فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی، سال اول، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، پیاپی ۳
شاپای الکترونیکی: ۲۳۲۵-۲۷۱۷
Doi:10.29252/gsma.1.3.1
http://gsma.lu.ac.ir
صفحات ۱۷-۱

تهیه نقشه‌ی متغیرهای زیست‌اقلیمی استان لرستان با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آماری و رگرسیونی

سرور محمودوند، کارشناس‌ارشد گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم‌پایه، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.
حامد خدایاری *[1]، استادیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.
فرج الله ترنیان، استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۷/۱۲ **پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۹/۱۵**

چکیده

متغیرهای زیست‌اقلیمی، یکی از مهم‌ترین متغیرهای محیطی می باشند که در تهیه نقشه و مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها جهت مدیریت و حفاظت پوشش گیاهی و کشت گونه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این تحقیق به منظور تهیه نقشه‌های زیست‌اقلیمی، با استفاده از روش‌های زمین‌آمار (کریجینگ و کوکریجینگ) و مدل رگرسیون خطی چندگانه داده‌های بلندمدت اقلیمی ۴۹ ایستگاه هواشناسی از سال ۱۳۳۱ تا ۱۳۹۶ برای استخراج ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی در استان لرستان مورد بررسی قرار گرفت. برای انتخاب بهترین مدل درون‌یابی از نسبت همبستگی استفاده شد. همچنین برای ارزیابی و صحت روش درون‌یابی از ارزیابی متقابل استفاده گردید. جهت انتخاب بهترین روش درون‌یابی از دو شاخص ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ریشه دوم میانگین استاندارد شده خطا (RMSSE) استفاده شد. براساس نتایج بدلیل خطای کمتر مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا و ریشه دوم میانگین استاندارد شده خطا روش کریجینگ برای Bio4، Bio5، Bio7، Bio12، Bio13، Bio15، Bio16، Bio17، Bio18، روش کوکریجینگ برای Bio1، Bio2، Bio3، Bio6، Bio8، Bio9، Bio10 و Bio11 و روش رگرسیون خطی چندگانه برای Bio19 به عنوان بهترین روش درون‌یابی برای رسم نقشه‌های زیست‌اقلیمی بدست آمد. براساس نتایج این پژوهش استفاده از متغیر کمکی ارتفاع، عوامل جغرافیایی و اقلیمی می‌تواند دقت ارزیابی روش‌های درون‌یابی را افزایش دهد و در ایجاد نقشه‌های دقیق متغیرهای زیست‌اقلیمی جهت مدل سازی پراکنش گونه‌ای استفاده شود.

واژگان کلیدی: متغیرهای زیست‌اقلیمی، پراکنش گونه‌ها، درون‌یابی، زمین‌آمار، لرستان.

* نویسنده مسئول [1] Email: khodayari.h@lu.ac.ir

نحوه استنادهی به مقاله:
محمودوند، سرور، خدایاری، حامد، ترنیان، فرج‌الله (۱۳۹۹). تهی‌ی نقشه متغیرهای زیست‌اقلیمی استان لرستان با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آماری و رگرسیونی. فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی. سال اول، شماره ۳ (۳). صص ۱۷ـ ۱. Doi:10.29252/gsma.1.3.1

[Downloaded from gsma.lu.ac.ir on 2025-05-10]
[DOR: 20.1001.1.27172325.1399.1.3.4.7]
[DOI: Doi:10.29252/gsma.1.3.1]

۱. مقدمه

مدل‌های پراکنش گونه‌ای[1]، الگوریتم‌های تحلیلی یا آماری هستند که پراکنش واقعی و بالقوه گونه را با استفاده از مشاهدات میدانی و لایه‌های متغیر محیطی پیش‌بینی می‌کنند (جعفری و همکاران، ۱۳۹۵). مدل‌سازی مکانی زیستگاه گونه‌های گیاهی برای نشان دادن تأثیر عوامل بوم‌شناختی در پراکنش پوشش گیاهی امری ضروری است که برای تهیه نقشه‌های دقیق پوشش گیاهی و مدیریت زیست‌بوم‌های مرتعی مناسب می‌باشد (خلاصی‌اهوازی و همکاران، ۱۳۹۴). تاکنون از مدل‌های گوناگونی برای پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها استفاده شده است که در الگوریتم‌های آماری مورد استفاده، نوع داده‌های وارد شده به مدل و فرضیات به کار گرفته شده در هر مدل متفاوت هستند (خسروی و همکاران، ۱۳۹۳). مهم‌ترین مدل‌ها برای تعیین پراکنش گونه‌ای شامل مدل آنالیز فاکتور نیچ اکولوژیکی هیرزل و گویسان[2] (۲۰۰۲)، روش الگوریتم ژنتیک استوک‌ول و پیترز[3] (۱۹۹۹) و مدل مکسنت[4] (حداکثر آنتروپی[5]) معرفی شده توسط فیلیس[6] و همکاران (۲۰۰۶) می‌باشند. از این مدل‌ها در مطالعات مختلفی همچون درک رابطه حضور گونه‌های مختلف، تهیه نقشه پراکنش گونه‌ها و پیش‌بینی مکان‌های جدید حضور گونه استفاده شده است (الیت و همکاران[7]، ۲۰۰۶). گونه‌ها تحت تأثیر عوامل اقلیمی و غیر‌اقلیمی بوده که تغییرات اقلیم می‌تواند محدودیت‌های فیزیولوژیکی زیادی را بر گونه‌ها تحمیل و پراکنش گونه‌ها را تحت تأثیر خود قرار دهد (ادونیل و ایگنیزیو[8]، ۲۰۱۲).

بنابراین هیجمانز[9] و همکاران (۲۰۰۵) ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی[10] را با قدرت تفکیک بالا ارائه کردند. این متغیرها، یکی از مهم‌ترین متغیرهای محیطی بوده که در بسیاری از مطالعات مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها استفاده می‌شوند (هیو و جیانگ[11]، ۲۰۱۰). متغیرهای زیست‌اقلیمی شامل شاخص‌های بارندگی و متوسط درجه حرارت، متغیرهای فصلی و حداقل و حداکثر درجه حرارت می‌باشند (هیجامنز و همکاران، ۲۰۰۵). نقشه‌های ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی برای مقیاس کشوری تهیه گردیده‌اند (هیجامنز و همکاران، ۲۰۰۵ و فیک و هیجامنز[12]، ۲۰۱۷). محققان بسیاری از این متغیرها برای تهیه نقشه‌های پراکنش گونه‌ای در مقیاس کشوری و استانی مورد استفاده قرار داده‌اند (ترنیان و همکاران، ۱۳۹۶؛ پادالیا و همکاران[13]، ۲۰۱۴؛ ونگ و همکاران[14]، ۲۰۱۶؛ ویو و همکاران[15]، ۲۰۱۸). از آنجایی که این متغیرهای زیست‌اقلیمی در مقیاس تقریبی یک کیلومتر ایجاد شده‌اند، به نظر می‌رسد برای مقیاس محلی و حتی استانی از دقت کافی برخوردار نباشند و نیاز به بازسازی و صحت‌سنجی آنها در مقیاس‌هایی همچون ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ متری دارد. برای بازسازی این متغیرها می‌توان از روش‌های درون‌یابی زمین‌آماری استفاده کرد (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۳؛ ثقفیان و همکاران، ۱۳۹۰؛ خسروی و همکاران، ۱۳۹۳؛ فتحی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳؛ ویسنت ـ سنارو[16] و همکاران، ۲۰۰۳؛ روجلیس و ورنر[17]، ۲۰۱۳). روش‌های درون‌یابی برای تخمین یک متغیر در یک مکان خاص از روی داده‌های واقعی اندازه‌گیری شده در نقاط مجاور استفاده می‌شوند

[1] Species Distribution Modeling (SDM)
[2] Hirzel and Guisan
[3] Stockwell and Peters
[4] MaxEnt
[5] Antropy mximum
[6] Philips
[7] Elith *et al*
[8] O'Donnell and Ignizio
[9] Hijmans
[10] Bioclimatic variable
[11] Hu and Jiang
[12] Fick and Hijmans
[13] Padalia *et al*
[14] Wang *et al*
[15] Wu *et al*
[16] Vicente-Serrano *et al*
[17] Rogelis and Werner

[Downloaded from gsma.lu.ac.ir on 2025-05-10]
[DOR: 20.1001.1.27172325.1399.1.3.4.7]
[DOI: Doi:10.29252/gsma.1.3.1]

(نادی و همکاران، ۱۳۹۱). معمولاً روش‌های درون‌یابی کاربردی شامل کریجینگ[1] و کوکریجینگ[2] برای دما یا بارندگی می‌باشند (هدسون و وکرناگل[3]، ۱۹۹۴؛ دیودیتو[4]، ۲۰۰۵)، که در بسیاری از مطالعات روش‌های درون‌یابی کاربردی از متغیر ارتفاع به عنوان متغیرهای کمکی استفاده می‌شود (احمد و همکاران[5]، ۲۰۱۴). همچنین عواملی مانند تراکم و توزیع مکانی ایستگاه‌ها و خصوصیات زمین می‌تواند بر عملکرد این روش‌ها تأثیرگذار باشد (لی و هیپ[6]، ۲۰۱۱). در برخی از موارد این روش‌ها نسبت به سایر روش‌های درون‌یابی همچون روابط رگرسیون بین بارندگی و اثرات جغرافیایی مستعد خطا هستند (چانگ[7]، ۱۹۹۱).

