استفاده از دمای سطح خاک برای ریزمقیاس‌سازی دمای هوای ماهانه در فلات مرکزی ایران

یوسف هاشمی‌نژاد، مهدی همایی و علی‌اکبر نوروزی
به ترتیب دانش‌آموخته دکتری فیزیک و حفاظت خاک، استاد گروه آبیاری دانشگاه تربیت مدرس و استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

چکیده

استفاده از داده‌های اقلیمی که در مقیاس نقطه‌ای و با فواصل زیاد تهیه می‌شوند، در مطالعات خاک‌شناسی منطقه‌ای مستلزم ریزمقیاس‌سازی داده‌های اقلیمی است. در این پژوهش از داده‌های دمای سطح خاک حاصل از ماهواره مودیس برای ریزمقیاس‌سازی میانگین دمای هوای ماهانه در پهنه وسیعی از فلات مرکزی ایران استفاده شد. ۶۴۶ تصویر ماهواره مودیس پس از تبدیل‌های لازم مورد استفاده قرار گرفتند. داده‌های دمای هوا از ۲۲ ایستگاه سینوپتیک فلات مرکزی ایران استخراج و در مقابل داده‌های ماهانه‌شده دمای سطح خاک برای مدل‌سازی قرارگرفتند. داده‌ها به دو دسته آموزش و آزمون تقسیم‌بندی شدند. از ضریب تعیین و شاخص‌های RMSE، NRMSE و MAE برای ارزیابی نتایج استفاده شد. نتایج مدل‌سازی حاکی از ضریب تعیین ۹۳ درصد در دسته آموزش مدل و ۹۰ درصد در دسته آزمون مدل بود. شاخص‌های ارزیابی صحت مدل نیز نشان‌دادند که مدل با دقت ۲ تا ۲/۵ درجه سانتی‌گراد قادر به ریزمقیاس‌سازی داده‌های دمای هوا می‌باشد.

واژه های کلیدی: ریزمقیاس‌سازی، دمای‌هوا، دمای سطح خاک، مودیس، فلات مرکزی ایران

مقدمه

مطالعات خاک‌شناسی- تغییراقلیم که در پهنه‌های وسیع انجام‌می‌شوند، علاوه بر داده‌های با جزییات در مورد خاک، نیازمند داده‌های اقلیمی در نقاط نمونه‌برداری خاک نیز هستند. این درحالی است که داده‌های اقلیمی حاصل‌از اندازه‌گیری در محل ایستگاه‌های هواشناسی هستند که عموماً دارای فواصل بسیار زیادی نسبت به یکدیگر هستند. استفاده از این داده‌های بزرگ مقیاس در مطالعات خاک‌شناسی که به‌نسبت ریزمقیاس محسوب می‌شوند نیازمند ریزمقیاس‌سازی[1] این داده‌ها است.

دمای هوا که به‌طور مرسوم در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین اندازه‌گیری می‌شود در دامنه وسیعی از پیش‌بینی‌های هواشناسی (Christiansen, 2005)، هیدرولوژی (Izady et al., 2015) تخمین تبخیر و تعرق (Bruin et al., 2010)، پیش‌بینی عملکرد محصول (Balaghi et al., 2008) و مطالعات تغییر اقلیم (Ji et al., 2014) کاربرد دارد. عوامل زیادی که بر الگوهای توازن انرژی تاثیرگذار هستند، ممکن است باعث تغییرپذیری زمانی و مکانی دمای هوا شوند (Benali et al., 2012). در نتیجه اندازه‌گیری های نقطه‌ای که به‌طور مرسوم از این پارامتر در ایستگاه‌های هواشناسی انجام می‌شود، برای مطالعات مقیاس وسیع مناسب نیستند (Rigor et al., 2000; Kloog et al., 2014) بخصوص برای کشورهای در حال توسعه که شبکه مناسبی برای پایش تغییرات دمای هوا ندارند (Vancutsem et al., 2010; Nasime et al., 2017).

