Archive of SID.ir

J. RS. GEOINF. RES. 2(2): 205-218, Summer & Autumn 2024

Journal of Remote Sensing and Geoinformation Research
(JRSGR)
Homepage: jrsgr.sru.ac.ir

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Evaluation of Surface Temperature Changes in Ilam City with a Combined Approach to Geostatistical Models and Spatial Information Systems

A. Vafaeinejad*[*,1], F. Hemati[2], S. Haery[3]

[1] *Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran*
[2] *Faculty of Environment and Energy, Islamic Azad University Science and Research Branch, Tehran, Iran*
[3] *Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran*

Received: 14 July 2024
Reviewed: 26 August 2024
Revised: 09 October 2024
Accepted: 29 October 2024

KEYWORDS:
Geostatistical model
Spatial Information System
Surface temperature changes
Ilam

* Corresponding author
a_vafaei@sbu.ac.ir
(+9821) 73932452

ABSTRACT

Background and Objectives: Monitoring and analyzing variations in land surface temperature is essential for agriculture, biodiversity, human health, and water resources as it is a major indication of climate change. By analyzing and assessing these alterations, one can get a thorough understanding of the causes and effects of global warming and be better equipped to take preventative and remedial action against this rapidly spreading phenomena. Because remote sensing data may show the features of land phenomena and their spatial distribution at various scales, it is crucial to gather LST. Several factors need to be taken into account, including data distribution and spatial correlation analysis, associated geostatistical model investigation, model selection, and result validation. In light of the foregoing, the purpose of this research is to ascertain the trend of variations in LST in Ilam County and to propose a suitable mathematical model for the interpolation of meteorological station data in the area.

Methods: The thermal band of the Landsat 7 satellite has proven to be an effective tool in this research to study changes in surface temperature in Ilam city. The data in this band, which is recorded as thermal radiation emitted from the register, allows the surface to be calculated with a reasonable degree of accuracy. One benefit of using satellite images is their large coverage and periodicity, which allows the study of changes in surface temperature in a region and over time. This comprehensive view allows the temperature changes in Ilam city to be well-analyzed and the factors that affect these changes are identified in various locations. To do this, a regular grid with 291 points was sampled from satellite photos. Next, experimental variogram points were created using the geostatistical method, and various spatial models, including Gaussian, exponential, circular, and spherical, were fitted to the sampled data. Ultimately, distinct surface temperature maps have been produced using the normal kriging interpolation method and each of these models. The correctness of each map has been determined using statistical markers like the coefficient of determination and root mean square error.

Findings: The findings of the study demonstrate that the thermal band data from the Landsat 7 satellite exhibits a Gaussian geographical pattern, and this model provides a strong justification for the observed spatial variations in surface temperature. The findings demonstrate that the Gaussian spatial model fits the experimental variogram of surface temperature in the investigated region the best. This demonstrates that variations in surface temperature in this area are spatially autocorrelated, with the correlation between locations decreasing with increasing distance. High accuracy interpolated maps are produced by the traditional kriging approach using the Gaussian model. These maps' coefficient of determination was 0.94, indicating a good degree of agreement between the estimated and real surface temperature data.

Conclusion: The integration of remote sensing data and geostatistical methods offers a powerful tool for examining spatial variations and interpolating environmental data, including land surface temperature changes. In this study, the pattern of LST changes in Ilam County was determined using satellite remote sensing data, and the Gaussian model was introduced as the optimal spatial model for interpolating LST at weather stations. Data analysis revealed that LST in the region has increased significantly over the past few decades.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

NUMBER OF REFERENCES	NUMBER OF FIGURES	NUMBER OF TABLES
37	18	7

مقاله پژوهشی

ارزیابی تغییرات دمای سطحی در شهرستان ایلام با رویکردی ترکیبی به مدل‌های زمین‌آماری و سامانه‌های اطلاعات مکانی

علیرضا وفایی نژاد*[۱]، فرشاد همتی[۲]، ثنا حایری[۳]

[۱] دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
[۲] دانشکده محیط‌زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران
[۳] گروه نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: بررسی و ارزیابی تغییرات دمای سطحی، به‌عنوان یکی از شاخص‌های کلیدی تغییرات آب‌وهوایی، نقشی حیاتی در سلامت انسان، کشاورزی، منابع آب و تنوع زیستی ایفا می‌کند. بررسی و ارزیابی این تغییرات، درک عمیقی از روند گرمایش زمین و پیامدهای آن به ارمغان می‌آورد و به اتخاذ اقدامات پیشگیرانه و سازگارانه در برابر این پدیده شتابان، کمک می‌کند. برای دستیابی به تغییرات دمای سطحی، وجود داده‌های سنجش از دور به‌دلیل قابلیت نمایش خصوصیات پدیده‌های زمینی و توزیع مکانی آن‌ها در مقیاس‌های گوناگون، ضروری است. بررسی توزیع و همبستگی مکانی داده‌ها، بررسی مدل‌های زمین آماری مرتبط، انتخاب مدل بهینه و در نهایت، صحت‌سنجی نتایج از مواردی است که باید در نظر گرفته شود. با توجه به موارد یاد شده، هدف از این مطالعه، تعیین الگوی تغییرات دمای سطحی در شهرستان ایلام و ارائه مدل ریاضی مناسب برای درون‌یابی داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی در منطقه است.

روش‌ها: در این پژوهش، از باند حرارتی ماهواره لندست ۷ به‌عنوان ابزاری کارآمد برای مطالعه تغییرات دمای سطحی در شهرستان ایلام استفاده شده‌است. اطلاعات موجود در این باند، که به صورت تابش حرارتی ساطع شده از زمین ثبت می‌شود، امکان محاسبه دمای سطح را با دقت قابل قبولی فراهم می‌کند. مزیت کلیدی استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، پوشش مکانی وسیع و تناوب زمانی مناسب آن‌ها است که امکان بررسی تغییرات دمای سطحی را در مقیاس منطقه‌ای و در طول زمان فراهم می‌کند. این امر دیدگاهی جامع فراهم می‌کند تا توزیع فضایی تغییرات دما در شهرستان ایلام به خوبی تجزیه‌وتحلیل شود و عوامل مؤثر بر این تغییرات در مقیاس‌های مختلف مکانی شناسایی شود. بدین منظور، یک شبکه منظم شامل ۲۹۱ نقطه بر روی تصاویر ماهواره‌ای نمونه‌گیری شده و سپس با استفاده از روش زمین‌آمار، نقاط واریوگرام تجربی محاسبه شده است و مدل‌های مختلف فضایی مانند گوسی، نمایی، دایره‌ای و کروی بر آن‌ها برازش شده‌است. در نهایت، با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی و به‌کارگیری هر کدام از این مدل‌ها، نقشه‌های جداگانه‌ای از دمای سطحی ایجاد و دقت هر یک با استفاده از شاخص‌های آماری مانند ضریب تعیین و جذر میانگین مربعات خطا محاسبه شده‌است.

یافته‌ها: نتایج پژوهش، نشان می‌دهد که اطلاعات باند حرارتی ماهواره لندست ۷ دارای الگوی فضایی گوسی می‌باشد و تغییرات مکانی دمای سطحی با این مدل به خوبی قابل توجیه است. نتایج نشان می‌دهد که مدل فضایی گوسی بهترین برازش را برای واریوگرام تجربی دمای سطحی در منطقه مورد مطالعه دارد. این موضوع، نشان‌دهنده آن است که تغییرات دمای سطحی در این منطقه به‌صورت فضایی خود همبسته هستند و با افزایش فاصله، همبستگی بین نقاط کاهش می‌یابد. نقشه‌های درون‌یابی شده با استفاده از مدل گوسی در روش کریجینگ معمولی از دقت بالایی برخوردار هستند. ضریب تعیین این نقشه‌ها برابر با ۰/۹۴ به‌دست‌آمد که نشان‌دهنده تطابق بالای بین مقادیر برآورد شده و مقادیر واقعی دمای سطحی است. همچنین جذر میانگین مربعات خطای این نقشه‌ها ۱/۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که نشان‌دهنده دقت بالای آن‌ها در برآورد دمای سطحی در نقاط مختلف منطقه است.

نتیجه‌گیری: ترکیب داده‌های سنجش از دور و روش‌های زمین‌آمار، ابزاری قدرتمند برای بررسی تغییرات مکانی و درون‌یابی داده‌های محیطی از جمله تغییرات دمای سطحی به‌شمار می‌رود. در این مطالعه، الگوی تغییرات دمای سطحی

تاریخ دریافت: ۲۴ تیر ۱۴۰۳
تاریخ داوری: ۰۵ شهریور ۱۴۰۳
تاریخ اصلاح: ۱۸ مهر ۱۴۰۳
تاریخ پذیرش: ۰۸ آبان ۱۴۰۳

واژگان کلیدی:
مدل زمین‌آماری
سامانه اطلاعات مکانی
تغییرات دمای سطحی
ایلام

* نویسنده مسئول
a_vafaei@sbu.ac.ir
۰۲۱-۷۳۹۳۲۴۵۲

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

در شهرستان ایلام با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سنجش از دور تعیین شده و مدل گوسی به‌عنوان مدل فضایی بهینه جهت درون‌یابی دمای سطحی ایستگاه‌های هواشناسی معرفی شده‌است. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها نشان داد که دمای سطحی در این منطقه در طول چند دهه گذشته به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است.

مقدّمه

داده‌های سنجش از دور قادر به نمایش خصوصیات برخی از پدیده‌های زمینی و همچنین نحوه توزیع مکانی آن‌ها در مقیاس‌های مختلف می‌باشند. از طرفی دیگر، اولین و مهم‌ترین گام در انجام درون‌یابی داده‌های برداشت‌شده صحرایی، بررسی همبستگی مکانی آن‌ها و معرفی مدل بهینه جهت اعمال وزن مناسب برای درون‌یابی آن متغیر در منطقه است. بنابراین، با کمک داده‌های سنجش از دور که مناسب متغیر مورد مطالعه باشد، امکان بررسی نحوه توزیع مکانی و تغییرات آن شاخص وجود دارد[۲,۱].