جنگل‌های زاگرس درغرب ایران، زیست‌بوم‌های طبیعی با ارزشی هستند که در آنها تنوع بالایی ازگونه‌های گیاهی و جانوری وجود دارد و عامل مهمی در تهیه بسیاری از نیازهای ساکنان این اکوسیستم‌ها هستند (ایلدرمی و همکاران، ۱۳۹۴). استان لرستان یکی از مهمترین رویشگاه‌های طبیعی گونه‌های گیاهی کشور است و دارای تنوع گونه‌ای بسیار بالایی است که این خود متأثر از تنوع اقلیمی و آب و هوایی در این منطقه از رشته کوه‌های زاگرس است (نادری و همکاران، ۱۳۸۸). اخیراً جنگل‌ها و مراتع استان لرستان تحت تأثیر تخریب و شیوه‌های نادرست مدیریتی شامل فعالیت‌های انسانی، چرای بی‌رویه دام، آتش‌سوزی، قطع بی‌رویه و تغییر کاربری اراضی کشاورزی قرار گرفته است (میرزایی[8]، ۲۰۱۲)، که می‌توان با اعمال روش‌های مدیریتی جامع برای حفاظت و احیاء این مناطق تلاش کرد (پروانه، ۱۳۸۸).

از آنجا که تاکنون پژوهشی در رابطه با نحوه استخراج و درون‌یابی متغیرهای زیست‌اقلیمی در استان لرستان صورت نگرفته است، هدف این مطالعه تعیین بهترین روش درون‌یابی برای تهیه نقشه‌های متغیرهای زیست‌اقلیمی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار کریجینگ، کوکریجینگ و مدل رگرسیون خطی چندگانه می‌باشد. این نقشه‌های زیست‌اقلیمی، نقشه‌های پایه در مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای، پیش‌بینی مکان‌های جدید و شناسایی شرایط بهینه کشت گونه‌ای می‌باشند.

۲. روش تحقیق

۲. ۱. منطقه مورد مطالعه

استان لرستان با مساحت ۲۸۳۰۸ کیلومتر مربع در ناحیه جنوب‌غربی ایران در محدوده جغرافیایی '۵۱ °۴۶ و '۳۰ °۵۰ طول شرقی و '۳۷ °۳۲ و '۲۲ °۳۴ عرض شمالی در بین رشته کوه‌های زاگرس واقع شده است. حداکثر ارتفاع از سطح دریا ۴۰۵۹ متر و حداقل آن ۱۹۹ متر است. استان لرستان به دلیل شرایط و موقعیت جغرافیایی خاص در ناحیه جنوب‌غربی ایران، از اقلیم متنوع و مطلوبی برخوردار است.

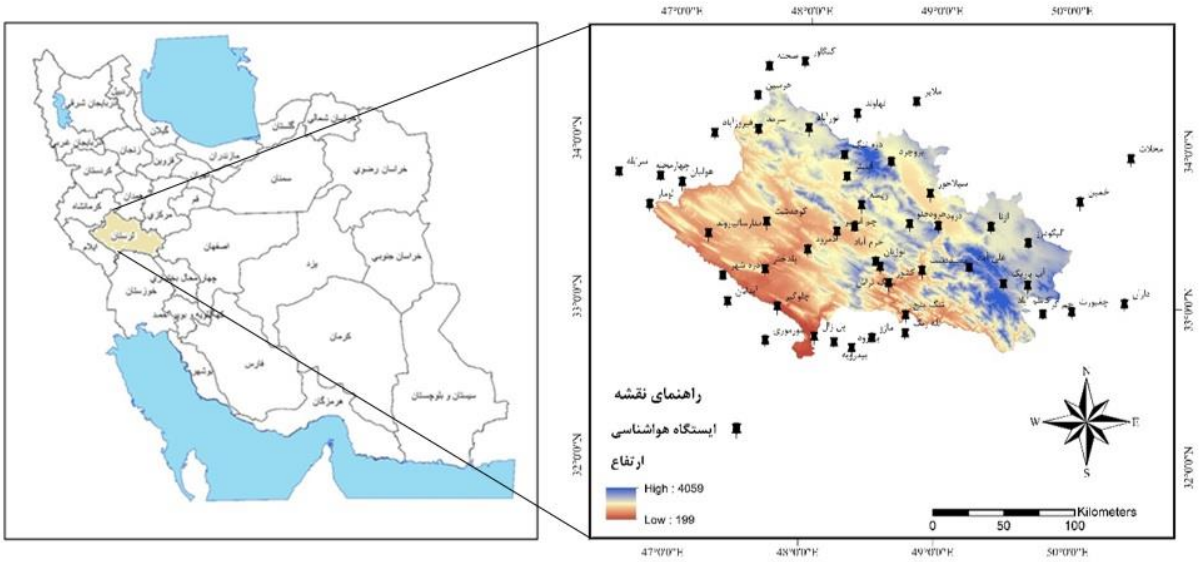
۲. ۲. داده‌های اقلیمی و متغیرهای زیست‌اقلیمی

در این تحقیق از داده‌های ماهانه دما و بارندگی ۴۹ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک، کلیماتولوژی، باران‌سنج و تبخیرسنج در طی سال‌های ۱۳۳۱ تا ۱۳۹۶ در استان لرستان استفاده شد. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه روی نقشه توپوگرافی در سطح استان لرستان نشان داده شده است (شکل ۱). ابتدا متوسط دما و بارندگی ماهانه و سالانه برای هرکدام از ایستگاه‌ها محاسبه شد، سپس برای محاسبه ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی از شاخص‌های توصیفی ادونیل و ایگنیزیو (۲۰۱۲) استفاده شد (جدول ۱). درنهایت با استفاده از روش‌های درون‌یابی کریجینگ، کوکریجینگ و مدل رگرسیون خطی چندگانه نقشه هر متغیر زیست‌اقلیمی در

[1] Kriging
[2] Cokriging
[3] Hudson and Wackernagel
[4] Diodato
[5] Ahmed *et al*
[6] Li and Heap
[7] Chang
[8] Mirzaei

[Downloaded from gsma.lu.ac.ir on 2025-05-10]
[DOR: 20.1001.1.27172325.1399.1.3.4.7]
[DOI: Doi:10.29252/gsma.1.3.1]

مقیاس ۳۰ متر با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1 رسم شد.



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح استان لرستان

۳۲. ۳. بررسی توزیع نرمال

قبل از تعیین بهترین روش برای درون‌یابی، داده‌های متغیرهای زیست‌اقلیمی با استفاده از روش لگاریتم نرمال در نرم افزار ArcGIS 10.4.1 نرمال شدند.

۲. ۴. واریوگرام[1]

اولین قدم در محاسبات کریجینگ محاسبه واریوگرام است (صادقی‌راد و همکاران، ۱۳۹۴). واریوگرام یکی از مهم‌ترین روش‌های تحلیل و بررسی همبستگی مکانی بین داده‌های زیست‌اقلیمی به شمار می‌رود و به منظور تشخیص پیوستگی مکانی یک متغیر به کار می‌رود (خسروی و عباسی، ۱۳۹۵). رابطه (۱) معادله واریوگرام را نشان می‌دهد (Cressie, 1993).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2\,N(h)} + \sum_{i=1}^{n}\left(Z(x_i+h) - Z(x_i)\right)^2 \qquad (۱)$$

(h) مقدار واریوگرام در فاصله h

$Z(x_i+h)$: مقدار اندازه‌گیری شده در مکان x_i+h

$Z(x_i)$: مقدار اندازه‌گیری شده برای یک متغیر در مکان x_i

$N(h)$: تعداد جفت نقاط به فاصله h

مشخصات واریوگرام

پارامترهای مهم واریوگرام شامل موارد زیر است:

اثر قطعه‌ای[2] (C_0): مقدار واریوگرام در مبدا مختصات یعنی به ازای $h = 0$، اثر قطعه‌ای نامیده می‌شود.

حد آستانه[3] (C_0+C): به مقدار ثابتی که واریوگرام در دامنه تأثیر به آن می‌رسد، گفته می‌شود.

دامنه تأثیر[4]: فاصله‌ای که درآن واریوگرام به حد ثابتی می‌رسد و به حالت خط افقی نزدیک می‌شود، گویند.

۵. روش‌های درون‌یابی[5]

کریجینگ

یک روش برآورد زمین‌آماری است که بر پایه میانگین متحرک وزن‌دار استوار است.