دمای سطح خاک را با استفاده از روش‌های مختلف می‌توان برآورد نمود. مهمترین تصاویر ماهواره‌ای که به‌این منظور به‌کار رفته‌اند تصاویر ماهواره لندست و مودیس هستند. استفاده از تصاویر ماهواره مودیس برای برآورد دمای هوا از روی محصول دمای سطح خاک به‌وسیله برخی محققین گزارش شده است که از آن‌جمله می‌توان به Hereher (2017)؛ Vancutsem et al., (2010) و Wan et al., (2004) اشاره کرد.

[1] - Downscaling

ناسا برای مشاهده و اندازه‌گیری حرکات و تغییرات جهانی، سنجنده‌های ماهواره‌ای پیشرفته‌ای را طراحی، توسعه و پرتاب نموده است. در اوایل دهه ۱۹۸۰ سازمان ناسا برنامه‌ای را با نام سیستم مشاهده کننده زمین[۲] (EOS) شروع کرد. هدف اصلی این برنامه مطالعه کره زمین می‌باشد. این برنامه دارای دو جزء(EOS-AM (Terra و EOS-PM (Aqua) می‌باشد. تفاوت این دو جزء این است که ماهواره حرکت خود را از قطب شروع کرده و به ترتیب در موقع صبح و بعد از ظهر به خط استوا می‌رسد. بر روی هر کدام از این ماهواره‌ها یک سنجنده مودیس[۳] نصب شده است و به این ترتیب سنجنده مودیس کل دنیا را هر یک تا دو روز تصویربرداری می‌کند.

مودیس (اسپکترورادیومتر تصویربردار با قدرت تفکیک متوسط) سنجنده‌ای است که بر روی هر دو ماهواره آکوا و ترا قرار داده شده است. عرض نوار مشاهده آن ۲۳۳۰ کیلومتر است و همه سطح زمین را هر یک تا دو روز مشاهده می‌کند. سنجنده مودیس ۳۶ باند طیفی مختلف را اندازه‌گیری می‌کند و داده‌ها را در سه قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر، ۵۰۰ متر و ۱۰۰۰ متر ذخیره می‌کند.

LSTMOD11A2 -

داده‌های جهانی سنجنده مودیس از دمای سطح زمین و تابش هشت روزه شامل داده‌های یک کیلومتری روزانه از سنجنده مودیس (MOD11A1) هستند و به صورت شبکه سینوسی یک کیلومتری در مقادیر میانگین دوره هشت روزه از آسمان صاف ارایه می‌شوند. MOD11A2 شامل مقادیر دمای سطح زمین روزانه و شبانه، ارزیابی کیفیت، زمان مشاهده، زاویه مشاهده، بیتهای آسمان صاف در روز و شب و مقادیر تابش است، که در باندهای ۳۱ و ۳۲ از روی نوع پوشش سطحی تخمین زده شده است.