زمین آمار یا آمار مکانی مجموعه‌ای از روش‌های آماری است که همبستگی فضایی و روند تغییرات داده‌های نقاط را نسبت به یک منبع شرح و آن را در انواع مختلف مدل‌های فضایی نشان می‌دهد[۴,۳]. اخیراً کاربرد روش‌های ژئواستاتیستیکی در اکولوژی طبیعی رایج شده و در این عرصه بسیار مفید واقع شده‌است[۵]. در بررسی‌های آمار کلاسیک، اجزاء یا نمونه‌هایی از کل جامعه که به منظور شناخت آن جامعه برداشت می‌شوند، فاقد اطلاعات موقعیتی در فضا بوده و به‌عبارت دیگر، نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری نمونه‌ها مستقل از موقعیت فضایی آن‌ها مورد تحلیل قرار می‌گیرد؛ در حالی‌که در زمین آمار علاوه بر مقدار یک کمیت معین در یک نمونه، موقعیت فضایی نمونه نیز مورد توجه قرار می‌گیرد[۶]. بدین لحاظ می‌توان موقعیت فضایی نمونه‌ها را همراه با مقدار کمیت مورد نظر، تحلیل کرد. به‌عبارت دیگر، باید بتوان بین مقادیر مختلف یک کمیت در جامعه نمونه و فاصله و جهت قرارگیری نمونه‌ها نسبت به هم ارتباطی برقرار کرد. این ارتباط فضایی بین مقدار یک کمیت در جامعه نمونه‌های برداشت‌شده ممکن است در قالب‌های ریاضی قابل بیان باشد که به این قالب‌های ریاضی ساختار فضایی گفته می‌شود[۷].

سنجش از دور حرارتی پیرامون پردازش و تفسیر داده‌های به‌دست آمده در ناحیه مادون قرمز حرارتی و طیف الکترومغناطیس بحث می‌کند و تابش ساطع شده از سطح هدف، اندازه‌گیری می‌شود. به‌دلیل ماهیت متفاوت داده‌های سنجش از دور حرارتی به داده‌های سنجش از دور انعکاسی و همچنین قدرت تفکیک مکانی متفاوت این نوع داده، تاکنون در مطالعاتی مانند طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای از داده‌های سنجش از دور حرارتی صرف نظر می‌شده است. اما امروزه به دلیل اهمیت سنجش از دور حرارتی در مطالعات محیطی، بسیاری از محققان، تحقیقات پایه در زمینه سنجش از دور حرارتی و توسعه بیشتر فناوری سنجنده‌ها و کاربردهای جدید باندهای حرارتی را ضروری دانسته‌اند. از طرف دیگر حرارت به‌عنوان کمیت مهم ترمودینامیکی می‌تواند برای شناسایی ماده و انتقال حرارت استفاده‌شود؛ زیرا حرارت آن چنان عامل مهمی در درک سیستم بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی در زمین و فضاست که با اطمینان می‌توان گفت که باید در هر مطالعه مرتبط با علوم زمین مدنظر قرارگیرد. ۹۵٪ از کل انرژی وارده به کره زمین به صورت تشعشعات خورشیدی است و تقریباً نیمی از این مقدار به حرارت تبدیل می‌شود و ۲۳٪ آن صرف پدیده تبخیر و نزولات و تنها ۱۲٪ صرف فتوسنتز گیاهان می‌شود. خورشید مهم‌ترین منبع انتشار امواج الکترومغناطیسی مورد نیاز در سنجش از دور است. تمامی مواد در درجه حرارت بالاتر از صفر مطلق از خود امواج الکترومغناطیسی ساطع می‌کنند. میزان انرژی ساطع شده از یک ماده با توان چهارم دمای ماده نسبت مستقیم دارد؛ یعنی با افزایش دما، سرعت تابش ساطع شده از ماده افزایش می‌یابد. همان‌گونه که کل انرژی ساطع شده از یک جسم با دما تغییر می‌کند، توزیع انرژی ساطع شده نیز متغیر است[۹,۸,۷].

دمای سطح زمین، یک عامل مهم در مطالعه تغییرات جهانی میزان تابش تخمینی در مطالعات تعادل گرمایی و یک عامل کنترل‌کننده در مطالعات مدل‌های اقلیمی است. علم به دمای سطح زمین برای موضوعات مربوط به زمین مانند اقلیم شناسی شهری، تغییرات محیطی جهانی و برهم کنش‌های متقابل انسان و محیط از اهمیت فراوانی برخوردار است. دمای سطح زمین می‌تواند اطلاعات مهمی درباره مشخصات فیزیکی سطح زمین و آب‌وهوا، ارائه‌دهد[۱۰]. برای دستیابی به این مهم، می‌توان از مزایای سنجش از دور که در دسترس بودن سریع، تصاویر با وضوح بالا، قابلیت تکرار شونده پوششی و قابلیت اندازه‌گیری شرایط سطح زمین می‌باشد، بهره برد [۱۱].

هر یک از شاخص‌های محیطی دارای رفتاری در طبیعت هستند که پیش‌بینی یا تخمین آن‌ها نیازمند گزینش روشی خاص می‌باشد. روش انتخاب‌شده تابعی از شرایط حاکم بر همان مجموعه از داده‌ها است، به طوری که برای شاخص‌های دیگر و یا شرایط محیطی دیگر صدق نمی‌کند. انتخاب نامناسب مدل بهینه باعث می‌شود تا وزن اختصاص یافته به هر یک از نقاط نقشه غیردقیق شود و در نهایت، تخمین نادرستی از آن شاخص در نقاط مورد نظر صورت‌گیرد. از طرفی برای تعیین مدل مناسب، به داشتن یک آمار دقیق و کافی از شاخص مورد مطالعه نیاز است؛ همچنین، محل‌های نمونه‌گیری باید نماینده خوبی از شاخص مورد نظر در منطقه مورد مطالعه باشند. رعایت همه موارد یادشده جهت منطبق نمودن مشاهده‌ها با طبیعت حاکم بر آن منطقه صورت می‌گیرد بنابراین، چنانچه منبعی وجود داشته باشد که بتواند طبیعت و نحوه تغییرات مکانی شاخص مورد مطالعه را نشان دهد، می‌تواند باعث کاهش خطای تخمین در عملیات درون‌یابی شود[۱۳,۱۲,۸]. تصاویر ماهواره‌ای دارای چنین قابلیتی هستند؛ به‌طوری که که قادر به نمایش نحوه تغییر برخی شاخص‌های زمینی

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

می‌باشند. بنابراین، با به‌کارگیری سنجش از دور می‌توان رفتار کلی یک پدیده را مطالعه کرد و روند تغییرات آن را مشاهده نمود. لازمه استفاده از این تکنیک، شناخت ماهیت تصاویر اخذ شده توسط سنجنده‌های مختلف ماهواره‌ای و نیز نحوه ارتباط آن با عامل محیطی و شاخص مورد مطالعه می‌باشد[۱۶,۱۵,۱۴].

در سال ۲۰۲۳، Tayebi و همکاران مطالعه‌ای با هدف بررسی پتانسیل کاربرد روش‌های درون‌یابی برای حل مشکل پوشش ابری در تصاویر ماهواره‌ای انجام دادند. در این تحقیق از روش تخمین زمین آماری OK با انواع مختلف محله‌ها برای پیش‌بینی مقادیر پیکسل در زیر ابرها استفاده شده است. محققان ابتدا تغییرپذیری فضایی سه باند اصلی (RGB) را با برازش مدل‌های واریوگرام، بر روی واریوگرام‌های تجربی بررسی‌کردند. این کار اجازه داد تا رفتار فضایی داده‌ها در اطراف منطقه تحت پوشش ابر تجزیه‌وتحلیل شود. سپس از محله‌های مختلف برای تخمین مقادیر پیکسل در زیر ابرها استفاده‌شده و نتایج با هم مقایسه شدند. نتایج این مطالعه، نشان‌داد که ابزارهای زمین آمار همراه با GIS پیش و پس از پردازش تصاویر می‌توانند با موفقیت برای محدود کردن مشکل پوشش ابری در تصاویر ماهواره‌ای اعمال شوند. این مطالعه، نشان می‌دهد که روش‌های تخمین عددی پتانسیل قابل توجهی برای حل مشکل پوشش ابری در تصاویر ماهواره‌ای دارند[۱].

Zakeri و همکاران در پژوهشی، کاربردهای مختلف شبیه‌سازی زمین‌آماری در داده‌های سنجش از دور را بررسی‌کردند. در این تحقیق، انواع مختلف مدل‌های شبیه‌سازی مورد بحث قرار گرفت و ویژگی‌ها و مزایای هر رویکرد بررسی شد. همچنین، کاربردهای هر مدل شبیه‌سازی در حوزه‌های مختلف علوم طبیعی، از جمله خاک، پوشش گیاهی، توپوگرافی و علوم جوی دسته‌بندی شد. طیف گسترده‌ای از مدل‌های شبیه‌سازی زمین‌آماری برای داده‌های سنجش از دور وجود دارد که هر کدام نقاط قوت و ضعف خود را دارند. مدل‌های پارامتریک رایج‌ترین مدل‌های مورد استفاده هستند. مدل‌های مبتنی بر TI پتانسیل استفاده کامل از محتوای اطلاعات مکانی غنی تصاویر سنجش از دور را دارند، اما هنوز به طور کامل مورد کاوش قرار نگرفته‌اند. شبیه‌سازی زمین‌آماری می‌تواند برای طیف گسترده‌ای از وظایف پردازش داده‌های سنجش از دور، از جمله کاهش مقیاس، طراحی نمونه‌برداری، پر کردن شکاف و ارزیابی خطا استفاده شود. این بررسی نشان می‌دهد که شبیه‌سازی زمین‌آماری یک ابزار ارزشمند برای پردازش و تجزیه‌وتحلیل داده‌های سنجش از دور است[۲].