[1] Variogram

[2] Nugget Effect
[3] Sill
[4] Range of Influence
[5] Interpolation

[Downloaded from gsma.lu.ac.ir on 2025-05-10]
[DOR: 20.1001.1.27172325.1399.1.3.4.7]
[DOI: Doi:10.29252/gsma.1.3.1]

[Downloaded from gsma.lu.ac.ir on 2025-05-10]

[DOR: 20.1001.1.27172325.1399.1.3.4.7]

[DOI: Doi:10.29252/gsma.1.3.1]

جدول ۱. توصیف متغیرهای زیست‌اقلیمی مورد مطالعه

متغیر	توصیف اقلیمی		متغیر	توصیف اقلیمی	
Bio1	متوسط درجه حرارت سالانه	$Bio1=\frac{\sum_{i=1}^{i=12}Tavg_i}{12}$	Bio11	متوسط درجه حرارت سردترین سه ماه متوالی	$Bio11=\frac{\sum_{i=1}^{i=3}Tavg_i}{3}$
Bio2	متوسط دامنه روزانه درجه حرارت	$Bio2=\frac{\sum_{i=1}^{i=12}(Tmax_i-Tmin_i)}{12}$	Bio12	متوسط بارندگی سالانه	$Bio12=\sum_{i=1}^{i=12}PPT_i$
Bio3	همدمایی	$Bio3=\frac{Bio2}{Bio7}\times 100$	Bio13	بارندگی مرطوب‌ترین ماه	$Bio13=max([PPT_i \dots PPT_{12}])$
Bio4	تغیرپذیری فصلی (انحراف معیار×۱۰۰)	$Bio4=SD\{Tavg_1 \dots Tavg_{12}\}$	Bio14	بارندگی خشک‌ترین ماه	$Bio14=min([PPT_i \dots PPT_{12}])$
Bio5	حداثر درجه حرارت گرم‌ترین ماه	$Bio5=max(\{Tmax_1 \dots Tmax_{12}\})$	Bio15	تغییرات فصلی بارندگی	$Bio15=\frac{SD\{PPT_i \dots PPT_{12}\}}{1+\left(Bio12/12\right)}\times 100$
Bio6	حداقل درجه حرارت سردترین ماه	$Bio6=min(\{Tmin_1 \dots Tmin_{12}\})$	Bio16	بارندگی مرطوب‌ترین سه ماه متوالی	$Bio16=max\begin{pmatrix}\sum_{i=1}^{i=3}PPT_i\\ \sum_{i=2}^{i=4}PPT_i\\ \dots\\ \sum_{i=10}^{i=12}PPT_i\\ \sum_{i=11}^{i=1}PPT_i\\ \sum_{i=12}^{i=2}PPT_i\end{pmatrix}$
Bio7	دامنه درجه حرارت سالانه	$Bio7=Bio5-Bio6$	Bio17	بارندگی خشک‌ترین سه ماه متوالی	$Bio17=min\begin{pmatrix}\sum_{i=1}^{i=3}PPT_i\\ \sum_{i=2}^{i=4}PPT_i\\ \dots\\ \sum_{i=10}^{i=12}PPT_i\\ \sum_{i=11}^{i=1}PPT_i\\ \sum_{i=12}^{i=2}PPT_i\end{pmatrix}$
Bio8	متوسط درجه حرارت مرطوب‌ترین سه ماه متوالی	$Bio8=\frac{\sum_{i=1}^{i=3}Tavg_i}{3}$	Bio18	بارندگی گرم‌ترین سه ماه متوالی	$Bio18=\sum_{i=1}^{i=3}PPT_i$
Bio9	متوسط درجه حرارت خشک‌ترین سه ماه متوالی	$Bio9=\frac{\sum_{i=1}^{i=3}Tavg_i}{3}$	Bio19	بارندگی سردترین سه ماه متوالی	$Bio19=\sum_{i=1}^{i=3}PPT_i$
Bio10	متوسط درجه حرارت گرم‌ترین سه ماه متوالی	$Bio10=\frac{\sum_{i=1}^{i=3}Tavg_i}{3}$			

منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹

این روش بهترین برآورد کننده خطی ناریب است. از ویژگی‌های کریجینگ این است که در عین ناریب بودن، واریانس تخمین نیز در کمترین مقدار می‌باشد، به طوری که در سایر روش‌های تخمین همچون روش چندجمله‌ای وزن-دهی معکوس فاصله[1] نیز اعمال می‌شود (کاظمی و قربانی، ۱۳۹۴). این روش برای داده‌هایی با پراکنش نامنظم نیز به کار می‌رود (عساکره، ۱۳۸۷) (رابطه۲).

$$\hat{z}(x_0) = \sum_{i=0}^{n} \lambda_i z(x_i) \quad (۲)$$

$\hat{z}(x_0)$: تخمین مقدار متغیر Z در نقطه x

λ_i: وزن‌های آماری اختصاص یافته به مقادیر Z در نقاط x_i

کوکریجینگ

روشی است که برای برآورد داده‌های مجهول استفاده می‌شود. این روش برای دو یا چند متغیر بهم وابسته مورد استفاده قرار می‌گیرد (صادقی‌راد و همکاران، ۱۳۹۴) (رابطه۳).

$$Z^*(x_i) = \sum_{z=1}^{n} \lambda_{zi}(x_i) \sum_{k=1}^{n} \lambda_{k,y} y(X_k) \quad (۳)$$

مدل رگرسیون خطی چندگانه[2]

مدل رگرسیون خطی چندگانه یکی از روش‌هایی است که در آن از دو متغیر وابسته و مستقل استفاده می‌شود (Navid and Niloy, 2018). (رابطه ۴).

$$Yi = \beta 0 + \beta 1 xi1 + \beta 2\, xi\, 2 + \beta 3 xi\, 3 \ldots . \beta p xi \quad (۴)$$

۲. ۶. ارزیابی روش‌های درون‌یابی به منظور تعیین بهترین روش برای متغیرهای زیست‌اقلیمی

برای ارزیابی دو روش درون‌یابی کریجینگ و کوکریجینگ از روش ارزیابی متقابل[3] در نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1 استفاده شد. مقایسه بین مقادیر واقعی متغیر و مقادیر تخمینی صورت گرفت. به این صورت که یک نقطه حذف شد و با استفاده از سایر نقاط، تخمین برای این نقطه انجام گرفت، سپس این نقطه به محل خود برگردانده شد و نقطه بعدی حذف شد و به این ترتیب برای تمام نقاط برآورد صورت گرفت. در پایان دو ستون شامل مقادیر مشاهده شده و برآورد شده ایجاد شد (خسروی و عباسی، ۱۳۹۵). معیارهای مختلفی برای مقایسه مقادیر مشاهده شده و برآورد شده استفاده می‌شود، که در این تحقیق از ریشه میانگین مربعات خطا[4] (RMSE) و ریشه دوم میانگین استاندارد شده خطا[5] (RMSSE) استفاده شد (Diodato, 2005) (رابطه ۵ و ۶).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i^2} \quad (۵)$$

$$RMSSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\varepsilon_i}{\sigma(s_i)}\right)^2} \quad (۶)$$

۳. یافته‌های تحقیق

در این تحقیق دو روش درون‌یابی (کریجینگ و کوکریجینگ) و مدل رگرسیون خطی چندگانه برای رسم نقشه‌های ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی مورد بررسی قرار گرفت و بهترین روش برای هر متغیر براساس ریشه میانگین مربعات خطا و ریشه دوم میانگین استاندارد شده خطا تعیین شد. برای انتخاب بهترین مدل برای انجام درون‌یابی از ترسیم واریوگرام در محیط نرم افزار GS$^+$ 5.1 با و بدون متغیر کمکی ارتفاع استفاده شد. در این تحقیق از واریوگرام‌های کروی، نمایی، خطی و گوسی استفاده گردید. نتایج حاصل از ترسیم واریوگرام در جدول‌های (۳) و (۴) نشان داده شده است. باتوجه به داده‌های این جدول‌ها واریوگرامی برای

[1] Inverse Distance Weighting
[2] Multiple Liner Regression

[3] Cross-Validation
[4] Root-Mean-Square Error
[5] Root-Mean-Square Standardized Error

[Downloaded from gsma.lu.ac.ir on 2025-05-10]
[DOR: 20.1001.1.27172325.1399.1.3.4.7]
[DOI: Doi:10.29252/gsma.1.3.1]

برازش متغیرهای زیست‌اقلیمی مورد استفاده قرار گرفت که همبستگی مکانی بین داده‌ها را به شکل مطلوب‌تری نسبت به سایر واریوگرام‌ها نشان دهد. بر اساس نتایج نسبت همبستگی مکانی بین متغیرها از تقسیم اثر قطعه‌ای بر حد آستانه بدست آمد. اگر نسبت بدست آمده کمتر از ۲۵ درصد باشد متغیر دارای همبستگی مکانی قوی است. اگر این نسبت بین ۲۵ تا ۷۵ درصد باشد متغیر همبستگی مکانی متوسط دارد و اگر نسبت فوق بیشتر از ۷۵ درصد باشد، همبستگی مکانی متغیر ضعیف است (Cambardella *et al.*, 1994; Bo *et al.*, 2003). به همین منظور مدل نمایی برای Bio1، Bio4، Bio8، Bio9، Bio10، Bio11، Bio13، Bio17 و Bio19، مدل کروی برای Bio15 و مدل گوسی برای Bio2، Bio3، Bio5، Bio6، Bio7، Bio12، Bio16 و Bio18 بدون متغیر کمکی ارتفاع (جدول ۳) و مدل نمایی با استفاده از متغیر کمکی ارتفاع برای همه ۱۹ متغیر زیست-اقلیمی جهت انجام درون‌یابی به عنوان بهترین مدل انتخاب شدند(جدول ۴). متغیر زیست‌اقلیمی بارندگی خشکترین ماه (Bio14) بدلیل عدم وجود بارندگی مقدار آن صفر شد.

