$ ، سرعت نور ( $3 \times 10^8$  m/s)

$$C_2 = hc/k \quad \text{رابطه (۷)}$$

در این رابطه نیز:

- $k$ ، ثابت بولتزمن ( $1.38 \times 10^{-23}$ )

با توجه به دو رابطه اخیر مقادیر  $C_1$  و  $C_2$  عبارتست از:

$$C_1 = 1.9104356 \times 10^{-16}$$

$$C_2 = 1.43876869 \times 10^{-2}$$

### محاسبه شاخص NDV:

قابلیت انتشار از فاکتورهای مهم در الگوریتم روزنه مجزاست که به عنوان یکی از پارامترهای حساس در محاسبه دمای سطح تلقی می‌گردد. لذا در این تحقیق مقدار NDVI محاسبه شد و نقشه آن برای هر یک از روزهای دوره مطالعه ترسیم گردید. با فراهم شدن نقشه NDVI زمینه برای برآورد مقادیر گسیلمندی که دیگر پارامتر مؤثر بر دمای سطح می‌باشد فراهم شد. شکل شماره (۴) نمونه‌ای از نقشه‌های NDVI است که جهت جلوگیری از طولانی شدن مطلب به ارائه فقط یک نمونه از آنها بسنده شده است.

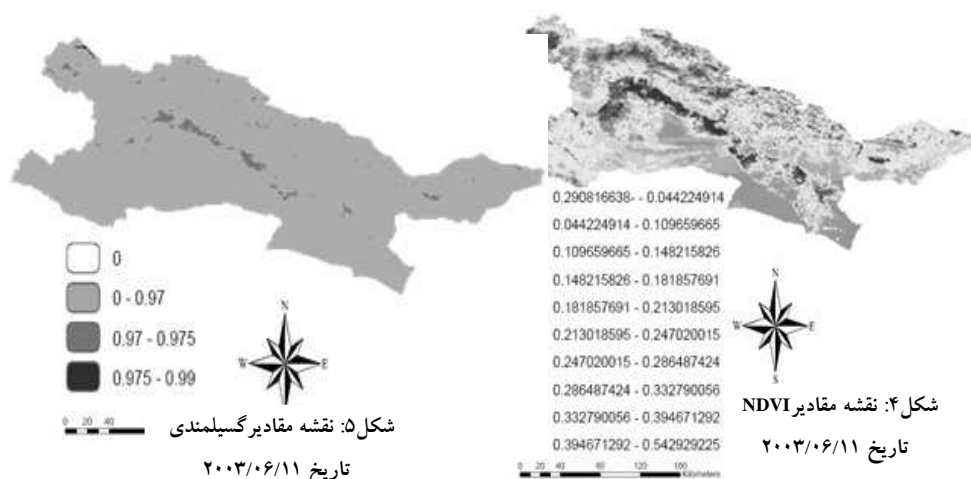
### محاسبه گسیلمندی<sup>۱</sup>

تخمین گسیلمندی سطح زمین و پدیده‌های آن برای استفاده در الگوریتم‌های محاسبه دمای سطح، بسیار ضروری است (لیانگ، ۲۰۰۱). در این تحقیق میزان گسیلمندی محدوده مطالعه با استفاده از نقشه‌های NDVI و روابط (۸) و (۹) محاسبه و اندازه‌گیری شد.

$$\varepsilon_4 = 0.9897 + 0.029 - \ln(NDVI) \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$\Delta\varepsilon = 0.01019 + 0.01344 \times \ln(NDVI) \quad \text{رابطه (۹)}$$

نتایج مقادیر گسیلمندی محاسبه شده نیز به صورت نقشه برای تمام تاریخ‌های مورد مطالعه تعیین و ترسیم شد که در ادامه فقط یک مورد از آنها در قالب شکل شماره (۵) آورده شده است.