Atkinson و همکاران در تحقیقی، توسعه و کاربرد مدل‌های آماری فضایی در سنجش از دور نوری ماهواره‌ای را بررسی کردند. این پژوهش بر توسعه یک مدل مفهومی متمرکز شد که شامل فرآیندهای اندازه‌گیری و نمونه‌برداری ذاتی در سنجش از دور است. تصاویر سنجش از دور تابعی از آن‌چه که در واقعیت وجود دارد و فرآیندهای نمونه‌برداری مکانی (فضا- زمان) هستند. همچنین مشخصات زمین آماری RF می‌تواند در آشکارکردن مقیاس‌های تغییرات مکانی در داده‌های مکانی و محتوای اطلاعات بالقوه مفید باشد. این پژوهش، نشان داد که درک مفهومی محکم از اندازه‌گیری و نمونه‌برداری از طریق مدل‌های داده تا توصیف مدل‌های آماری، کلید استنتاج و پیش‌بینی مفید است. همچنین توسعه یک مدل مفهومی مناسب قبل از انتخاب روش‌های آماری فضایی ضروری می‌باشد[۳].

میرموسوی و همکاران در پژوهشی که در سطح استان اصفهان انجام گرفته است از سه روش کریجینگ ساده، معمولی و یونیورسال جهت تعیین پارامتر میانگین بارندگی سالانه استان اصفهان استفاده‌کردند و در نهایت روش کریجینگ معمولی با مدل واریوگرام دایره‌ای به‌عنوان مناسب‌ترین روش برای درونیابی اطلاعات مقادیر بارندگی سالانه انتخاب و نقشه بارندگی بر اساس این مدل تهیه شد[۱۷].

میثاقی و همکاران در تحقیقی که در حوزه آبریز رودخانه مارون انجام گرفت به این نتیجه رسیدند که روش‌های زمین آماری کریجینگ و کوکریجینگ نسبت به دیگر روش‌ها جهت استخراج خطوط هم‌باران در این حوزه آبریز برتری داشته و لذا تخمین‌گرهای کریجینگ و کوکریجینگ دارای این توانایی هستند که در نقاط فاقد آمار با دقت قابل قبولی برای برآورد نقاط مجهول استفاده شوند [۱۸].

تحقیقی به‌منظور پایش و تحلیل مکانی خشکسالی در سطح استان گلستان با استفاده از روش‌های زمین آماری انجام گرفته‌است و تعدادی ایستگاه باران سنجی با پراکنش مناسب در سطح استان انتخاب شده و سپس برای پایش و سنجش خشکسالی در هر منطقه، روش‌های GPI و IDW قطعی درونیابی و RBF و روش زمین آماری کریجینگ مورد استفاده قرار گرفته است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده روش‌های درونیابی کریجینگ در دوره‌های زمانی مختلف در پهنه‌بندی شدت خشکسالی، نتایج بهتری را نشان داده و مقادیر برآورد شده در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده دارای بیشترین میزان همبستگی و کمترین میزان ریشه میانگین مربع خطاها با استفاده از این تخمین‌گر می‌باشد[۱۹].

ایوبی و همکاران به بررسی تغییرات مکانی فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از روش‌های زمین آمار و GIS در حوزه آبخیز مهر سبزوار پرداخت. آنالیزهای زمین آماری نشان دادند که مدل‌های کروی، گوسی و نمایی برای متغیرهای مورد بررسی خاک در این منطقه مناسب‌تر هستند[۲۰].

عمادی و همکاران در تحقیقی، یکپارچه کردن زمین آمار، سنجش از دور و GIS برای بهبود تشخیص کیفی تناسب اراضی در اکوسیستم‌های خشک و نیمه خشک دشت ارسنجان را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق داده‌های اولیه شامل ۸۵ نمونه خاک جمع‌آوری شده از عمق‌های ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتیمتری و داده‌های ثانویه شامل داده‌های سنجش از دور ماهواره IRS-6P، مورد استفاده قرار گرفت. برای شناسایی وابستگی مکانی پارامترهای مهم خاک، از تخمین‌گرهای زمین آماری کریجینگ معمولی و کریجینگ ساده استفاده شده و مشاهده شد که استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده از ارزش‌های طیفی باند ۱ ماهواره در روش کریجینگ ساده، باعث کاهش میانگین مربعات خطا برای تهیه

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

نقشه PH و هدایت الکتریکی خاک در عمق ۰-۳۰ سانتیمتری می‌شود[۹].

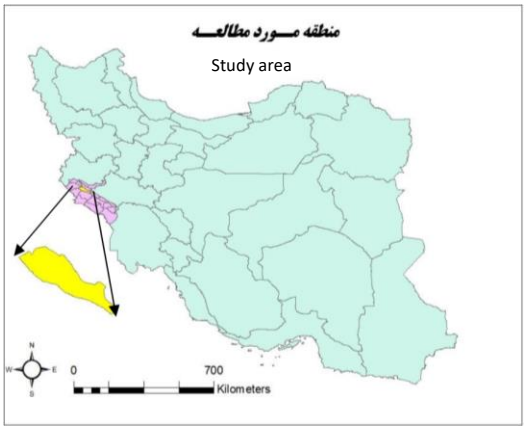
پژوهشی توسط رضایی و همکاران، با هدف بررسی تغییرات مکانی، چند شاخص مهم کیفیت آب‌های زیرزمینی در سطح استان گیلان با استفاده از زمین آمار و با داده‌های شاخص کیفیت نمونه‌برداری شده از ۱۳۵ حلقه چاه مربوط به شهریور سال ۱۳۸۶، در سطح این استان انجام گرفت. ابتدا دقت روش‌های کریجینگ معمولی و وزن‌دهی معکوس فاصله با سه توان مختلف بررسی و در نهایت نقشه‌های پهنه‌بندی در سطح استان رسم شد و مدل کروی، بهترین مدل برای برازش واریوگرام تشخیص داده شد[۲۱].

روش تحقیق

در این تحقیق از تصاویر ماهواره لندست +ETM استفاده شده‌است. سنجنده این ماهواره دارای باندهایی با خصوصیات طیفی متفاوت می‌باشد. هر یک از این باندها قادر به نمایش بارزتر برخی خصوصیات زمینی هستند. به‌عنوان مثال، تغییرات درجه حرارت سطحی زمین در باند ترمال (باند ۶) این ماهواره نشان داده شده‌است[۲۳,۲۲]. به‌طور کلی، از دیرباز، روش‌های مختلفی برای جمع‌آوری داده‌های مبتنی بر مکان وجود داشته است. سنجش از دور، یکی از روش‌های جمع‌آوری داده‌هاست که کمترین تماس مستقیم با اشیاء و داده‌های مورد اندازه‌گیری را دارد و بر خلاف روش‌های دیگر، که عوامل انسانی در جمع‌آوری و تفسیر داده‌های زمینی نقش دارند، در روش سنجش از دور، مسئولیت جمع‌آوری اطلاعات بر عهده سنسورها خواهد بود[۲۵,۲۴]. تعیین درجه حرارت سطح زمین به کمک اطلاعات ماهواره‌ای از موضوعاتی است که مورد علاقه بسیاری از محققان است[۲۹,۲۸,۲۷,۲۶]. روش متداول در این زمینه، شامل کالیبره نمودن داده‌ای طیفی باند ترمال می‌باشد. این کار با تبدیل DN باند ترمال به تشعشع طیفی بر اساس شیب تغییرات بازتابش طیفی (Gain) و عرض از مبدأ (Bias) انجام می‌شود[۳۰]. بنابراین، با قطعیت می‌توان گفت که اطلاعات این باند مبنای انجام محاسبات درجه حرارت است و به‌خوبی می‌تواند جهت مطالعه روند و نحوه تغییرات مکانی درجه حرارت سطحی نیز مورد استفاده قرارگیرد. با درک این مطلب، می‌توان اطلاعات این باند را جایگزین مناسبی جهت تعیین نحوه پراکندگی مکانی آمار درجه حرارت روزانه ایستگاه‌های هواشناسی نیز دانست. با مشخص شدن مدل ریاضی همبستگی مکانی اطلاعات باند۶، درون‌یابی داده‌های درجه حرارت به‌دست آمده از ایستگاه‌های هواشناسی یک منطقه با اطمینان بیشتری صورت می‌گیرد و خطاهای ناشی از نامناسب بودن احتمالی مدل اعمال شده به حداقل خواهدرسید و نقشه درجه حرارت که مبنای بسیاری از محاسبات دیگر است، با دقت بیشتری ساخته می‌شود. مزیت اصلی این روش این است که جهت انتخاب بهترین مدل بیانگر همبستگی یک شاخص، از اطلاعات میدانی استفاده نخواهد شد؛ بلکه اطلاعات سنجش از دور این نقش را ایفا خواهدکرد.

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

استان ایلام یکی از استان‌های غربی کشور می‌باشد که بین طول‌های جغرافیایی ۴۵°۴۰ تا ۴۸°۰۳ شرقی و عرض‌های ۳۲°۰۳ تا ۳۴°۰۲ شمالی قرار دارد. مساحت این استان ۲۰۱۵۰ کیلومتر مربع بوده و مرکز آن شهر ایلام می‌باشد.