جدول۳. خصوصیات واریوگرام‌های متغیرهای زیست‌اقلیمی بدون متغیر کمکی ارتفاع

متغیر	اثر قطعه‌ای(C_0)				حد آستانه(C_0+C)				نسبت همبستگی(□)			
	کروی	نمایی	خطی	گوسی	کروی	نمایی	خطی	گوسی	کروی	نمایی	خطی	گوسی
Bio1	۱۱/۷	۱۰/۷	۱۱/۹	۱۲	۴۳/۵	۵۲/۳۵	۳۱/۲	۲۸/۶۱	۲۶/۸	۲۰/۴	۳۸/۱	۴۱/۹
Bio2	۵/۲	۲/۳	۱۴	۱۰/۴۵	۳۶/۸۹	۴۰/۱۳	۴۱/۱۱	۳۷/۳۸	۱۴	۵/۷	۳۴	۲۷/۹
Bio3	۴۴	۴۲/۷	۴۴/۶	۵۵/۴	۱۴۷/۳	۲۲۲/۱	۱۰۵/۲	۳۱۲/۳	۲۹/۸	۱۹/۲	۴۲/۳	۱۷/۲
Bio4	۲۸۲۸	۲۸۰۰	۲۸۴۳	۳۱۷۰	۵۷۴۵	۷۸۴۴	۴۵۵۸/۲۵	۸۴۵۰	۴۹/۲	۳۵/۶	۶۲/۳	۳۷/۵
Bio5	۴۷۴۰۰	۴۷۹۰۰	۴۷۸۲۰/۶	۵۲۴۰۰	۱۰۶۵۰۰	۱۴۵۰۰۰	۸۲۵۵۰/۷	۲۸۶۲۰۰	۴۴/۵	۳۳	۵۷/۹	۱۸/۳
Bio6	۵۱۸۰۰	۵۲۱۰۰	۵۲۲۱۹	۵۷۴۰۰	۱۱۸۰۰۰	۱۶۱۹۰۰	۹۱۲۱۱	۳۱۹۵۰۰	۴۳/۸	۳۲/۱	۵۷/۲	۱۷/۹
Bio7	۴۷۱۰۰	۴۷۷۰۰	۴۷۵۷۳/۹	۵۲۲۰۰	۱۰۴۴۰۰	۱۴۱۴۰۰	۸۱۱۸۰/۳	۲۷۶۴۰۰	۴۵/۱	۳۳/۳	۵۸/۶	۱۸/۸
Bio8	۸/۹۳	۷/۸۶	۹/۱۲	۱۱/۲۲	۳۶/۱۵	۳۶/۷۱	۲۵/۱۵	۲۸/۸۱	۲۴/۷	۲۱/۴	۳۶/۲	۳۸/۹
Bio9	۱۶/۷	۱۴/۲	۱۷	۲۱/۱	۷۳	۷۸/۴	۵۰/۵۲	۵۵/۱۳	۲۲/۸	۱۸/۱	۳۳/۶	۳۸/۲
Bio10	۱۵/۶	۱۲/۹	۱۵/۹	۱۷/۲۹	۶۸/۲۳	۶۶/۸	۴۷/۴۷	۴۴/۲۹	۲۲/۸	۱۹/۳	۳۳/۴	۳۹
Bio11	۱۰/۲	۹/۱	۱۰/۳۳	۱۲/۱	۴۴/۱۸	۴۹/۲	۳۰/۷۴	۳۱	۲۳	۱۸/۴	۳۳/۶	۳۹
Bio12	۴۶۴۰	۵۱۳۰	۵۳۵۵/۷	۵۴۸۰	۹۲۸۱	۱۰۲۶۱	۶۷۶۹/۳	۱۴۰۷۰	۴۹/۹	۴۹/۹	۷۹/۱	۳۸/۹
Bio13	۷۸۰	۵۳۷	۸۳۷/۹۷	۹۲۱	۱۵۶۱	۱۱۵۵	۱۱۹۳	۱۸۴۳	۴۹/۹	۴۶/۴	۷۰/۲	۴۹/۹
Bio14	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Bio15	۳۶/۵	۴۰/۴	۴۳/۴۹	۴۵/۴	۷۳/۰۱	۸۰/۸	۵۲/۰۴	۹۰/۸	۴۹/۹	۵۰	۸۳/۵	۵۰
Bio16	۵۰۸۰	۵۳۲۰	۵۷۲۰/۸	۶۲۴۰	۱۰۱۷۰	۱۰۶۵۰	۷۴۸۱/۹	۱۲۴۴۹۰	۴۹/۹	۴۹/۹	۷۶/۴	۵
Bio17	۰/۳۸	۰/۲۸	۰/۶۹۹	۰/۵۷۳	۱/۶۱	۱/۷۶	۱/۷۸	۱/۶۲	۲۳/۶	۱۵/۹	۳۹/۲	۳۵/۳
Bio18	۲۷/۶۲	۳۰/۱	۳۰/۴۳	۳۱/۲	۵۵/۲۵	۶۲/۵۱	۴۱/۶۴	۱۱۳/۴	۴۹/۹	۴۸/۱	۷۳	۲۷/۵
Bio19	۰/۰۰۷	۰/۰۰۵	۰/۰۱۵	۰/۰۱	۰/۰۲۴	۰/۰۲۵	۰/۰۲۶	۰/۰۲۴	۲۹/۱	۲۰	۵۷/۶	۴۱/۶

حدآستانه / اثر قطعه‌ای = نسبت همبستگی، منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹

[Downloaded from gsma.lu.ac.ir on 2025-05-10]
[DOR: 20.1001.1.27172325.1399.1.3.4.7]
[DOI: Doi:10.29252/gsma.1.3.1]

جدول۴. خصوصیات واریوگرام‌های متغیرهای زیست‌اقلیمی با متغیر کمکی ارتفاع

متغیر	اثر قطعه‌ای(C_0)				حد آستانه(C_0+C)				نسبت همبستگی(□)			
	کروی	نمایی	خطی	گوسی	کروی	نمایی	خطی	گوسی	کروی	نمایی	خطی	گوسی
Bio1	۱۵۹۰۰۰	۱۳۵۰۰۰	۱۶۴۶۰۰/۶۱	۲۰۱۰۰۰	۷۵۶۶۰۰	۷۸۱۰۰۰	۵۴۷۱۵۶/۶	۵۷۰۳۰۰	۲۱	۱۷/۲	۳۰	۳۵/۲
Bio2	۵۰۰۰۰	۹۰۰۰	۸۵۸۴۰/۴	۹۸۰۰۰	۵۰۹۹۰۰	۶۲۹۰۰۰	۵۳۰۹۲۳/۱	۴۸۲۸۰۰	۹/۸	۱/۴	۱۶/۱	۲۰/۲
Bio3	۵۰۰۰۰	۹۰۰۰	۸۵۸۴۰/۴	۹۸۰۰۰	۵۰۹۹۰۰	۶۲۹۰۰۰	۵۳۰۹۲۳/۱	۴۸۲۸۰۰	۹/۸	۱/۴	۱۶/۱	۲۰/۲
Bio4	۱۵۹۰۰۰	۱۳۵۰۰۰	۱۶۴۶۰۰/۶۱	۲۰۱۰۰۰	۷۵۶۶۰۰	۷۸۱۰۰۰	۵۴۷۱۵۶/۶	۵۰۷۳۰۰	۲۱	۱۷/۲	۳۰	۳۵/۲
Bio5	۵۰۰۰۰	۹۰۰۰	۸۵۸۴۰/۴	۹۸۰۰۰	۵۰۹۹۰۰	۶۲۹۰۰۰	۵۳۰۹۲۳/۱	۴۸۲۸۰۰	۹/۸	۱/۴	۱۶/۱	۲۰/۲
Bio6	۵۰۰۰۰	۹۰۰۰	۸۵۸۴۰/۴	۹۸۰۰۰	۵۰۹۹۰۰	۶۲۹۰۰۰	۵۳۰۹۲۳/۱	۴۸۲۸۰۰	۹/۸	۱/۴	۱۶/۱	۲۰/۲
Bio7	۵۰۰۰۰	۹۰۰۰	۸۵۸۴۰/۴	۹۸۰۰۰	۵۰۹۹۰۰	۶۲۹۰۰۰	۵۳۰۹۲۳/۱	۴۸۲۸۰۰	۹/۸	۱/۴	۱۶/۱	۲۰/۲
Bio8	۱۵۹۰۰۰	۱۳۵۰۰۰	۱۶۴۶۰۰/۶۱	۲۰۱۰۰۰	۷۵۶۶۰۰	۷۸۱۰۰۰	۵۴۷۱۵۶/۶	۵۷۰۳۰۰	۲۱	۱۷/۲	۳۰	۳۵/۲
Bio9	۱۵۹۰۰۰	۱۳۵۰۰۰	۱۶۴۶۰۰/۶۱	۲۰۱۰۰۰	۷۵۶۶۰۰	۷۸۱۰۰۰	۵۴۷۱۵۶/۶	۵۷۰۳۰۰	۲۱	۱۷/۲	۳۰	۳۵/۲
Bio10	۱۵۹۰۰۰	۱۳۵۰۰۰	۱۶۴۶۰۰/۶۱	۲۰۱۰۰۰	۷۵۶۶۰۰	۷۸۱۰۰۰	۵۴۷۱۵۶/۶	۵۷۰۳۰۰	۲۱	۱۷/۲	۳۰	۳۵/۲
Bio11	۱۵۹۰۰۰	۱۳۵۰۰۰	۱۶۴۶۰۰/۶۱	۲۰۱۰۰۰	۷۵۶۶۰۰	۷۸۱۰۰۰	۵۴۷۱۵۶/۶	۵۷۰۳۰۰	۲۱	۱۷/۲	۳۰	۳۵/۲
Bio12	۱۲۸۰۰۰	۹۴۰۰۰	۱۳۶۰۸۵/۳	۱۷۹۰۰۰	۷۶۷۰۰۰	۶۹۹۰۰۰	۵۷۱۶۴۸/۳	۵۹۶۵۰۰	۱۶/۶	۱۳/۴	۲۳/۸	۳۰
Bio13	۱۲۸۰۰۰	۹۴۰۰۰	۱۳۶۰۸۵/۳	۱۷۹۰۰۰	۷۶۷۰۰۰	۶۹۹۰۰۰	۵۷۱۶۴۸/۳	۵۹۶۵۰۰	۱۶/۶	۱۳/۴	۲۳/۸	۳۰
Bio14	۰	۰	۰		۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Bio15	۱۲۸۰۰۰	۹۴۰۰۰	۱۳۶۰۸۵/۳	۱۷۹۰۰۰	۷۶۷۰۰۰	۶۹۹۰۰۰	۵۷۱۶۴۸/۳	۵۹۶۵۰۰	۱۶/۶	۱۳/۴	۲۳/۸	۳۰
Bio16	۱۲۸۰۰۰	۹۴۰۰۰	۱۳۶۰۸۵/۳	۱۷۹۰۰۰	۷۶۷۰۰۰	۶۹۹۰۰۰	۵۷۱۶۴۸/۳	۵۹۶۵۰۰	۱۶/۶	۱۳/۴	۲۳/۸	۳۰
Bio17	۱۵۹۰۰۰	۱۳۵۰۰۰	۱۶۴۶۰۰/۶۱	۲۰۱۰۰۰	۷۵۶۶۰۰	۷۸۱۰۰۰	۵۴۷۱۵۶/۶	۵۷۰۳۰۰	۲۱	۱۷/۲	۳۰	۳۵/۲
Bio18	۱۵۹۰۰۰	۱۳۵۰۰۰	۱۶۴۶۰۰/۶۱	۲۰۱۰۰۰	۷۵۶۶۰۰	۷۸۱۰۰۰	۵۴۷۱۵۶/۶	۵۷۰۳۰۰	۲۱	۱۷/۲	۳۰	۳۵/۲
Bio19	۱۵۹۰۰۰	۱۳۵۰۰۰	۱۶۴۶۰۰/۶۱	۲۰۱۰۰۰	۷۵۶۶۰۰	۷۸۱۰۰۰	۵۴۷۱۵۶/۶	۵۷۰۳۰۰	۲۱	۱۷/۲	۳۰	۳۵/۲

منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹

پس از انجام درون‌یابی، با استفاده از معیارهای ارزیابی ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ریشه دوم میانگین استاندارد شده خطا (RMSSE) صحت ارزیابی روش‌های درون‌یابی برای متغیرهای زیست‌اقلیمی مورد بررسی قرار گرفت (جدول۵). براساس نتایج هرچه مقدار RMSE و RMSSE دارای خطای پایین‌تر و به سمت صفر میل کند، نشان دهنده بهترین روش درون‌یابی است. با توجه به این معیارها می‌توان گفت که روش کوکریجینگ برای Bio1، Bio2، Bio3، Bio6، Bio8، Bio9، Bio10 و Bio11، و روش کریجینگ برای Bio4، Bio5، Bio7، Bio12، Bio13، Bio15، Bio16، Bio17، Bio18 و Bio19 به عنوان بهترین روش درون‌یابی بودند. از آنجا که مقدار RMSE در Bio4، Bio12 و Bio19 زیاد بود از مدل رگرسیون خطی چندگانه استفاده شد. نتایج مدل رگرسیون خطی چندگانه نشان داد که مقدار RMSE در Bio4 و Bio12 بیشتر از روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ بود، اما در Bio19 ، خطای RMSE کمتر از روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ است (جدول ۵).

[Downloaded from gsma.lu.ac.ir on 2025-05-10]
[DOR: 20.1001.1.27172325.1399.1.3.4.7]
[DOI: Doi:10.29252/gsma.1.3.1]

جدول۵- ارزیابی روش‌های مختلف درون یابی متغیرهای زیست‌اقلیمی

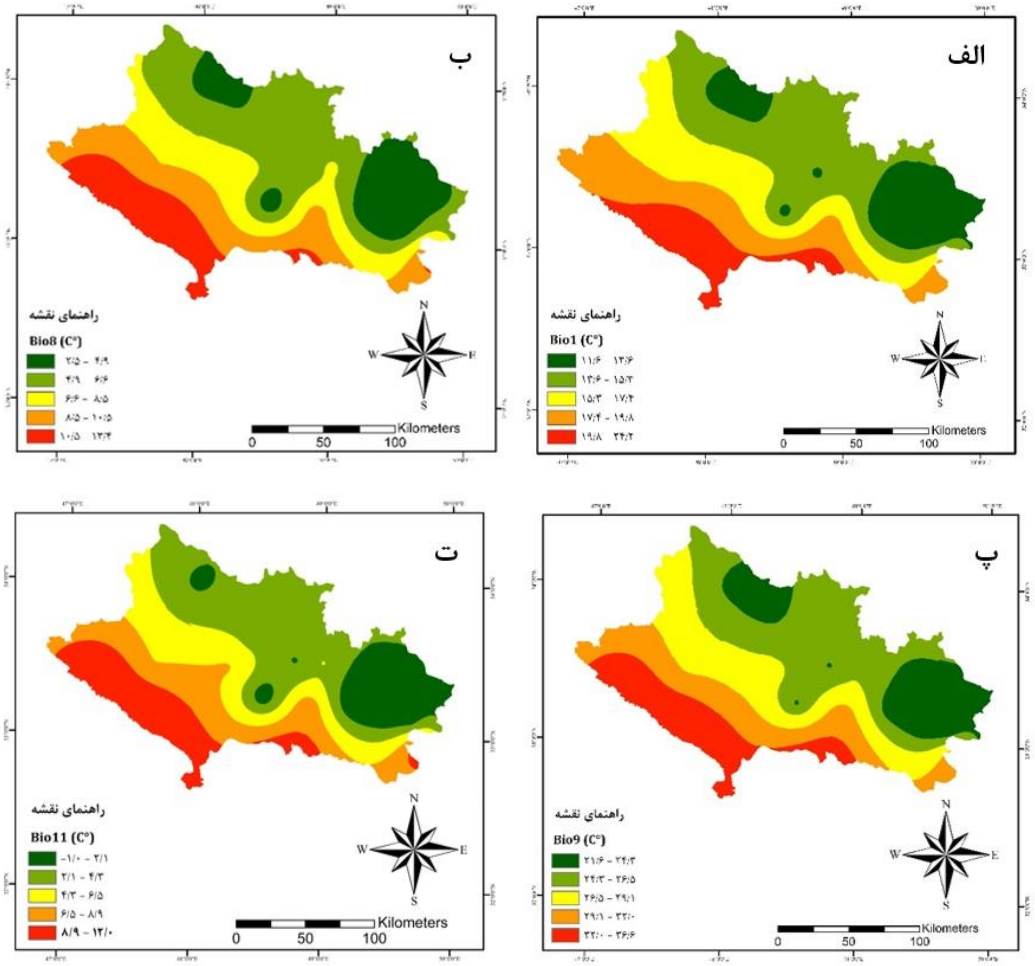
متغیر	روش	ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)	ریشه دوم میانگین استاندارد شده خطا (RMSSE)	متغیر	روش	ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)	ریشه دوم میانگین استاندارد شده خطا (RMSSE)
Bio1	کریجینگ	۳/۶۹	۱/۰۸	Bio12	کریجینگ	۱۲۶/۷۵	۱/۰۰
	کوکریجینگ	۲/۳۹	۰/۸۱		کوکریجینگ	۱۳۹/۸۹	۱/۲۵
Bio2	کریجینگ	۴/۴۸	۱/۲۱		رگرسیون خطی چندگانه	۱۴۲/۲۶	-
	کوکریجینگ	۳/۹۵	۱/۰۹	Bio13	کریجینگ	۲۸/۱۳	۱/۰۱
Bio3	کریجینگ	۶/۲۷	۱/۲۴		کوکریجینگ	۲۸/۶۶	۱/۰۷
	کوکریجینگ	۵/۰۸	۰/۸۸	Bio14	کریجینگ	۰	۰
Bio4	کریجینگ	۷۹/۰۷	۰/۸۴		کوکریجینگ	۰	۰
	کوکریجینگ	۸۱/۲	۰/۸۹	Bio15	کریجینگ	۱۱/۷۲	۰/۹۴
	رگرسیون خطی چندگانه	۱۴۲/۷۳	-		کوکریجینگ	۱۱/۶۰	۰/۹۶
Bio5	کریجینگ	۳/۱۰	۰/۹۴	Bio16	کریجینگ	۶۵/۰۵	۰/۹۴
	کوکریجینگ	۳/۳۰	۰/۹۶		کوکریجینگ	۷۰/۰۵	۱/۰۶
Bio6	کریجینگ	۶/۱۴	۱/۶۰	Bio17	کریجینگ	۱/۰۲	۱/۲۰
	کوکریجینگ	۴/۸۴	۱/۵۸		کوکریجینگ	۱/۰۳	۱/۳۷
Bio7	کریجینگ	۵/۷۰	۱/۰۸	Bio18	کریجینگ	۵/۵۲	۱/۶۷
	کوکریجینگ	۶/۱۷	۱/۲۱		کوکریجینگ	۵/۵۷	۱/۸۷
Bio8	کریجینگ	۳/۶۶	۱/۰۵	Bio19	کریجینگ	۵۹/۱۰	۰/۹۴
	کوکریجینگ	۲/۷۹	۰/۹۷		کوکریجینگ	۶۰/۹۱	۰/۹۹
Bio9	کریجینگ	۴/۵۰	۱/۰۲		رگرسیون خطی چندگانه	۵۵/۴۳	-
	کوکریجینگ	۳/۲۷	۰/۸۷				
Bio10	کریجینگ	۴/۳۷	۱/۰۳				
	کوکریجینگ	۳/۲۴	۰/۸۸				
Bio11	کریجینگ	۳/۵۴	۱/۰۴				
	کوکریجینگ	۲/۰۳	۰/۷۹				

منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹

در نهایت نقشه توزیع مکانی Bio1، Bio2، Bio3، Bio6، Bio8، Bio9، Bio10 و Bio11 به روش کوکریجینگ و Bio4، Bio5، Bio7، Bio12، Bio13، Bio15، Bio16، Bio17 و Bio18 به روش کریجینگ و

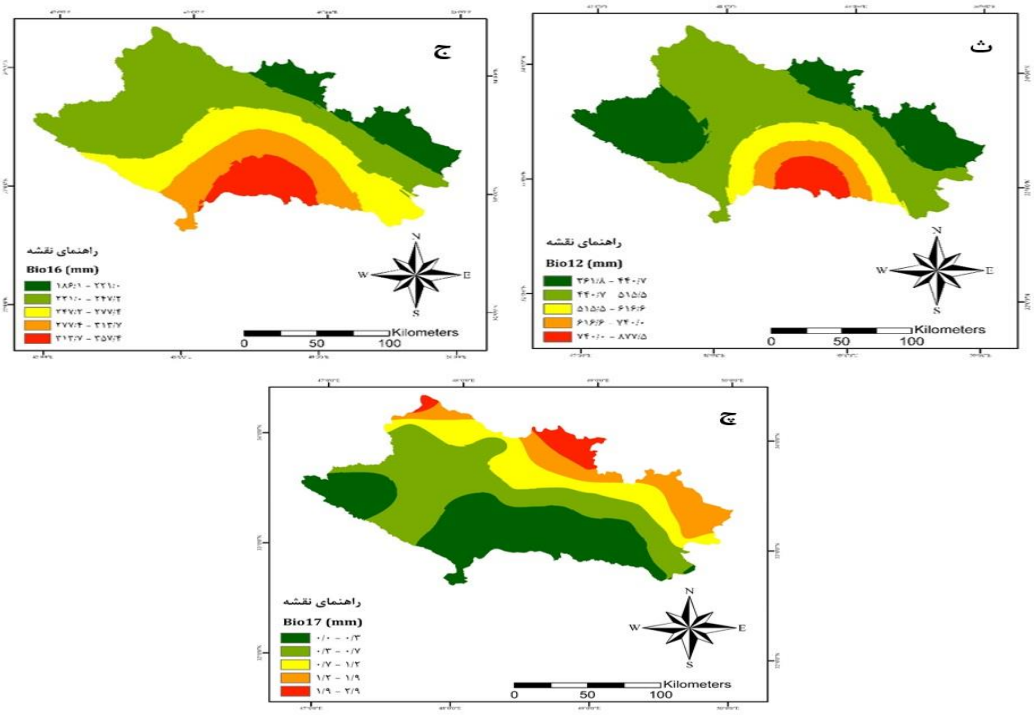
[Downloaded from gsma.lu.ac.ir on 2025-05-10]
[DOR: 20.1001.1.27172325.1399.1.3.4.7]
[DOI: Doi:10.29252/gsma.1.3.1]

Bio19 به روش مدل رگرسیون خطی چندگانه با استفاده از نرم افزار ArcGIS 10.4.1 رسم شد. به عنوان نمونه طبق شکل (۲) در Bio1، Bio8، Bio9 و Bio11 تغییرات دما مشابه بود به طوریکه بیشترین درجه حرارت مربوط به جنوب و جنوب‌غرب و کمترین درجه حرارت در شمال و شرق استان لرستان بود. این در حالی است که نقشه‌های بارندگی طبقه‌بندی مختلفی را نشان دادند. در Bio12 بیشترین مقدار بارندگی در جنوب استان با ۷۴۰ تا ۸۷۷/۵ میلیمتر و کمترین میزان بارش در غرب، شمال و شرق استان با ۳۶۱/۸ تا ۴۴۰/۷ میلیمتر است. در Bio16 بیشترین مقدار بارندگی در جنوب استان با ۳۱۳/۷ تا ۳۵۷/۴ میلیمتر و کمترین میزان بارش در شمال و شمال شرق استان لرستان با میزان ۱۸۶/۱ تا ۲۲۱ میلیمتر است. در Bio17 نیز بیشترین میزان بارش در شمال غرب، شمال و شمال شرق استان با ۱/۹ تا ۲/۹ میلیمتر و کمترین میزان بارش استان در جنوب و غرب استان با ۰ تا ۰/۳ میلیمتر است (شکل ۳). همچنین در Bio19 بیشترین مقدار بارندگی در جنوب با میزان ۲۳۶/۳ تا ۲۷۶/۱ میلیمتر و کمترین مقدار بارندگی در شمال، شرق و جنوب شرق استان با میزان ۱۵۳/۸ تا ۱۸۷/۴ میلیمتر است (شکل ۴).

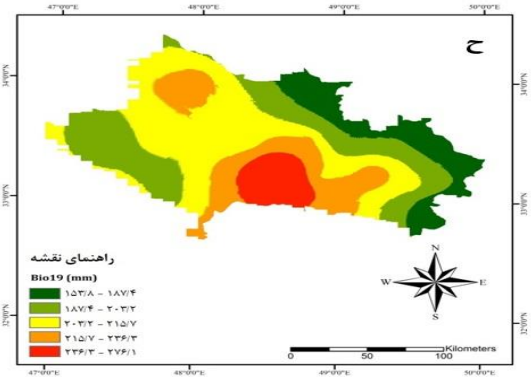


شکل ۲. نقشه توزیع مکانی متوسط درجه حرارت سالانه (Bio1) (الف)، متوسط درجه حرارت مرطوب‌ترین سه ماه متوالی (Bio8) (ب)، متوسط درجه حرارت خشک‌ترین سه ماه متوالی (Bio9) (پ) و متوسط درجه حرارت سردترین سه ماه متوالی (Bio11) (ت) ایجاد شده به روش کوکریجینگ، منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹

[Downloaded from gsma.lu.ac.ir on 2025-05-10]
[DOR: 20.1001.1.27172325.1399.1.3.4.7]
[DOI: Doi:10.29252/gsma.1.3.1]



شکل۳- نقشه توزیع مکانی متوسط بارندگی سالانه (Bio12) (ث)، بارندگی مرطوب‌ترین سه ماه متوالی (Bio16) (ج) و بارندگی خشک‌ترین سه ماه متوالی (Bio17) (چ) ایجاد شده به روش کریجینگ، منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹



شکل۴- نقشه توزیع مکانی بارندگی سردترین سه ماه متوالی (Bio19) (ح) ایجاد شده به روش مدل رگرسیون خطی چندگانه منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه از روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و مدل رگرسیون خطی چندگانه برای رسم نقشه‌های ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی در استان لرستان استفاده شد. نتایج بررسی ترسیم واریوگرام نشان داد که مدل نمایی برای Bio1، Bio4، Bio8، Bio9، Bio10، Bio11، Bio13، Bio17 و Bio19، کروی برای Bio15 و گوسی برای Bio3، Bio5، Bio6، Bio7، Bio12 و Bio16 بدون متغیر کمکی و مدل نمایی برای همه ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی با استفاده از متغیر کمکی ارتفاع بهترین مدل برای انجام درون‌یابی به دو روش کریجینگ و کوکریجینگ است. در این پژوهش تعیین مدل نمایی برای انجام درون‌یابی به روش کوکریجینگ با نتایج گلشن و همکاران (۱۳۹۴) که به بررسی پهنه‌بندی متوسط دمای سالانه ایران پرداخته بود و بهترین روش درون‌یابی را کوکریجینگ با مدل نمایی مناسب‌ترین روش درون‌یابی برای متغیر دما در سطح کشور معرفی کرد مطابقت دارد. برای تعیین بهترین روش درون-یابی از شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطا و ریشه دوم میانگین استاندارد شده خطا استفاده شد. بررسی تحلیل ریشه میانگین مربعات خطا و ریشه دوم میانگین استاندارد شده

[Downloaded from gsma.lu.ac.ir on 2025-05-10]
[DOR: 20.1001.1.27172325.1399.1.3.4.7]
[DOI: Doi:10.29252/gsma.1.3.1]