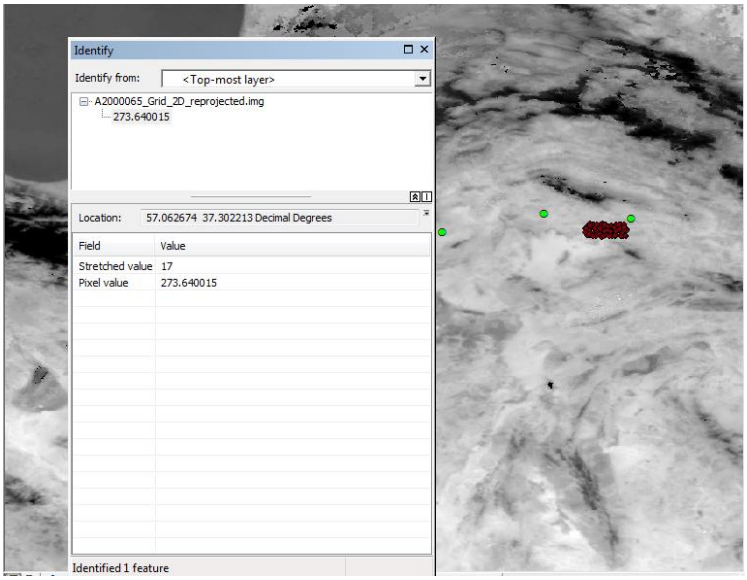
مواد و روش‌ها

برای تعیین دمای سطح خاک از محصول MOD11A2 سنجنده مودیس استفاده شد. با توجه به این‌که تصاویر مورد اشاره در فواصل ۸ روزه ارایه می‌شوند در مجموع ۶۴۶ تصویر دمای سطح خاک از ردیف گذر مناسب اخذ شدند. باندهای مربوط به دمای روز استخراج و در محیط ENVI تبدیل شدند تا در محیط ARC-GIS قابل استفاده باشند.

به این منظور از داده‌های دمای میانگین هوای ماهانه ۱۵ ایستگاه سینوپتیک فلات مرکزی ایران واقع در زون ۴۰ به عنوان آموزش و ۷ ایستگاه سینوپتیک فلات مرکزی ایران واقع در زون ۴۰ به عنوان آزمون استفاده شد. در این مطالعه از ۶۴۶ تصویر هشت روزه سنجنده مودیس از ماهواره EOS با قدرت تفکیک مکانی ۱ کیلومتر در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ استفاده شد. با استفاده از پلاگین MODIS Conversion Toolkit در محیط ENVI Classic تمامی تصاویر یک به یک reproject شده و محصول MOD11A2 برای دمای روزانه استخراج گردید.

بعد از تبدیل تمام تصاویر و استخراج محصول دلخواه تصاویر، موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده در ۲ سال و نیز سه ایستگاه هواشناسی مورد استفاده در این بررسی در محیط آرک جی آی اس فراخونی شدند. شکل ۱ نمونه‌ای از این تصاویر را نشان می‌دهد. در این تصویر که مربوط به روز ۶۵ ام (۵ مارس) از سال ۲۰۰۰ است نقاط تیره‌تر ارتفاعات منطقه هستند که احتمالا در آن تاریخ به وسیله برف پوشیده شده و با دمای نزدیک به صفر درجه سانتیگراد (۲۷۳ کلوین) مشخص می‌شوند.

[2] - Earth Observation System
[3] - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer



شکل ۱- فراخوانی تصاویر، نقاط نمونه برداری و ایستگاهها به محیط آرک جی آی اس

بعد از فراخوانی جدول اسنادی (Attribute table) به محیط اکسل ابتدا داده‌ها از کلوین به سانتیگراد تبدیل شدند سپس مقادیری که صفر مطلق برای آنها ثبت شده بود کنترل و حذف شدند. سپس روزهای ژولیوسی به تقویم میلادی تبدیل شدند. مجدد داده ها چک شدند و برای تاریخهای فاقد تصویر یک ردیف خالی ایجاد شد. سپس متوسط هر سه یا ۴ مقداری که در یک ماه میلادی واقع شده بودند محاسبه شد. به این ترتیب مقدار LST ماهانه برای موقعیت ایستگاه سینوپتیک سبزوار از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ محاسبه گردید.

شکل ۲ توزیع ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد. ایستگاههایی که برای آموزش استفاده شدند عبارت بودند از:

بیارجمند، سبزوار، نیشابور، قوچان، کاشمر، گناباد، مشهد، بشرویه، بیرجند، فردوس، قاین، رباط پشت بادام، مروست، انار و شهربابک

ایستگاههایی که برای آزمون استفاده شدند عبارت بودند از:

تربت حیدریه، گلمکان، شاهرود، طبس، بافق، یزد، کرمان

شکل ۲- توزیع ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده در این پژوهش در زون ۴۰

برای ارزیابی اعتبارسنجی نتایج مدل از شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطا RMSE (رابطه ۱)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده NRMSE (رابطه ۲) و میانگین قدرمطلق خطا MAE (رابطه ۳) استفاده شد. در روابط زیر y_i، $\hat{y}_i$، $\bar{y}$ و n به ترتیب مقادیر پارامتر واقعی، پارامتر برآوردشده، میانگین پارامتر واقعی و تعداد است.