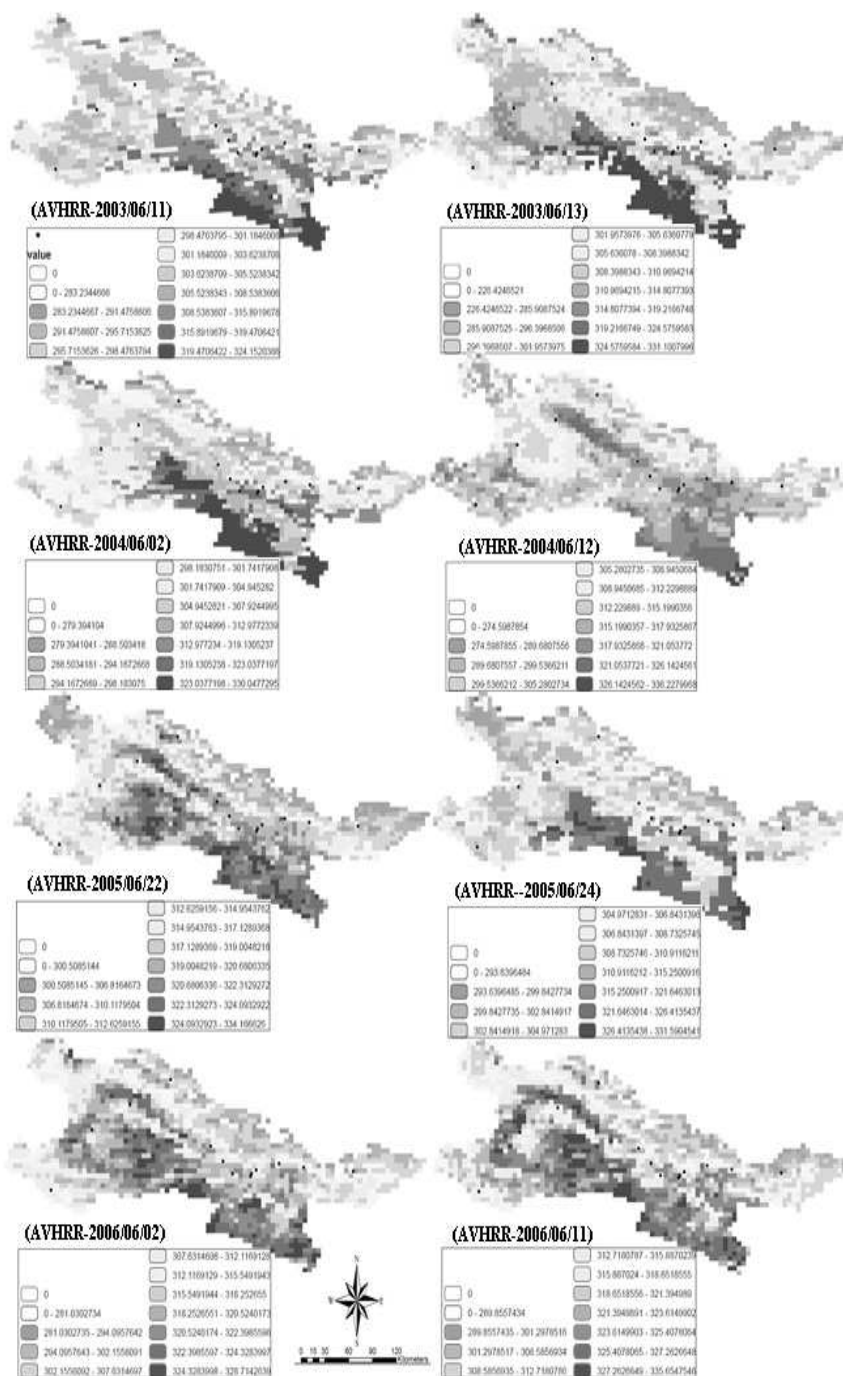


### نتایج برآورد دمای سطح

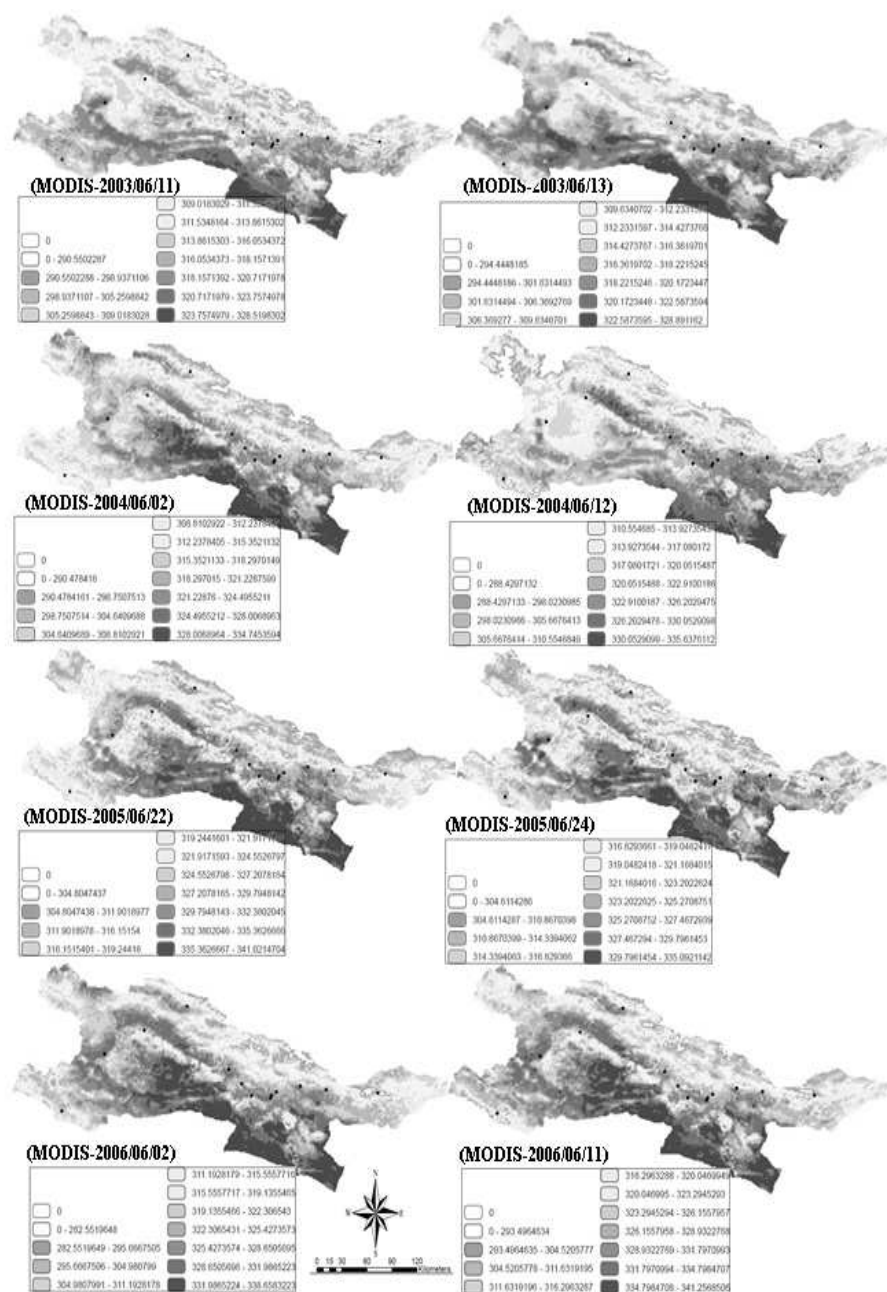
پس از تعیین پارامترهای اشاره شده بر اساس الگوریتم‌های مورد نظر و روند نماهای کلی ارائه شده برای هر یک از سنجنده‌های MODIS و AVHRR، مقادیر دمای سطح برای هر یک از تصاویر جداگانه محاسبه شد. نتایج این محاسبات در قالب نقشه‌های دما برای کل منطقه و هر یک از روزهای دوره مورد مطالعه ارائه شده است (شکل‌های ۶ و ۷).

### اعتبارسنجی مقادیر دمای برآورد شده

پس از محاسبه مقادیر دمای سطح با استفاده از داده‌های هر یک از سنجنده‌ها اطلاعات آنها با مقادیر دمای واقعی مقایسه گردید. برای این مقایسه از داده‌های دمای عمق ۵ سانتیمتری خاک که در ایستگاه‌های سینوپتیک سازمان هواشناسی منطقه ثبت می‌گردد استفاده شد. بدیهی است دما در عمق ۵ سانتیمتری با دمای سطح خاک متفاوت می‌باشد. براین اساس با محاسبه ضریب همبستگی بین مقادیر برآورد شده کل دوره مطالعه با دمای سطح یک رابطه رگرسیونی برقرار شد. با توجه به این رابطه به هر یک از مقادیر مشاهده ایستگاهی بین ۳ تا ۴ درجه سانتیگراد افزوده شد تا مقادیر ثبت شده نیز به دمای سطح نزدیک‌تر باشد. در نهایت جهت اطمینان بیشتر میزان همبستگی خطی بین دمای اندازه‌گیری شده با دمای سطح زمین از طریق ضریب تبیین ( $R^2$ ) محاسبه گردید.