خطا نشان داد که برای Bio4، Bio5، Bio7، Bio12، Bio13، Bio15، Bio16، Bio17، Bio18 و Bio19 روش کریجینگ و برای Bio1، Bio2، Bio3، Bio6، Bio8، Bio9، Bio10 و Bio11 روش کوکریجینگ بهترین روش درون‌یابی برای رسم نقشه‌های متغیرهای زیست-اقلیمی است. این در حالی است که براساس نتایج، خطای شاخص ریشه میانگین مربعات خطا در Bio4، Bio12 و Bio19 زیاد بود و برای کاهش خطا از مدل رگرسیون خطی چندگانه استفاده شد. با استفاده از مدل رگرسیون خطی چندگانه رابطه رگرسیونی بین این سه متغیر زیست-اقلیمی و عوارض جغرافیایی و اقلیمی ایجاد شد. در Bio4 در روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و مدل رگرسیون خطی چندگانه مقدار ریشه میانگین مربعات خطا به ترتیب ۷۹/۰۷، ۸۱/۲ و ۱۴۲/۷۳ بود، این در حالی است که در Bio12 شاخص ریشه میانگین مربعات خطا ۱۲۶/۷۵، ۱۳۹/۸۹ و ۱۴۲/۲۶ به ترتیب در روشهای کریجینگ، کوکریجینگ و مدل رگرسیون خطی چندگانه بود. همچنین برای Bio19 مقدار شاخص ریشه میانگین مربعات خطا در روش کریجینگ، کوکریجینگ و مدل رگرسیون خطی چندگانه به ترتیب ۵۹/۱۰، ۶۰/۹۱ و ۵۵/۴۳ بدست آمد. براساس نتایج مقدار ریشه میانگین مربعات خطا در Bio4 (تغیرپذیری فصلی) و Bio12 (متوسط بارندگی سالانه) کاهش نیافت. اما در Bio19 (بارندگی سردترین سه ماه متوالی) خطای شاخص ریشه میانگین مربعات خطا در مدل رگرسیون خطی چندگانه کمتر بود. روش‌های کرجینگ و کوکریجینگ به ترتیب بدون متغیر کمکی ارتفاع و با متغیر کمکی ارتفاع مورد استفاده قرار گرفتند، اما در مدل رگرسیون خطی چندگانه علاوه بر ارتفاع چندین متغیر کمکی ازجمله متوسط بارندگی سالانه، متوسط درجه حرارت سردترین سه ماه متوالی و طول و عرض جغرافیایی استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از چندین متغیر کمکی می‌تواند مقدار خطای شاخص ریشه میانگین مربعات خطا را کاهش دهد. در تحقیقی از روش‌های کریجینگ و رگرسیون خطی چندگانه برای تخمین نقشه بارندگی سالانه در ترکیه استفاده شد و نتایج آنها نشان داد که بهترین روش برای تخمین نقشه بارندگی سالانه روش کریجینگ است (بستون و همکاران[1]، ۲۰۱۲). طی مطالعه‌ای فاطمی‌قیری و یزدان‌پناه (۱۳۹۱) روش‌های مختلف میان‌یابی را به منظور برآورد داده‌های بارش استان اصفهان مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که روش اقلیمی بارش-ارتفاع-طول جغرافیایی و کریجینگ به ترتیب دارای کمترین و بیشترین بود و با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد.

در نهایت برای رسم نقشه‌های ۱۹ متغیر زیست اقلیمی، روش کریجینگ برای Bio4، Bio5، Bio7، Bio12، Bio13، Bio15، Bio16، Bio17 و Bio18، روش کوکریجینگ برای Bio1، Bio2، Bio3، Bio6، Bio8، Bio9، Bio10 و Bio11 و مدل رگرسیون خطی چندگانه برای Bio19 به عنوان بهترین روش انتخاب شدند. خسروی و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی روش‌های زمین آمار به منظور تعیین بهترین روش درون‌یابی داده‌های زیست‌اقلیمی در مدل‌سازی پراکنش گونه‌های جانوری در مرکز ایران نشان دادند که روش کوکریجینگ بهترین روش درون‌یابی برای متغیر دما است. در تحقیقی آزنار[2] و همکاران (2013)، در درون‌یابی درجه حرارت ماهانه در شرق کانادا با استفاده از روش کوکریجینگ بیان کردند که این روش برای درون‌یابی متوسط درجه حرارت ماهانه مناسب می‌باشد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

نقشه توزیع مکانی متغیرهای زیست‌اقلیمی دما همچون Bio1، Bio6، Bio8، Bio9، Bio10 و Bio11 نشان داد

[1] Bostan *et al*
[2] Aznar

[Downloaded from gsma.lu.ac.ir on 2025-05-10]
[DOR: 20.1001.1.27172325.1399.1.3.4.7]
[DOI: Doi:10.29252/gsma.1.3.1]

که توزیع مکانی تغییرات دما مشابه است به طوریکه بیشترین دما برای جنوب و جنوب‌غرب و کمترین دما در مناطق شمال و شرق استان لرستان است. اما برای متغیرهای زیست-اقلیمی بارندگی طبقه‌بندی متفاوتی را نشان داد. در Bio12 (متوسط بارندگی سالانه) بیشترین بارندگی در جنوب و کمترین بارندگی در غرب، شمال و شرق استان لرستان است، اگر چه شمال و شرق این استان در ارتفاع بالاتری قرار دارد، اما کمترین میزان بارندگی سالانه را دارد که این میتواند با میزان رطوبت توده هوا و احتمالاً جهت بادهای بارآن‌زای در ارتباط باشد. همین عامل باعث شده است که مدلسازی متغیرهای بارندگی با مقدار خطای مواجه شود. خسروی و همکاران (۱۳۹۳) طی پژوهشی گزارش کردند به دلیل گسسته بودن تغییرات بارندگی در مرکز کشور، طبقه‌بندی پیچیده‌ای در رابطه با نقشه درون‌یابی تغییرات بارندگی سالانه مشاهده شد با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

در این بررسی نتیجه‌گیری شد که نمی‌توان هیچ یک از روش‌های درون‌یابی را به عنوان روش بهینه برای همه مناطق ارائه داد و با بررسی نتایج حاصل از ارزیابی روش-های مختلف درون‌یابی می‌توان بهترین روش را برای تهیه نقشه متغیرهای زیست‌اقلیمی انتخاب کرد. در این مطالعه به طور کلی می‌توان گفت که مقایسه روش‌های درون‌یابی و استفاده از متغیرهای کمکی دیگر همچون عوارض جغرافیایی و اقلیمی علاوه بر استفاده از متغیر کمکی ارتفاع به همراه متغیرهای زیست‌اقلیمی می‌تواند دقت ارزیابی روش‌های درون‌یابی را افزایش دهد و سبب تهیه نقشه‌های دقیق جهت مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای، پیش‌بینی رویشگاه-های جدید و حفاظت از زیست‌بوم گونه‌ها شود.

فهرست منابع

ایلدرمی، علیرضا، فرهاد قاسمی و نگار بهمنی. ۱۳۹۴. "بررسی نقش عوامل اقتصادی-اجتماعی در تخریب زیست‌بوم جنگل‌های زاگرس(منطقه کاکارضا لرستان)"، ***دو فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات حمایت و حفاظت جنگلها و مراتع ایران***، شماره ۲، صص ۱۴۹-۱۴۰.

پروانه، ایرج. ۱۳۸۸. "تیپولوژی و برآورد کمی بذر بلوط ایرانی در تیپ‌های مختلف جنگل‌های زاگرس"، ***پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشگاه تهران***،۱۰۱ صفحه.

ترنیان، فرج الله، حسین آذرنیوند، راضیه یزدانپرست، محمدعلی زارع چاهوکی، محمد جعفری و سانیل کومار. ۱۳۹۶. "تعیین مهمترین عوامل موثر بر پراکنش گونه *Daphne mucronata* Royle. و مدل سازی رویشگاه‌های پتانسیل آن". ***نشریه علمی-پژوهشی مرتع***، شماره ۲، صص ۱۹۳-۱۷۹.

ثقفیان، بهرام، هما رزمخواه و باقر قرمزچشمه. ۱۳۹۰. بررسی تغییرات منطقه‌ای بارش سالانه با کاربرد روش‌های زمین‌آمار (مطالعه‌ی موردی: استان فارس)، مجله‌ی مهندسی منابع آب، ۳۸-۲۹.

جعفری، علی، روح الله میرزایی و رسول زمانی احمد محمودی. ۱۳۹۵. "مدل‌سازی پراکنش قوچ و میش اصفهان در منطقه حفاظت شده تنگ صیاد براساس بهبود اریب داده‌های حضور و انتخاب متغیرهای مناسب با استفاده از حداکثر آنتروپی"، ***بوم‌شناسی کاربردی***، شماره ۱۵، صص ۴۸-۳۹.

خسروی، رسول، محمودرضا همامی و منصوره ملکیان. ۱۳۹۳. "مقایسه روش‌های زمین آمار به منظور تعیین بهترین روش درون‌یابی داده‌های زیست‌اقلیمی در مدل‌سازی پراکنش گونه‌های جانوری در مرکز ایران"، ***بوم‌شناسی کاربردی***، شماره ۸، صص ۶۷-۵۵.