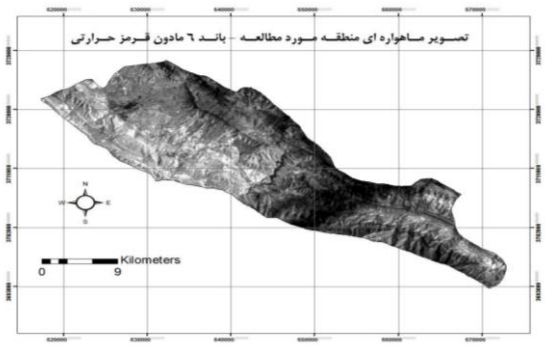


شکل۱: منطقه مورد مطالعه
Fig. 1: Study area

روش تحقیق

پس از انتخاب باند ۶ ماهواره لندست +ETM در تاریخ ۲۴ ام ماه می۲۰۰۷، به‌عنوان نقشه بیان‌کننده نحوه توزیع درجه حرارت سطحی، اقدام به کالیبره نمودن تصویر جهت تبدیل DN تصویر به تشعشع و سپس درجه حرارت بر مبنای درجه کلوین شد. باند ۶ لندست +ETM به صورت دو باند با نام‌های B۶۱ و B۶۲ ارائه می‌شود که باندB۶۱ را Low Gainو باندB۶۲ را High Gain می‌نامند. استفاده از Low Gain در مناطق همگن و مسطح مانند بیابان‌ها که روشنایی سطحی زیادی دارند توصیه می‌شود و از High Gain برای مناطق کوهستانی و ناهمگن استفاده می‌شود.

در این تحقیق به‌دلیل این‌که منطقه مورد مطالعه یک منطقه کوهستانی و ناهمگن است از باند B۶۲ استفاده شد. تصویر حاصل، شامل مقادیری است که هر پیکسل، درجه حرارت سطحی زمین را در آن نقطه بر حسب درجه کلوین نشان می‌دهد.

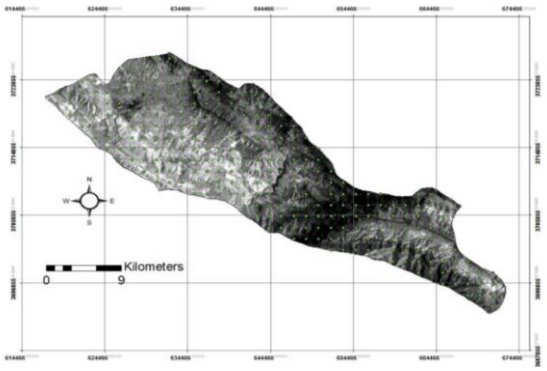


شکل۲: تصویر ماهواره‌ای باند ۶ لندست +ETM از منطقه مورد مطالعه
Fig. 2: Landsat ETM+ band 6 satellite image of the studied area

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جهت به‌دست‌آوردن الگوی درجه حرارت سطحی، نیاز به نمونه‌گیری از تصویر حاصل از پروسه ذکر شده در بالا می‌باشد تا بتوان با استفاده از درون‌یابی به کمک مدل‌های موجود زمین آماری به این الگو دست یافت. در این تحقیق، از روش نمونه‌گیری منظم یا سیستماتیک استفاده شده است. جهت انجام این کار، یک شبکه منظم با رعایت فواصل ۱۵۰۰ متری روی تصویر قرار داده شد و نقاط به‌دست آمده به‌عنوان محل‌های نمونه‌برداری مشخص شد. تعداد ۲۹۱ نقطه به‌دست‌آمد و سپس نسبت به جداسازی مقادیر عددی باند ۶ در نقاط مورد نظر، اقدام شد.

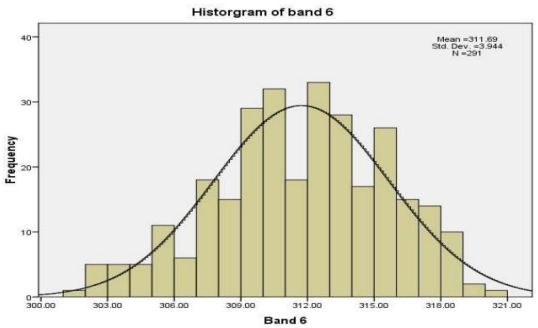


شکل۳: تصویر منطقه مورد مطالعه به همراه نقاط نمونه‌گیری شده
Fig. 3: Image of the study area with the sampled points

آزمون‌های نرمال بودن داده‌ها

نمودار هیستوگرام

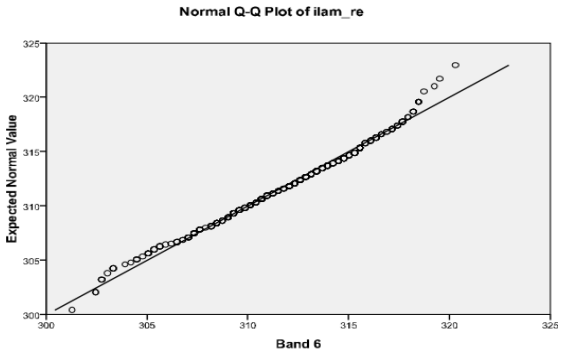
هیستوگرام یک توصیف تک متغیره از داده‌ها را فراهم می‌کند. این نمودار فراوانی توزیع را برای یک مجموعه داده محاسبه کرده و خلاصه وضعیت آماری داده‌ها را محاسبه می‌کند. هیستوگرام داده‌های نمونه باید به شکل زنگوله توزیع نرمال باشد و یا حداقل شبیه به آن باشد و دارای چولگی نباشد.



شکل۴: هیستوگرام داده‌های نمونه‌گیری شده باند ۶
Fig. 4: Histogram of the sampled data of band 6

نمودار Q-Q

نمودارQ-Q، یک توزیع تجمعی با مرتب‌سازی داده‌ها ایجاد می‌کند و گرافی از مقادیر مرتب شده را در مقابل مقادیر توزیع تجمعی از $\frac{c}{c_0+c}$ برای i امین مقدار مرتب شده برای n داده محاسبه می‌کند. اگر نقاط دراطراف خط نیمساز قرار بگیرند و انحراف عمده ازاطراف خط نداشته باشند، فرض نرمال بودن داده‌ها پذیرفته می‌شود. البته انحراف جزیی نقاط ازقسمت بالا و پایین خط نیم‌ساز مهم نیست.



شکل۵: نمودار نرمال Q-Q داده‌های نمونه‌گیری شده باند ۶
Fig. 5: Normal Q-Q diagram of the sampled data of band 6

آزمون کولموگروف- اسمیرنوف

این آزمون، یک آزمون آماری ناپارامتری است و جهت بررسی این که آیا داده‌ها از توزیع نرمال پیروی می‌کنند یا خیر به‌کار می‌رود. در این آزمون یک آماره محاسبه می‌شود که با توجه به سطح معنی داری تعیین شده‌است. اگر مقدار آماره از سطح معنی‌دار بیشتر شود، فرض نرمال بودن داده‌ها پذیرفته می‌شود در غیر این صورت، داده‌ها نرمال نیستند. جدول۱ آزمون کولموگروف- اسمیرنوف را برای داده‌های نمونه‌گیری شده باند ۶ نشان می‌دهد. همان‌طور که از این جدول مشخص می‌باشد، با توجه به این‌که مقدار آماره برابر ۰/۲ به‌دست‌آمده است، بنابراین با اطمینان ۹۵٪ می‌توان گفت که داده‌های نمونه‌گیری شده دارای توزیع نرمال می‌باشند و فرض نرمال بودن داده‌ها پذیرفته می‌شود.

به‌منظور مقایسه روش‌های به‌کار برده شده در این تحقیق و انتخاب مناسب‌ترین مدل زمین آمار، از تکنیک ارزیابی متقاطع استفاده شده است. در این روش، در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و با استفاده از بقیه نقاط مشاهده‌ای، آن نقطه برآورد می‌شود. این کار برای کلیه نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌شود، به‌طوری که در نهایت به تعداد نقاط مشاهده‌ای، مقادیر برآوردی وجود داشته باشد. جهت ارزیابی و تعیین بهترین مدل، دقت هر یک از نقشه‌های تولید شده محاسبه می‌شود.

جدول ۱: آزمون کولموگروف – اسمیرنوف برای داده‌های نمونه‌گیری شده باند ۶
Table1: Kolmogorov-Smirnov test for band 6 sampled data

Tests of Normality

آزمون کولموگروف – اسمیرنوف Kolmogorov-Smirnov test	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistic	Df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Band-6	.043	291	.200	.987	291	.011

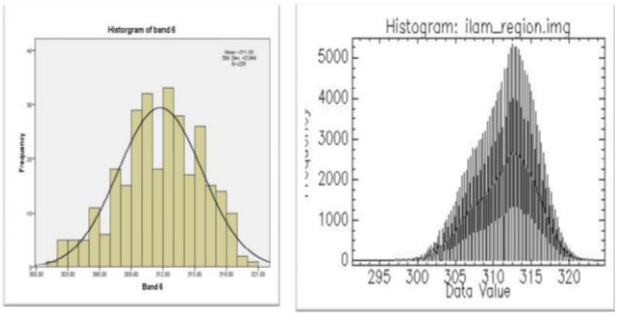
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

بدین منظور، مقادیر تخمین زده شده در محل نقاط از روی نقشه‌ها استخراج و با مقادیر اولیه نمونه‌گیری شده بر روی یک نمودار قرار می‌گیرند. با برازش خط مستقیم بر آن‌ها و محاسبه ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و مقادیر تخمین‌زده شده، میزان دقت نقشه‌ها و یا مدل‌های اعمال شده تعیین می‌شود. ضریب همبستگی شاخصی است که جهت و مقدار رابطه بین دو متغیر (مقادیر واقعی و مقادیر برآورد شده) را توصیف می‌کند. اگر مقادیر دو متغیر مانند هم تغییرکنند یعنی با کم یا زیاد شدن یکی دیگری هم کم یا زیاد شود به گونه‌ای که بتوان رابطه آن‌ها را به‌صورت یک معادله بیان کرد، بین این دو متغیر همبستگی وجود دارد. نمودار پراکنش یا دیاگرام پراکندگی بهترین تصویر برای نشان دادن همبستگی بین دو متغیر است. با مشخص شدن بهترین مدلی که قادر به توجیه مکانی اطلاعات باند ۶ ماهواره لندست می‌باشد، مدل بهینه جهت توجیه مکانی درجه حرارت سطحی نیز به‌دست آمد. بنابراین با اطمینان زیادی می‌توان این مدل را جهت برازش و تخمین داده‌های درجه حرارت منطقه مورد مطالعه استفاده نمود[۳۳,۳۲,۳۱].