شکل ۶: نقشه‌های دمای برآورد شده برای دوره مطالعه با استفاده از تصاویر سنجنده AVHRR



شکل ۷: نقشه‌های دمای برآورد شده برای دوره مطالعه

با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS

**بحث و نتیجه‌گیری**

بررسی نقشه‌های مورد اشاره بیانگر تبعیت کلی دماهای محاسبه شده در کلیه روزهای مورد مطالعه از شرایط توپوگرافی منطقه است، به نحوی که تقریباً در تمام موارد کمترین مقادیر درجه حرارت مربوط به قسمت‌های شمالی منطقه بوده و به سمت جنوب شاهد کاهش دما هستیم. به‌منظور شناخت بهتر جزئیات و دقت محاسبات صورت گرفته نقشه‌های حاصل از هر یک از تصاویر هر دو سنجنده به‌طور جداگانه با داده‌های دمای ۵ سانتیمتری عمق خاک مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. بدیهی است با توجه به اینکه مقادیر دمای عمق ۵ سانتیمتری خاک نمی‌تواند معرف دمای واقعی سطح زمین باشد، از این رو، با در نظر گرفتن دمای مشاهده ایستگاه‌ها با دمای برآورد شده رابطه رگرسیونی برقرار گردید و با توجه به رابطه بدست آمده بین ۳ تا ۴ درجه سانتیگراد بسته به شرایط ایستگاه‌ها به دمای آنها افزوده شد تا شرایط بهتری نسبت به دمای واقعی سطح برقرار گردد.

جهت اطمینان از نتایج یافته‌های تحقیق مقادیر  $R^2$  برای دماهای برآورد شده از تصاویر سنجنده‌ها و مقادیر مشاهده ایستگاه‌های موجود محاسبه و در جدول شماره (۲) نشان داده شده است. علاوه بر این آزمون توان دوم کای ( $\chi^2$ ) نیز جهت اطمینان بیشتر از صحت مقادیر برآورد شده و روش‌های مورد استفاده برای این تحقیق انجام شد. نتایج این آزمون نیز بیانگر معنی داری نتایج بدست آمده در سطح مطلوب می‌باشد.

جدول ۲: ضرایب همبستگی مقادیر دماهای مشاهده شده و دماهای برآورد شده

ضرایب تاریخ	a	b	r	R <sup>2</sup>	χ <sup>2</sup> (سطح معنی داری ۰.۹۵٪)
۲۰۰۳/۰۶/۱۱	۱/۱۳	۳/۴	-/۸۹	-/۸۰	*
۲۰۰۳/۰۶/۱۳	۱/۱۸	۱۰/۳۳	-/۸۵	-/۷۲	*
۲۰۰۴/۰۶/۱۲	۱/۱	۹/۳۸	-/۹۳	-/۸۷	*
۲۰۰۴/۰۶/۰۲	۱/۱۵	۲/۶۸	-/۹۱	-/۸۲	*
۲۰۰۵/۰۶/۲۲	-/۸۷	۴/۲۵	-/۸۹	-/۷۹	*
۲۰۰۵/۰۶/۲۴	-/۷۸	۷/۲۳	-/۹۱	-/۸۳	*
۲۰۰۶/۰۶/۲	۱/۹۶	۴۲/۰	-/۹۴	-/۸۹	*
۲۰۰۶/۰۶/۱۱	-/۵۳	۱۵/۷۰	-/۹۸	-/۹۷	*
۲۰۰۳/۰۶/۱۱	۱/۴۷	۲۲/۱	-/۸۸	-/۷۹	*
۲۰۰۳/۰۶/۱۳	-/۸۵	۲/۰۴	-/۷۷	-/۵۹	*
۲۰۰۴/۰۶/۱۲	-/۹۴	۴/۲۷	-/۹۳	-/۸۶	*
۲۰۰۴/۰۶/۰۲	-/۸۶	۱۴/۱۰	-/۷۰	-/۴۹	*
۲۰۰۵/۰۶/۲۲	-/۶۱	۱۰/۹۵	-/۷۹	-/۶۳	*
۲۰۰۵/۰۶/۲۴	-/۹۱	۲/۹۰	-/۸۴	-/۷۰	*
۲۰۰۶/۰۶/۲	۳/۵۷	۱۵۱/۸	-/۸۸	-/۷۷	*
۲۰۰۶/۰۶/۱۱	۱/۱۰	۲۰/۲۹	-/۸۲	-/۶۷	*
ضرایب کل دوره مورد مطالعه	-/۹۲۳	-/۰۴۲	-/۸۶	-/۷۴	*