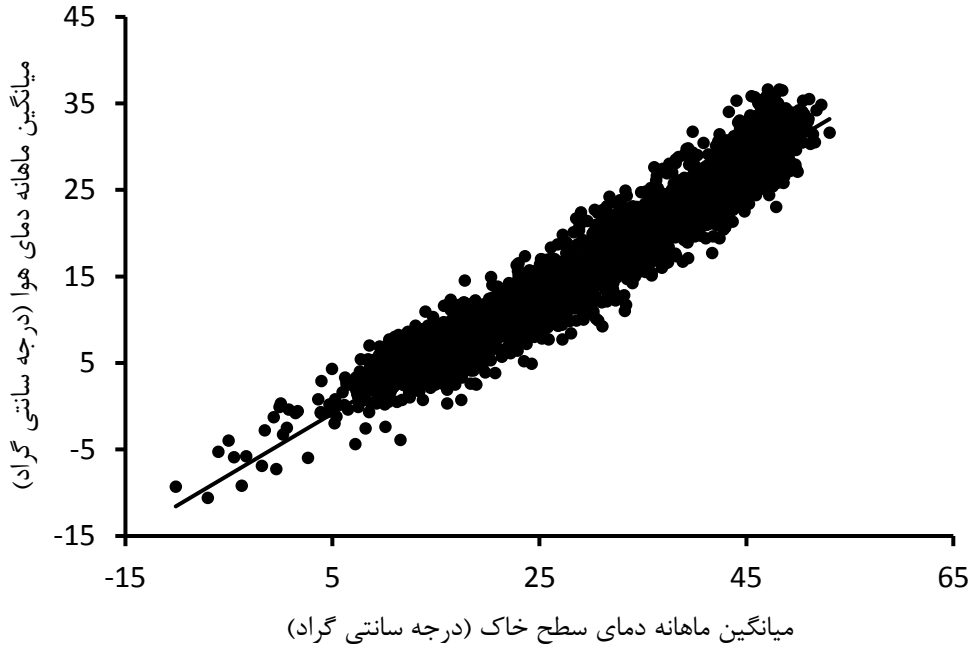
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (۱)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{y}} \quad (۲)$$

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|y_i - \hat{y}_i| \quad (۳)$$

نتایج و بحث

رابطه همبستگی بین میانگین ماهانه دمای سطح خاک و میانگین ماهانه دمای هوا برای دسته آموزش مدل در شکل ۳ نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که هم‌بستگی قوی بین این دو پارامتر در دسته آموزش مدل برقرار است. به‌این‌ترتیب در دامنه وسیعی از تغییرات دمایی می‌توان از رابطه (۴) برای پیش‌بینی دمای هوا استفاده کرد.