بررسی نرمالیته داده‌ها

شکل ۶ هیستوگرام‌های مربوط به اطلاعات برداشت شده از باند ۶ ماهواره لندست ETM+ مربوط به کل منطقه مطالعاتی و نیز هیستوگرام نقاط برداشت شده انتخابی را نشان می‌دهد.



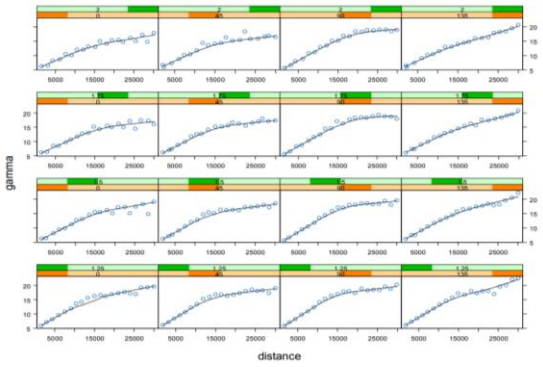
شکل ۶: هیستوگرام مقادیر عددی باند ۶ (الف) کل منطقه مورد مطالعه (ب) نقاط نمونه گیری شده

Fig. 6: Histogram of the numerical values of band 6 (a) the entire studied area (b) the sampled points

با اعمال تست نرمالیته کولموگروف – اسمیرنوف و به‌دست آمدن مقدار p-value برابر ۰.۶۵۹ نتیجه می‌شود که داده‌های نمونه‌گیری شده از توزیع نرمال برخوردارند. سایر شاخص‌های آماری این داده‌ها نیز در جدول ۲ آمده است. با توجه به نزدیکی مقادیر میانگین و انحراف معیار و همچنین واریانس داده‌های کل منطقه به نقاط نمونه‌گیری شده، نتیجه می‌شود که نمونه‌های انتخاب شده می‌توانند نماینده خوبی برای کل منطقه باشند.

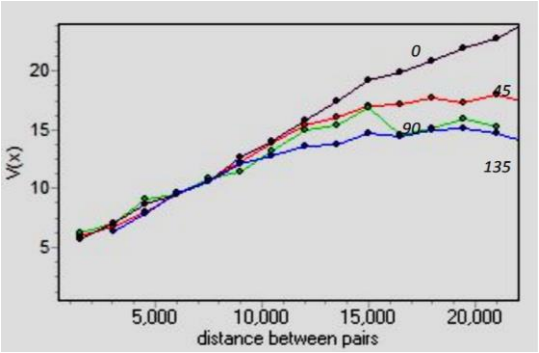
بررسی همسانگردی و ناهمسانگردی در داده ها

جهت تشخیص همسانگردی در داده‌ها، واریوگرام آن‌ها در حداقل ۴ جهت (۰ ، ۴۵ ، ۹۰ و ۱۳۵) و با نسبت‌های ناهمسانگردی ۱/۲۵ ، ۱/۵ ، ۱/۷۵ و ۲ رسم می‌شود. نتایج این تحلیل در شکل ۷ دیده می‌شود. همچنین شکل ۸، واریوگرام داده‌ها را در ۴ جهت ذکر شده در یک نمودار واحد نشان می‌دهد.



شکل ۷ : بررسی همسانگردی داده‌ها در جهت‌های مختلف

Fig. 7: Examining data isotropy in different directions



شکل ۸: واریوگرام داده‌ها در ۴ جهت ۰ ، ۴۵ ، ۹۰ و ۱۳۵ درجه

Fig. 8: Variogram of data in 4 directions 0, 45, 90 and 135 degrees

با توجه به این‌که نمودار واریوگرام داده‌ها در جهات رسم شده اختلافی با یکدیگر ندارند در نتیجه داده‌های نمونه‌گیری شده، همسانگرد می‌باشند؛ یعنی با افزایش فاصله در تمام جهات، تغییرپذیری داده‌ها یکسان است. همچنین با استفاده از واریوگرام رویه‌ای داده‌ها نیز می‌توان به همسانگردی داده‌ها پی‌برد. همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، تغییرپذیری داده‌ها در مرکز تصویر به‌صورت یک دایره نمایان می‌شود.

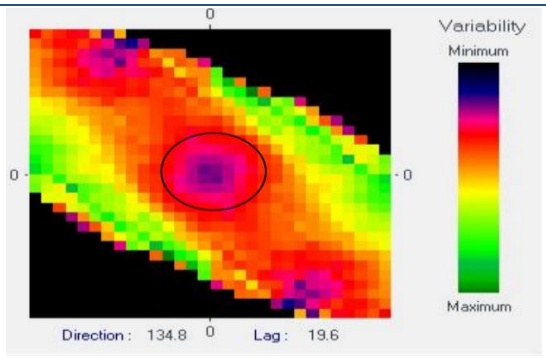
جدول ۲: شاخص‌های آماری داده‌های باند ۶ ماهواره لندست مربوط به کل منطقه و نقاط نمونه‌گیری شده

Table2: Statistical indicators of band 6 Landsat satellite data related to the entire region and sampled points

مجموعه داده‌ها Data set	تعداد نقاط (پیکسل) .The number of points (pixels)	مقدار حداقل Minimum amount	مقدار حداکثر The maximum value	میانگین Average	انحراف معیار Standard deviation	واریانس Variance
کل منطقه The whole area	560512	291.481	324.625	311.676	3.938	15.507
نقاط انتخابی Selected points	291	301.28	320.29	311.69	3.94	15.25

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل ۹: واریوگرام رویه‌ای
Fig. 9: Procedural variogram

تخمین نقاط مجهول بر اساس مدل‌های ورودی به تخمین‌گر کریجینگ

مدل کروی

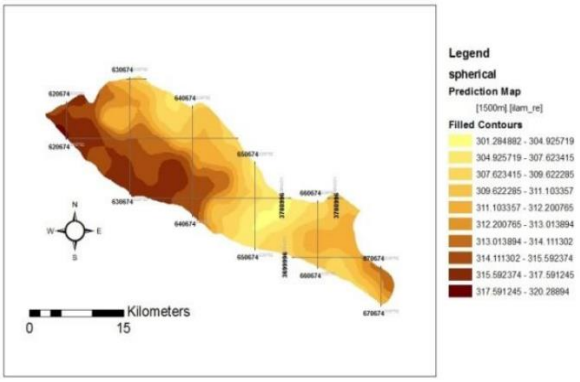
بر اساس مدل کروی، نقشه درون‌یابی شده تخمین‌گر کریجینگ معمولی[۳۷,۳۶,۳۵,۳۴] و همچنین ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و مقادیر برآورد شده، در جدول ۳ و شکل شماره ۱۰ آورده شده‌اند. همچنین، نمودار ارزیابی نقاط واقعی و برآورد شده این مدل مطابق شکل ۱۱ می‌باشد و در نهایت ضریب همبستگی بین مقادیر ورودی و برآورد شده بر اساس مدل کروی، ۰.۷۵۸۸ به‌دست آمد.

جدول ۳: پارامترهای برآورد شده مدل کروی بر اساس تخمین‌گر کریجینگ معمولی
Table3: The estimated parameters of the spherical model based on the normal kriging estimator

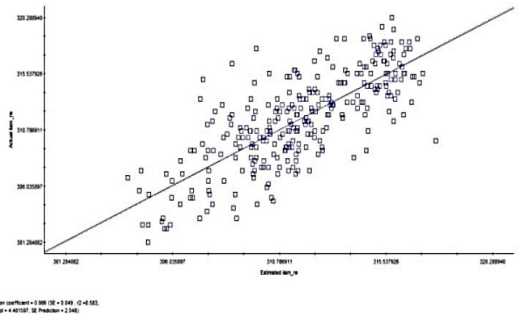
Spherical Model:

corr(Obs, Pred): 0.7588 [using ordinary kriging]

	observed	predicted	pred.-obs.	pred.std.	zscore
minimum	301.3	303.6	-8.367	2.397	-3.435
1st q.	309	309.6	-1.696	2.397	-0.6981
median	312.1	311.6	0.138	2.397	0.05758
3rd q.	314.8	314.4	1.77	2.436	0.7384
maximum	320.3	317.5	7.487	2.842	2.807
n	291	291	291	291	291
mean	311.7	311.7	0.01175	2.428	0.002667
std.dev.	3.944	3.186	2.576	0.06646	1.059



شکل ۱۰: نقشه حاصل از درونیابی به روش کریجینگ معمولی بر اساس مدل کروی
Fig. 10: The map resulting from interpolation using the normal kriging method based on the spherical model



شکل ۱۱: نمودار ارزیابی نقاط واقعی و برآوردشده بر اساس مدل کروی
Fig. 11: Evaluation diagram of actual and estimated points based on the spherical model

مدل نمایی

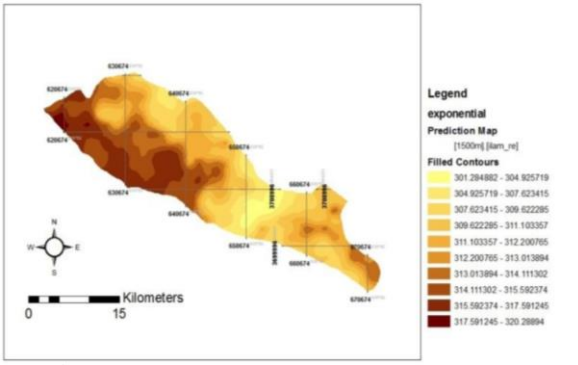
بر اساس مدل نمایی، نقشه درون‌یابی شده تخمین‌گر کریجینگ معمولی و همچنین ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و مقادیر برآورد شده، در جدول ۴ و شکل ۱۲ آورده شده است. همچنین خط رگرسیونی نقاط واقعی و برآورد شده این مدل مطابق شکل ۱۳ می‌باشد. و ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و برآورد شده بر طبق این مدل، ۰.۷۵۵۹ به‌دست آمد.