### خلاصه نتایج

- با توجه به نتایج نقشه‌های دمای ترسیم شده بر اساس داده‌های دمای سطح محاسبه شده و با در نظر گرفتن وضعیت توپوگرافی منطقه، شرایط کلی حاکم بر توزیع دما در سطح منطقه توجیه‌پذیر است.
- بالا بودن ضرایب همبستگی در اکثر روزهای دوره مورد مطالعه بویژه در مورد سنجنده AVHRR بیانگر قابل اطمینان بودن الگوریتم مورد استفاده در برآورد دمای سطح زمین از طریق این سنجنده می‌باشد.
- بین مقادیر برآورد سنجنده AVHRR با دمای ایستگاه‌ها ۳/۱ درجه سانتیگراد اختلاف وجود دارد در صورتی که این مقدار برای دماهای محاسبه شده توسط سنجنده MODIS، ۶/۷ درجه سانتیگراد بیشتر از دمای واقعی است.
- با توجه به نزدیک بودن میزان دمای برآورد شده با دمای واقعی سطح زمین به ویژه در مورد سنجنده AVHRR می‌توان نقشه دمای مناطق فاقد ایستگاه هواشناسی را با استفاده از تصاویر سنجنده‌های حرارتی با دقت مناسب تهیه کرد. محاسبه بیکسل به بیکسل دمای سطح زمین با این روش باعث افزایش اعتبار و دقت نقشه‌های حرارتی حاصل می‌گردد.

**کتابشناسی**

۱. امیری، رضا (۱۳۸۴)، «مطالعه تغییرپذیری داده‌های حرارتی TM لندست در ارتباط با کاربری و پوشش زمین و ویژگی‌های آن در منطقه شهری تبریز»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس؛
۲. جوکار ارسنجانی، جمال (۱۳۸۵) «آشکارسازی تنش آبی گیاه نیشکر با استفاده از تصاویر Terra/Aster»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس؛
۳. دانش‌کار آراسته، پیمان (۱۳۸۴)، «تعیین دمای سطح با استفاده از فناوری سنجش از دور در منطقه سیستان» آب و آبخیز، بهار ۱۳۸۴، شماره ۲؛
۴. دشتکیان، کاظم و دهقانی، محمدعلی (۱۳۸۶)، «بررسی دمای سطح زمین در ارتباط با پوشش گیاهی و توسعه شهری با استفاده از سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی در مناطق بیابانی، مطالعه موردی: منطقه - اشکذر» پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، زمستان، شماره ۷۷؛
۵. رحیمی‌خوب، علی (۱۳۸۴)، «ارزیابی چند روش برآورد دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره Noaa در حوزه آبریز دریاچه ارومیه» پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، پاییز، شماره ۶۸.
6. Coops, N. et al (2007), "Estimating afternoon MODIS land surface temperatures (LST) based on morning MODIS overpass, location and elevation information", *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 28 no. 10, PP. 2391-2396;
7. Diak, G. R. and M. S. Whipple, "Improvements to models and methods for evaluating the land-surface energy balance and effective roughness using radiosonde reports and satellite-measured skin temperature data," *Agricul. And Forest Meteorol.* , vol. 63, no. 3-4, PP. 189-218, 1993;
8. Hu, Y. and zhongdong, Y (2006), "A modified land surface temperature split window retrieval algorithm and its applications over China", *Global and Planetary Change*. Vol. 52, PP. 207-215;
9. Bhattacharya, B. K. and Dadhwal, V.K. (2003), "Retrieval and validation of land surface temperature (LST) from NOAA AVHRR thermal images of Gujarat, India", *int. j. remote sensing*, vol. 24, PP 1197-1206;
10. Mao, K. et al (2005), "A practical split-window algorithm for



- retrieving land-surface temperature from MODIS data”, *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 26, No. 15, PP. 3181–3204;
11. Qin, Z. and et al (2001), “A mono-window algorithm for retrieving land surface from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region”, *int. j. remote sensing*, vol. 22, no. 18, PP 3719-3746;
  12. Sinha, A., “Relative influence of lapse rate and water vapor on the greenhouse effect,” *J. Geophys. Res.* , vol. 100, no. D3, PP. 5095-5103, 1995;
  13. Sobrino, J.A. et al (2004), “Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5”, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 91, PP. 377–389;
  14. Vining, R. C. and B. L. Blad, “Estimation of sensible heat flux from remotely sensed canopy temperatures,” *J. Geophys. Res.* , vol. 97, no. D17, PP. 18951-18954, 1992;
  15. Zhan, Z. et al (2004), “The Application of LST/NDVI Index for Monitoring Land Surface Moisture in Semiarid Area” *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004. IGARSS '04. Proceedings. 2004 IEEE International*, PP. 1551-1554;
  16. ZHANG, J. et al (2007), “Change analysis of land surface temperature based on robust statistics in the estuarine area of Pearl River (China) from 1990 to 2000 by Landsat TM/ETM+ data”, *International Journal of Remote Sensing* Vol. 28, No. 10, PP. 2383–2390.