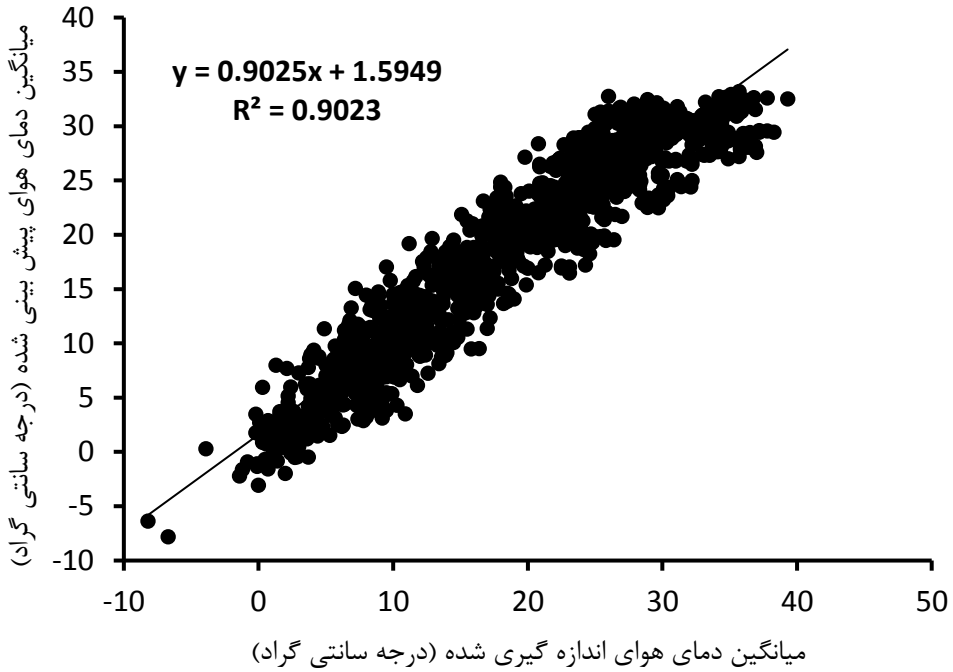


شکل (۳) رابطه بین دمای هوای میانگین ماهانه و دمای سطح خاک میانگین ماهانه در ۱۵ ایستگاه سینوپتیک فلات مرکزی ایران واقع در زون ۴۰.

باتوجه به ضریب تبیین بالای این رابطه هم‌بستگی می‌توان برای همه پیکسل‌های تصاویر ماهواره مودیس مقادیر دمای هوا را پیش‌بینی کرد. به‌این ترتیب ریزمقیاس‌سازی داده‌های اقلیمی امکان‌پذیر خواهد بود.

$$LST = 0.7086(T) - 4.3885 \qquad R^2 = 0.9291 \quad (۴)$$

قبل از استفاده از رابطه (۴) برای ریزمقیاس‌سازی داده‌های دمای هوا لازم است تا صحت این رابطه اعتبارسنجی و آزمون شود. به‌این منظور از داده‌های ایستگاه‌های آزمون مدل استفاده شد. نتیجه اعتبارسنجی دسته آزمون مدل در شکل (۴) نشان‌داده شده است. به‌این ترتیب مشاهده می‌شود که هم ضریب تعیین و هم شیب خط رگرسیون حدود ۰/۹ و به خط ۱:۱ بسیار نزدیک می‌باشد.



شکل (۴) اعتبارسنجی نتایج پیش‌بینی دمای سطح خاک در ۷ ایستگاه سینوپتیک فلات مرکزی ایران

شاخص‌های ارزیابی صحت مدل نیز در جدول (۱) نشان داده شده است. با توجه به این جدول مشخص می‌شود که استفاده از دمای سطح خاک رابطه (۴) برای ریزمقیاس سازی داده‌های دمای هوا ناشی از اندازه‌گیری ایستگاه‌های سینوپتیک منجر به حدود ۲ تا ۲/۵ درجه سانتی‌گراد خطا در برآورد دمای هوای میانگین ماهانه در فلات مرکزی ایران می‌شود.

جدول (۱) شاخص‌های ارزیابی صحت مدل برای پیش‌بینی دمای هوا از روی دمای سطح خاک در فلات مرکزی ایران

گروه داده	تعداد	NRMSE	RMSE (°C)	MAE (°C)
آموزش	۲۵۶۵	۰/۱۴	۲/۵۶	۲/۰۴
آزمون	۱۱۹۷	۰/۱۷	۳/۱۰	۲/۴۵

به‌عنوان جمع‌بندی نهایی نتایج این تحقیق نشان‌داد که استفاده از محصول دمای سطح خاک ماهواره مودیس می‌تواند منجر به ریزمقیاس‌سازی داده‌های دمای هوا حاصل از ایستگاه‌های سینوپتیک در فلات مرکزی ایران شود. هرچند استفاده از این روش در مقیاس روزانه و یا در سایر شرایط اقلیمی کشور نیازمند بررسی بیشتر می‌باشد.

منابع

هاشمی‌نژاد، ی. ۱۳۹۴. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر شورشدن اولیه و ثانویه خاک. پایان‌نامه‌ی دکتری خاک‌شناسی، دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.

Balaghi R., Tychon B., Eerens H. and Jlibene M. 2008. Empirical regression models using NDVI, rainfall and temperature data for the early prediction of wheat grain yields in Morocco. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. 10 (4): 438-452. http://doi.org/10.1016/j.jag.2006.12.001.