جدول ۴: پارامترهای برآورد شده مدل نمایی بر اساس تخمین‌گر کریجینگ معمولی
Table4: The estimated parameters of the exponential model based on the normal kriging estimator

Exponential Model:

corr(Obs, Pred): 0.7559 [using ordinary kriging]

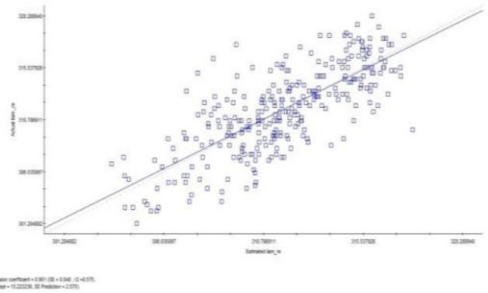
	observed	predicted	pred.-obs.	pred.std.	zscore
minimum	301.3	303.4	-8.299	2.13	-3.797
1st q.	309	309.7	-1.652	2.131	-0.7657
median	312.1	311.7	0.08811	2.131	0.04134
3rd q.	314.8	314.4	1.787	2.2	0.8035
maximum	320.3	318	8.117	2.739	3.276
n	291	291	291	291	291
mean	311.7	311.7	0.0111	2.178	0.002006
std.dev.	3.944	3.178	2.589	0.09178	1.186



شکل ۱۲: نقشه پیش‌بینی حاصل از درون‌یابی به روش کریجینگ معمولی بر اساس مدل نمایی
Fig. 12: Prediction map resulting from interpolation using the normal kriging method based on the exponential model

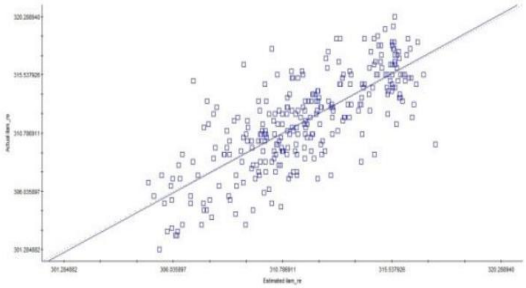
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل ۱۳: خط رگرسیونی نقاط واقعی و برآورد شده در مدل نمایی

Fig. 13: Regression line of actual and estimated points in the exponential model



شکل ۱۵: خط رگرسیونی نقاط واقعی و برآورد شده در مدل گوسی

Fig. 15: Regression line of real and estimated points in Gaussian model

مدل گوسی

بر اساس مدل گوسی، نقشه درون‌یابی شده تخمین‌گر کریجینگ معمولی و همچنین ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و مقادیر برآورد شده، در جدول ۵ و شکل ۱۴ آورده شده‌است. همچنین خط رگرسیونی نقاط واقعی و برآورد شده این مدل مطابق شکل۱۵ می‌باشد. و ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و برآورد شده بر طبق این مدل، ۰.۷۶۵۷ به‌دست آمد.

مدل دایره‌ای

بر اساس مدل دایره‌ای، نقشه درون‌یابی شده تخمین‌گر کریجینگ معمولی و همچنین ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و مقادیر برآوردشده، در جدول ۶ و شکل ۱۶ آورده شده‌اند. همچنین خط رگرسیونی نقاط واقعی و برآورد شده این مدل مطابق شکل ۱۷ می‌باشد و ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و برآورد شده طبق این مدل، ۰.۷۵۹۱ به‌دست آمد.

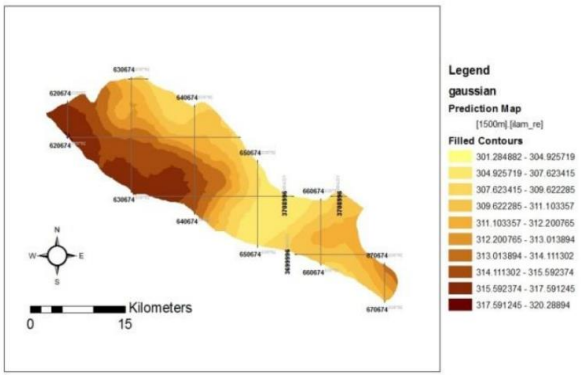
جدول ۵: پارامترهای برآورد شده مدل گوسی بر اساس تخمین‌گر کریجینگ معمولی

Table5: Estimated parameters of Gaussian model based on ordinary kriging estimator

Guassian model :

corr(Obs, Pred): 0.7657 [using ordinary kriging]

	observed	predicted	pred.-obs.	pred.std.	zscore
minimum	301.3	304.5	-7.888	2.512	-3.134
1st q.	309	309.9	-1.505	2.512	-0.5986
median	312.1	311.6	-0.08615	2.513	-0.03381
3rd q.	314.8	314.2	1.613	2.539	0.6358
maximum	320.3	317.4	7.569	2.834	2.777
n	291	291	291	291	291
mean	311.7	311.7	-0.00335	2.535	-0.002119
std.dev.	3.944	2.979	2.537	0.04384	0.9992



شکل ۱۴: نقشه پیش‌بینی حاصل از درون‌یابی به روش کریجینگ معمولی بر اساس مدل گوسی

Fig. 14: Prediction map resulting from interpolation using the normal kriging method based on the Gaussian model

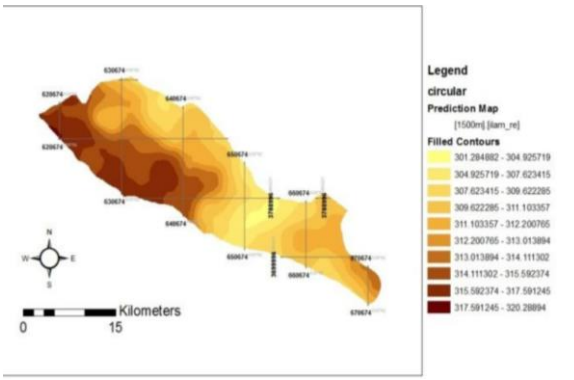
جدول ۶: پارامترهای برآورد شده مدل دایره‌ای بر اساس تخمین‌گر کریجینگ معمولی

Table 6: Estimated parameters of the circular model based on the normal kriging estimator

Circular Model :

corr(Obs, Pred): 0.7591 [using ordinary kriging]

	observed	predicted	pred.-obs.	pred.std.	zscore
minimum	301.3	303.7	-8.37	2.458	-3.356
1st q.	309	309.6	-1.683	2.458	-0.6754
median	312.1	311.6	0.1477	2.458	0.06007
3rd q.	314.8	314.4	1.76	2.494	0.7105
maximum	320.3	317.4	7.473	2.874	2.756
n	291	291	291	291	291
mean	311.7	311.7	0.01042	2.487	0.002282
std.dev.	3.944	3.182	2.574	0.06169	1.033



شکل ۱۶: نقشه پیش‌بینی حاصل از درون‌یابی به روش کریجینگ معمولی بر اساس مدل دایره‌ای

Fig. 16: Prediction map resulting from interpolation using the normal kriging method based on the circular model

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

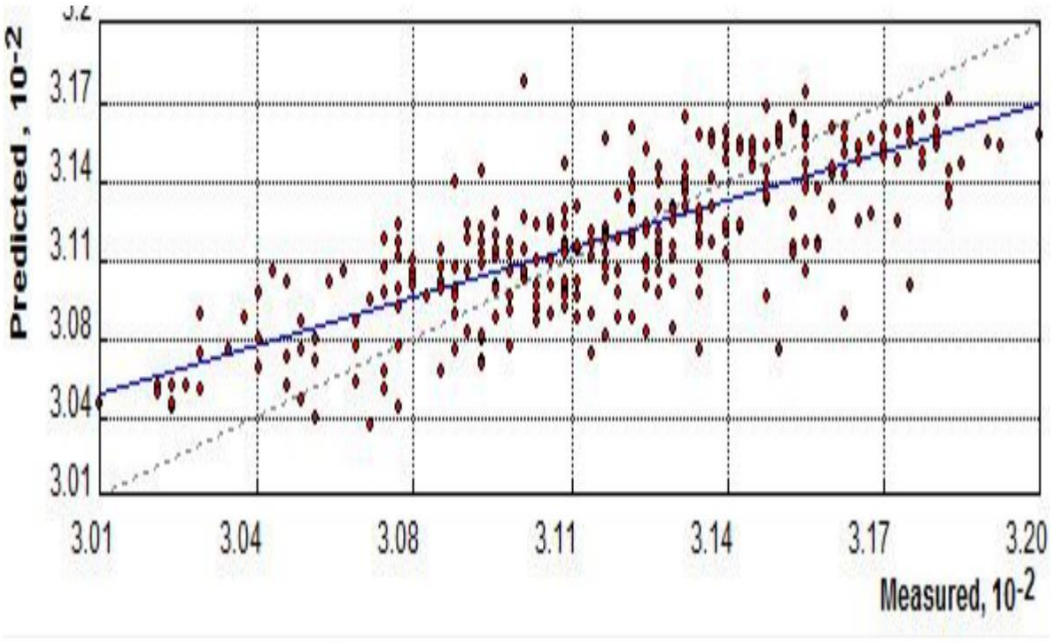
نتایج و بحث

هدف این تحقیق، به‌دست آوردن یک مدل بهینه زمین آماری است که با استفاده از آن بتوان به درون‌یابی نقاط در مناطق فاقد اطلاعات مکانی (در این تحقیق، دمای سطح زمین) پرداخت. جهت شناسایی این مدل از بین ۴ مدل آزمون شده کروی، دایره‌ای، نمایی و گوسی، به مقایسه این مدل‌ها بر اساس معیارهای استانداردی که در این زمینه موجود می‌باشند پرداخته شده است. مقایسه این معیارها در جدول ۷ ارائه شده است.

در جدول ۷ هرچه ضریب همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر برآورد شده به ۱ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده برآورد بهتر مقادیر اندازه‌گیری شده توسط آن مدل می‌باشد. RMSE، ریشه میانگین مربعات خطاهاست که هرچه این مقدار کمتر باشد به معنای کمتر بودن مقدار خطای مدل در برآورد و پیش‌بینی مقادیر در نقاط مجهول توسط آن مدل است. هر قدر میزان اثر قطعه‌ای زیاد باشد، توان پیش‌بینی توسط مدل واریوگرافی کاهش می‌یابد. در نتیجه، هرچه این مقدار کمتر باشد، مدل از اعتبار بالاتری برخوردار است. مدل گوسی، با بیشترین ضریب همبستگی(۰.۷۶۵) و کمترین مقدار ریشه متوسط مجذور خطا (۰.۹۷۹) و همچنین کمترین نسبت $\frac{c}{c_0+c}$ (۰.۵۵)، به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شد. این مدل دارای بیشترین کارایی در توزیع و روند حاکم بر تغییرات مکانی درجه حرارت سطحی داده‌های باند ۶ در منطقه مورد مطالعه است. با توجه به مشابهت بسیار زیاد بین اطلاعات این باند و درجه حرارت سطحی زمین، می‌توان چنین استنباط نمود که توزیع مکانی بین داده‌های درجه حرارت ایستگاه‌های هواشناسی در منطقه نیز از مدل گوسی تبعیت خواهند نمود. بنابراین، با اطمینان مضاعفی می‌توان از مدل گوسی و شاخص‌های آن برای درون یابی اطلاعات درجه حرارت ایستگاه‌های هواشناسی موجود استفاده و نقشه درجه حرارت منطقه را با اطمینان زیادی ترسیم کرد. نقشه نهایی درون‌یابی شده توسط مدل گوسی در شکل ۱۸ نشان داده شده است.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، به بررسی تغییرات دمای سطحی در شهرستان ایلام با استفاده از داده‌های سنجش از دور و روش‌های زمین‌آمار پرداخته شد. نتایج نشان داد که الگوی فضایی تغییرات دمای سطحی در این منطقه گوسی است و مدل فضایی گوسی بهترین برازش را برای واریوگرام تجربی دمای سطحی دارد. همچنین، نقشه‌های درون‌یابی شده با استفاده از این مدل از دقت بالایی برخوردار هستند و دمای سطحی در این منطقه در طول چند دهه گذشته به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است. لازم به ذکر است که مدل‌های انتخابی، فقط برای همان منطقه مورد اعتماد هستند، اما چنانچه یک مدل خاص برای چندین محل مناسب تشخیص داده شد، می‌توان نتیجه گرفت که آن مدل می‌تواند با اطمینان زیادی برای شرایط مشابه دیگر نیز مورد استفاده واقع شود.

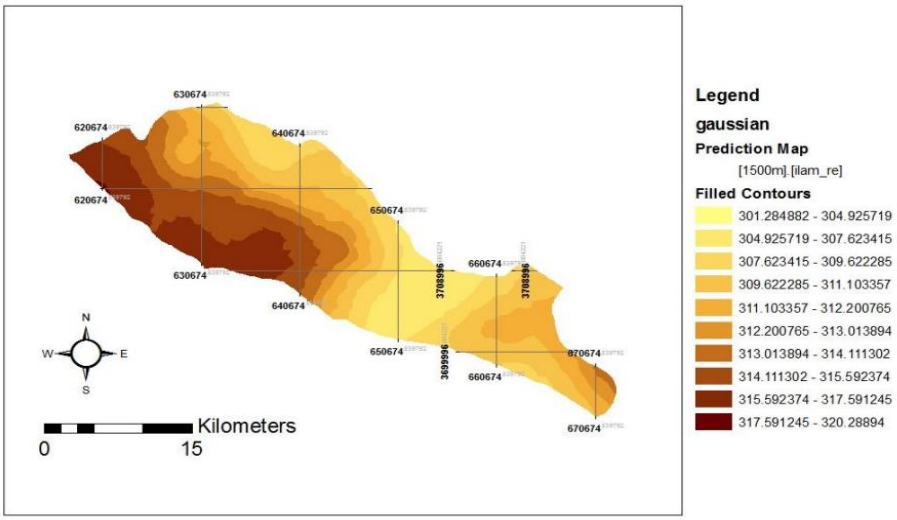


شکل۱۷: خط رگرسیونی نقاط واقعی و برآوردشده در مدل نمایی

Fig. 17: Regression line of actual and estimated points in the exponential model

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل ۱۸: نقشه نهایی درون‌یابی شده توسط مدل گوسی

Fig. 18: Final map interpolated by Gaussian model

جدول ۷: مقایسه آماری دقت مدل‌های اعمال شده به تخمین‌گر کریجینگ

Table 7: Statistical comparison of the accuracy of the models applied to the kriging estimator

معیار/ مدل Criterion/Model	ضریب همبستگی Correlation coefficient	RMSE	نسبت Ratio $\frac{c}{c_0+c}$
کروی Spherical	0.7588	1.106	0.749
نمایی View	0.7559	1.17	0.9
گوسی Gossi	0.7657	0.9791	0.55
دایره‌ای Circular	0.7591	1.083	0.716

مبنای ساخت واریوگرام در بسیاری از تحقیقات مشابه، نقاطی است که به‌صورت صحرایی اندازه‌گیری شده‌اند. چنانچه محل این نقاط مناسب و تعداد داده کافی باشد و داده‌ها از دقت لازم برخوردار باشند، مدل برازش شده قابل اعتماد خواهدبود؛ در حالی که این کار به‌دلیل صرف وقت و هزینه صورت نمی‌گیرد و بنابراین مدل مشخص شده با آن‌چه که در طبیعت وجود دارد، متفاوت خواهد شد. در بیشتر تحقیقات مشابه، معرفی یک مدل براساس نمونه‌گیری از چند نقطه خاص صورت می‌گیرد؛ در حالی که روش پیشنهادی امکان نمونه‌گیری از بی‌نهایت نقطه را فراهم می‌کند. فراوانی بالای نقاط منجر به برازش بهتر مدل بر نقاط واریوگرام تجربی شده و دقت تعیین مدل بهینه را افزایش می‌دهد.دقت درون‌یابی در مناطقی که تغییرات ارتفاعی زمین زیاد باشد بسیار مهم است، زیرا متغیر مورد نظر ممکن است در مقیاس‌های کوچک مکانی تغییرات زیادی داشته باشد. توصیه می‌شود که جهت درون‌یابی داده‌های درجه حرارت در چنین مناطقی از روش‌های دیگر مانند کوکریجینگ استفاده شود، زیرا تعیین درجه حرارت در این روش با استفاده از نحوه تغییرات داده‌های کمکی دیگر از قبیل ارتفاع صورت می‌گیرد. تعیین درجه حرارت سطحی زمین به کمک داده‌های باند ترمال ماهواره‌ای از مواردی است که نیازمند انجام تصحیحات دقیق و کالیبره نمودن طیفی آن‌ها می‌باشد. هدف تحقیق حاضر تعیین نحوه تغییرات مکانی درجه حرارت بوده‌است و به تعیین درجه حرارت سطحی زمین پرداخته نشد. اما در صورتی که تصویر گرفته شده برای انجام روش پیشنهادی دارای خطاهای واضح نظیر لکه‌های ابر و یا غبارهای محلی باشد، انجام تصحیحات مختلف بر روی آن ضروری خواهد بود.

این مطالعه نشان می‌دهد که ترکیب داده‌های سنجش از دور و روش‌های زمین‌آمار، ابزاری قدرتمند برای بررسی تغییرات مکانی و درون‌یابی داده‌های محیطی، از جمله تغییرات دمای سطحی، به‌شمار می‌رود. یافته‌های این پژوهش می‌تواند برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب، کشاورزی و تنوع زیستی در منطقه مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، پیشنهاد می‌شود که بررسی تغییرات مکانی دمای سطحی در سایر مناطق کشور با استفاده از داده‌های سنجش از دور و همچنین مطالعه الگوی تغییرات سایر شاخص‌های محیطی مانند رطوبت خاک و پوشش گیاهی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار انجام شود.

مشارکت نویسندگان

در این مقاله، نویسندگان به نسبت برابر مشارکت داشته‌اند.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از کلیه عزیزانی که ما را در انجام این تحقیق یاری کردند، صمیمانه تشکر می‌کنیم.