Benali A, Carvalho AC, Nunes JP, Carvalhais N, Santos A. 2012. Estimating air surface temperature in Portugal using MODIS LST data. Remote Sens. Environ. 124: 108-121. http://doi.org/10.1016/j.rse.2012.04.024.

Christiansen B. 2005. Downward propagation and statistical forecast of the near-surface weather. J. Geophys. Res., 110 (D14104): 2156-2202. http://dx.doi.org/10.1029/2004JD005431

Hereher, M.E. 2017. Retrieving spatial variations of land surface temperatures from satellite data–Cairo region, Egypt. Geocarto International. 32 (5): 556-568. http://dx.doi.org/10.1080/10106049.2016.1161077.

Izady A, Davary K, Alizadeh A, Ziaei AN, Akhavan S, Alipoor A, Joodavi A, Brusseau ML. 2015. Groundwater conceptualization and modeling using distributed SWAT-based recharge for the semi-arid agricultural Neishaboor plain, Iran. Hydrogeol. J. 23(47): 47-68. DOI: 10.1007/s10040-014-1219-9

Ji F, Wu Z, Huang J, Chassignet EP. 2014. Evolution of land surface air temperature trend. Nat. Clim. Change. 4: 462- 466. doi:10.1038/nclimate2223.

Kloog I, Nordio F, Coull BA, Schwartz J. 2014. Predicting spatiotemporal mean air temperature using MODIS satellite surface temperature measurements across the Northeastern USA.Remote Sens. Environ. 150: 132-139. http://doi.org/10.1016/j.rse.2014.04.024.

Nasime J., Sadeghi M., Sanaeinejad S.H., Bakhshian E., Farid A., Hasheminia S.M. and Ghazanfari S. 2017. A statistical framework for estimating air temperature using MODIS land surface temperature data. International Journal of Climatology. 37 (3): 1181-1194. http://dx.doi.org/10.1002/joc.4766

Rigor IG, Colony RL, Martin S. 2000. Variations in surface air temperature observations in the Arctic, 1979–97. J. Clim. 13(5): 896- 914. http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<0896:VISATO>2.0.CO;2

Vancutsem C., Ceccato P., Dinku T. and Connor S.J. 2010. Evaluation of MODIS land surface temperature data to estimate air temperature in different ecosystems over Africa, Remote Sensing of Environment, Volume 114, Issue 2, 15 February 2010, Pages 449-465, ISSN 0034-4257, http://doi.org/10.1016/j.rse.2009.10.002.

Wan, Z., Wang, P. and Li, X. 2004. Using MODIS Land Surface Temperature and Normalized Difference Vegetation Index products for monitoring drought in the southern Great Plains, USA. International Journal of Remote Sensing. 25(1): 61-72. http://dx.doi.org/10.1080/0143116031000115328

Application of Land Surface Temperature for Downscaling Monthly Air Temperature in the Central Plateau of Iran

Y. Hasheminejhad[1], M. Homaee[2] and A. Norouzi[3]
PhD. Graduated of Soil Science, 2- Professor of Irrigation and Drainage Department Tarbiat Modares University and 3- Professor Assistant Soil Conservation and Watershed Management Research Center, AREEO

Abstract:
Implementation of climatic data which are produced in point scales with high distances, in soil surveys of regional scales needs downscaling of these data. Land surface temperature (LST) of MODIS images were used in this research to downscale the monthly air temperature in a vast area of Iran's central plateau. 646 MODIS images were used after transformations of data. Monthly air temperature of 22 synoptic stations in the central plateau were extracted and modeled against LST. Data were divided into two groups for training and testing the model. Determination coefficients, RMSE, NRMSE and MAE indices were used for evaluation of results. Modeling results showed 93% determination coefficient for training and 90% in testing data sets. Model precision indices also showed that the model is able to downscale air temperature data in the range of 2-2.5 ℃.

Keywords: Downscaling, air temperature, Land Surface Temperature, MODIS, Iran's central plateau