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

منابع و مآخذ

[1] Tayebi A, Kasmaeeyazdi S, Tinti F, Bruno R. Contributions from experimental geostatistical analyses for solving the cloud-cover problem in remote sensing data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 2023; 118(103236). https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103236

[2] Zakeri F, Mariethoz G. A review of geostatistical simulation models applied to satellite remote sensing: Methods and applications. Remote Sensing of Environment. 2021; 259(112381). https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112381

[3] Golmohammadi G. Maroufi S. Mohammadi K., regionalizing the runoff coefficient in Hamedan province using geostatistical and GIS methods. 1387. [In Persian]

[4] Kesai Rudsari B. Kahraman B. Sharifi M. Investigating the density of the network of rain gauge stations using geostatistical methods (case study: Razavi, North and South Khorasan provinces). 1389. [In Persian]

[5] Akhavan R. Zobeyri M.Amiri G. Namiranian M. Spatial Structure and Estimation of Forest Growing Stock Using Geostatistical Approach in the Caspian Region of Iran. Geostatistics.1385. 4(1). [In Persian]

[6] Atkinson P, Stein A, Jeganathan C, Spatial sampling, data models, spatial scale and ontologies: Interpreting spatial statistics and machine learning applied to satellite optical remote sensing. Spatial Statistics .2022 ; Spatial Statistics, 50(100646). https://doi.org/10.1016/j.spasta.2022.100646

[7] AbdelRahman M. Natarajan A, Hegde A. Prakash S. Assessment of land degradation using comprehensive geostatistical approach and remote sensing data in GIS-model builder. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science.2019. 22(3): 323-334. https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.03.002

[8] Kumar Mehla M. Kumar A. Kumar S. Jhorar R.K. Soil salinity assessment and mapping using spectral indices and geostatistical techniques concepts and reviews. Remote Sensing of Soils, Mapping. Monitoring, and Measurement. 2024.1(5): 429-437. http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-443-18773-5.00019-3

[9] Emadi M. Baghernejad M. An approach for land suitability evaluation using geostatistics, remote sensing, and geographic information system in arid and semiarid ecosystems. Environ Monit Assess .2010. 164(4):501–511. https://doi.org/10.1007/s10661-009-0909-6

[10] Dousset B. Gourmelon F. Satellite Multi-Sensor Data Analysis of Urban Surface Temperatures and Landcover. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2003. 58(2): 43-54. https://doi.org/10.1016/S0924-2716(03)00016-9

[11] Owen T.W. Carlson T.N. Gillies R.R. Remotely Sensed Surface Parameters Governing Urban Climate Change. Internal Journal of Remote Sensing. 1998. 19(9): 1663-1681. https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8

[12] Wang C, Li X, Zhang J, Xuan K, Jia R, Jiang Y, Liu J. regularized total variation minimization model for soil interpolation based on geostatistical priors. Geoderma. 2023; 432(116412). https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116412

[13] Tariq A, Quantitative comparison of geostatistical analysis of interpolation techniques and semiveriogram spatial dependency parameters for soil atrazine contamination attribute, Geoinformatics for Geosciences, Advanced Geospatial Analysis Using RS. GIS and Soft Computing, Earth Observation. 2023, Pages 261-279. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-98983-1.00016-8

[14] Walvoort D, de Gruijter J. Compositional Kriging: A Spatial Interpolation Method for Compositional Data. Mathematical Geology. 2001. 33(8):951-966. https://doi.org/10.1023/A:1012250107121

[15] Alijani B, Ghohroudi M, Arabi N. Developing a climate model for Iran using GIS". Theoretical and Applied Climatology. 2007. 92(1):103–112. http://dx.doi.org/10.1007/s00704-006-0292-y

[16] Koike K. Matsuda S. Gu B. Evaluation of Interpolation Accuracy of Neural Kriging with Application to Temperature-Distribution Analysis. Mathematical Geology. 2001. 33(4):421-448. https://doi.org/10.1023/A:1011084812324

[17] Mirmousavi S. Muzeydi A, Khosravi Y. Determining the best geostatistical method to estimate rainfall distribution using GIS (case study: Isfahan province) .1389. Geospace, 10(30):105-120. SID. [In Persian]

[18] Misaghi F. Mohammadi K. Rainfall information zoning using classical statistical methods and geostatistics and comparison with artificial neural networks. Scientific Journal of Agriculture. 1385. 29(4): 1-13. SID. [In Persian]

[19] Ayouzi M. Mosaedi A. Monitoring and spatial analysis of meteorological drought in Golestan province using geostatistical methods. Pasture and Watershed (Natural Resources of Iran). 1390., 64(1): 65-78. SI D. [In Persian]

[20] Ayoubi S. Hosseinalizade M. Assessment spatial variability of soil erodibility by using of Geostatistic and GIS (Case study MEHR watershed of SABZEVAR).1386. 60(2): 369-382. [In Persian]

[21] Rezaei M. Devatgar N. Tajdari K. Abolpour B. Investigating the spatial changes of some groundwater quality indicators in Gilan province using geostatistics. Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries) .1389. 24(5):932-941. SID. [In Persian]

[22] Roth W. M. Lee S. Scientific Literacy as Collective Praxis. Public Understanding of Science. 2002. 11(1): 33-56. http://dx.doi.org/10.1088/0963-6625/11/1/302

[23] Shams Al-Dini A. Esmaili S. Vafainejad A. improving the classification accuracy of Landsat + ETM images using the combination of spectral and texture data (the studied area of Shahr Karaj). International Conference on Architecture. Urban Planning, Civil Engineering, Art and the environment. 2014.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

[24] Dostanian M. Sabrian J. Evaluation of vegetation map production methods using spatial information system and remote sensing. Remote sensing and spatial information research .1401. 1 (1): 83-90. https://doi.org/10.22061/jrsgr.2022.1979

[25] Abdulahi J. Rahimian M. Using remote sensing to determine the best geostatistical model for field information interpolation. Iran Pasture and Desert Research. 1386. 14(27): 156-170. SID. [In Persian]

[26] Boer E. P. J. deBeurs K. Hartkamp A. Kriging and thin plate splines for mapping climate variables, Int. J. Appl. Earth Observation Geoinform. 2001. 3(2):146–154. https://doi.org/10.1016/S0303-2434(01)85006-6

[27] Hlavka C. Dungan J. Thirulanambi R. Roy D. Application of Geostatistical Simulation to Enhance Satellite Image Products. Geostatistics Banff .2004, 60(1): 913–919. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-3610-1_95

[28] Henshaw S. Curriero F. Shields T. Geostatistics and GIS: Tools for Characterizing Environmental Contamination. Journal of Medical Systems. 2004. 28(4):335-348. https://doi.org/10.1023/B:JOMS.0000032849.42310.4e

[29] Schro Der W. Schmidt G. Hasenclever J. Geostatistical Analysis of Data on Air Temperature and Plant Phenology. Environmental Monitoring and Assessment .2006. 120(1-3): 27–43. https://doi.org/10.1007/s10661-005-9047-y

[30] Yang J, Wang Y. August P. Estimation of Land Surface Temperature Using Spatial Interpolation and Satellite-Derived Surface Emissivity. Journal of Environmental Informatics. 2004. 4(1):37-44. https://doi.org/10.3808/jei.200400035

[31] Niu D. Tarumi T. Estimation for the Parameters in Geostatistics. Cooperation in Classification and Data Analysis. 2009.1(1): 123-130. https://doi.org/10.1007/978-3-642-00668-5_13

[32] Burrough P. GIS and Geostatistics: Essential Partners for Spatial Analysis. Environmental and Ecological Statistics. 2001. 8(4):361-377. http://dx.doi.org/10.1023/A:1012734519752

[33] Haji Hashemi Jezi, M. Ateshgahi M. Hamidian A. Spatial estimation of groundwater quality components using geostatistical methods (case study: Golpayegan plain). Journal of Natural Environment. 1389. 63(4): 347-357. [In Persian]

[34] Alsamamra H, Santos-Alamillos F, Pozo-Vázquez D, Ruiz-Arias J. A Comparative Study of Ordinary and Residual Kriging Techniques for Mapping Global Solar Radiation Over Southern Spain. Agricultural and Forest Meteorology. 2009. 149(8):1343-1357. http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.03.005

[35] Adab H. Fallah G. Mirzabayati R. Evaluation of interpolation methods of kriging and linear regression based on DEM in preparation of annual rainfall map in Razavi Khorasan province. The 87th Geomatic Conference and the 4th Conference on the Unification of Geographical Names. [In Persian]

[36] Mardikis M. Kalivas D. Kollias V. Comparison of Interpolation Methods for the Prediction of Reference Evapotranspiration, An Application in Greece. Water Resources Management .2005. 19(3): 251–278. http://dx.doi.org/10.1007/s11269-005-3179-2

[37] Ghahrodi Tali M.Evaluation of forecasting by kriging method. Geographical Research. 1381. 34(43):95-108. SID. [In Persian]

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



علیرضا وفائی‌نژاد دارای مدرک دکتری تخصصی مهندسی نقشه‌برداری گرایش سیستم اطلاعات مکانی از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد. ایشان در حال حاضر به‌عنوان دانشیار در دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید بهشتی مشغول فعالیت بوده و تاکنون بیش از ۳۵ مقاله در نشریات معتبر بین‌المللی، ۷۰ مقاله در نشریات معتبر داخلی و ۵۰ مقاله در کنفرانس‌های داخلی و بین‌المللی ارائه نموده‌اند. زمینه‌های تخصصی ایشان عبارتند از سیستم‌های اطلاعات مکانی هوشمند، یادگیری ماشین، بهینه‌سازی با سیستم‌های اطلاعات مکانی و کاربردهای سیستم‌های اطلاعات مکانی در مدیریت منابع آب و محیط زیست.

Vafaeinejad, A. Associate Professor at the Department of Geotechnical and Transportation Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
a_vafaei@sbu.ac.ir



فرشاد همتی فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد رشته سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی از دانشکده محیط‌زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات است. ایشان در زمینه‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی تخصص دارد و به موضوعات زمین آمار و پردازش تصاویر ماهواره‌ای و کاربردهای مختلف سنجش از دور در حوزه‌های محیط زیست علاقه‌مند است.

Hemati, F. Master's degree in remote sensing and geographic information system, Faculty of Environment and Energy, Islamic Azad University Science and Research Branch, Tehran, Iran
f.hemati@gmail.com

ثنا حایری دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی نقشه‌برداری گرایش سیستم‌های اداره زمین دانشگاه شهید بهشتی می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان تجزیه‌وتحلیل و ارزیابی داده‌های

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Haery, S. Master's student in the field of surveying engineering majoring in land administration systems, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
s.haery@mail.sbu.ac.ir



مکانی با استفاده از سیستم‌های اطلاعات مکانی هوشمند و کاربردهای یادگیری ماشین می‌باشد.

Citation (Vancouver): Vafaeinejad A, Hemati F, Haery S. [Evaluation of Surface Temperature Changes in Ilam City with a Combined Approach to Geostatistical Models and Spatial Information Systems]. *J. RS. GEOINF. RES. 2024; 2(2): 205-218*
https://doi.org/10.22061/jrsgr.2024.10977.1069

COPYRIGHTS
© 2024 The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Archive of SID.ir