خسروی، یونس و اسماعیل عباسی. ۱۳۹۵. "تحلیل فضایی داده های محیطی با زمین آمار"، ***نشر آذر کلک زنجان***، ۲۸۰ صفحه.

[Downloaded from gsma.lu.ac.ir on 2025-05-10]
[DOR: 20.1001.1.27172325.1399.1.3.4.7]
[DOI: Doi:10.29252/gsma.1.3.1]

خلاصی اهوازی، لیلا، محمدعلی زارع چاهوکی و سید زین‌العادین حسینی. ۱۳۹۴. "مدل‌سازی پراکنش جغرافیایی رویشگاه گونه‌های *Artemisia aucheri* و *Artemisia sieberi* براساس روش‌های مبتنی بر حضور (MaxEnt و ENFA)"، ***مجله تحقیقات منابع تجدید شونده***، شماره ۱، صص ۷۳-۵۷.

صادقی راد، روح الله، علی‌محمدآخوند علی، فریدون رادمنش، حیدر زارعی و محمدرضا گلابی. ۱۳۹۴. "ارزیابی روش‌های میان‌یابی فضایی در توزیع مکانی بارش سالانه (مطالعه موردی: حوضه مارون)". ***نشریه پژوهش های کاربردی علوم آب***. شماره ۱، صص ۱-۱۲.

عساکره، حسین. ۱۳۸۷. "کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش مطالعه موردی: میان ابی بارش ۱۳۷۶/۱۲/۲۶ در ایران زمین". ***جغرافیا و توسعه***، شماره ۱۲، صص ۴۲-۲۵.

فاطمی قیری، سارا، و حجت‌الله یزدان پناه. ۱۳۹۱. "ارزیابی روش‌های مختلف میان‌یابی به منظور برآورد داده‌های بارش استان اصفهان". ***فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی***. شماره۱۲، صص ۶۳-۴۶.

فتحی زاده، حسن، حاجی کریمی و مهدی تازه. ۱۳۹۳. "بررسی الگوریتم های مختلف زمین آماری جهت پهنه بندی بارش سالانه استان ایلام". ***نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی***، شماره ۳۵، صص ۱۵۴-۱۳۹.

کاظمی، حسین، خلیل قربانی. ۱۳۹۴. "ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی به منظور تخمین و پهنه‌بندی متغیرهای بارش در اراضی کشاورزی شهرستان آق‌قلا جهت کشت دیم غلات پاییزه"، ***نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک***، شماره ۴، صص ۲۳-۱.

گلشن، محمد، پیام ابراهیمی، اباذر اسمعلی عوری. ۱۳۹۴. "انتخاب بهترین روش میان‌یابی برای پهنه‌بندی متوسط دمای سالانه ایران"، ***جغرافیا و پایداری محیط***، شماره ۱۴، صص ۷۱-۵۷.

مهدوی، محمد، ابراهیم حسینی چگینی، محمدحسین مهدیان، و سیما رحیمی بندرآبادی. ۱۳۸۳. "مقایسه روش‌های زمین‌آمار در برآورد توزیع مکانی بارش سالانه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جنوب‌شرقی ایران"، ***مجله منابع طبیعی ایران***، شماره ۲، صص ۱۷-۱.

نادری، فاطمه، پروانه نژادسبزی و بهرام رسولیان. ۱۳۸۸. "بررسی عرضه و مصرف گیاهان دارویی موجود در عطاری‌های استان لرستان در سال ۱۳۸۷". ***فصلنامه علمی ـ پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی لرستان***، شماره ۵، صص ۶۳-۵۷.

نادی، مهدی، مژده جامعی، جواد بذرافشان، سمیه جنت‌رستمی. ۱۳۹۱. "ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه (مطالعه موردی: استان خوزستان)". ***پژوهش‌های جغرافیای طبیعی***، شماره ۴، صص ۱۳۰-۱۱۷.

Ahmed, K., Shahid, S., Harum, S.B. 2014. "*Spatial interpolation of climatic variables in a predominantly arid region with complex topography*". **Environment Systems and Decisions**. 34: 555-563.

Attorre, F, Alfo M, De Sanctis M, Francesconi F, Bruno, F. 2007. "Comparison of interpolation methods for mapping climatic and bioclimatic variables atregionalscale". **Int J Climatol**, 27:1825–1843.

Aznar, J.C., Gloaguen, E., Tapsoba, D., Hachem, S., Caya, D., B´egin, Y. 2013. "*Interpolation of monthly mean temperatures using cokriging in spherical coordinates*". **INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY**, 33: 758-769.

Bo, S., Shenglu, Z., Qiguo, Z. 2003. "*Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China*". **Geoderma**, 115(1-2): 85-99.

Bostan, P.A., Heuvelink, G.B.M. Akyurek, S.Z. 2012. "*Comparison of regression and kriging techniques for mapping the average annual precipitation of Turkey*". **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 19: 115-126.

[Downloaded from gsma.lu.ac.ir on 2025-05-10]
[DOR: 20.1001.1.27172325.1399.1.3.4.7]
[DOI: Doi:10.29252/gsma.1.3.1]

Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Novak, J. M., Parkin, T. B., Karlen, D. L., Turco, R. F., Konopka, A. E. 1994. "*Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils*". **Soil Science Society America Journal**, 58(5): 1501-1511.

Chang, T.L. 1991. "*Investigation of precipitation droughts by use of Kriging method*". **Drai. Engng**, 117(6): 935- 943.

Cressie, N.A.C. 1993. "*Statistics for spatial data*". **John Willy and Sons, Inc., New York**, 900 p.

Diodato, N. 2005. "The Infuence of topgraphic co-varilables on the spatial variability of precipitation over small regions of complex terrain***. International Journal of Climatology****, 25: 351-363.*

Elith J., Graham, C., Anderson, R., Dudik, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R., Huettmann, F., Leathwick, J., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L., Loiselle, B., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J., Peterson, A., Phillips, S., Richardson, K., Scachetti Pereira, R., Schapire, R., Soberon, J., Williams, S., Wisz, M., Zimmermann, N. 2006. "*Novel methods improve prediction of species' distribution from occurrence data*". **Ecography**, 29: 129-151.

Fick, S.E., Hijmans, R.J. 2017. "*WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas*". **INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY**.

Hijmans, R. J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., Jarvis, A. 2005. "*Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas*". **Int. J. Climatol**, 25: 1965–1978.

Hirzel, A.H., Guisan, A. *2002. "Which is the optimal sampling strategy for habitat suitability modelling*". **Ecological Modelling**, 157(2–3): 331–341.

Hu, J., Jiang, Z. 2010. "*Predicting the potential distribution of the endangered Przewalski's gazelle*". **Journal of Zoology**, 282: 54–63.

Hudson, G., Wackernagel, H. 1994. "*MAPPING TEMPERATURE USING KRIGING WITH EXTERNAL DRIFT: THEORY AND AN EXAMPLE FROM SCOTLAND*". **INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY**, 14: 77-91

Li, J., Heap, A.D. 2011. "*A review of comparative studies of spatial interpolation methods in environmental sciences: performance and impact factors*". **Ecol Informatics**, 6: 228–241.

Mirzaei, J. 2012. "*The causes of forest degradation and the solution Strategies to deal with them. The first national conference of strategies to obtain of sustainable development*". **State Ministry-Tehran**.

Navid, MAI., Niloy, NH. 2018. "Multiple Linear Regressions for Predicting Rainfall for Bangladesh". Communications, 6(1): 1-4.

O'Donnell, M.S., Ignizio, D.A. 2012. "*Bioclimatic predictors for supporting ecological applications in the conterminous United States: U.S*". **Geological Survey Data Series**, 691, 10 p.

Padalia, H., Srivastava, V., Kushvaha, S. 2014. "*Modeling potential invasion range of alien invasive species, Hyptis suaveolens (L.) Poit. in India: Comparison of MaxEnt and GARP*". **Ecological Informatics**, 22: 36-43.

[Downloaded from gsma.lu.ac.ir on 2025-05-10]
[DOR: 20.1001.1.27172325.1399.1.3.4.7]
[DOI: Doi:10.29252/gsma.1.3.1]

Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E. 2006. "*Maximum entropy modeling of species geographic distributions*". **Ecological Modelling**, 190: 231–259.

Rogelis, M. C., Werner, M. G. F. 2013. "*Spatial Interpolation for Real-Time Rainfall Field Estimation in Areas with Complex Topography*". **Journal of Hydrometeorology**, 14:1, 85-104.

Stockwell, D., Peters, D. 1999. "*The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction*". **International Journal of Geographical Information Science**, 13(2): 143–158.

Vicente-Serrano, S.M., Saz-Sanchez, M.A., Cuadrat, J.M. 2003. "*Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro valley (Spain): application to annual precipitation and temperature*". **Climate Res**, 24: 2. 161-180.

Wang, H., Liu, D., Munroe, D., Cao, K., Biermann, C. 2016. "*Study on selecting sensitive environmental variables in modelling species spatial distribution*". **ANNALS OF GIS**, 22(1): 57-69.

Wu, W., Zhang, Q., Song, J., Li, X., Xie, C., Hu, Z. 2018. "*ECOLOGICAL CHARACTERISTICS AND SUITABILITY EVALUATION OF FRITILLARIA CIRRHOSA D. DON BASED ON MAXENT MODEL*". **African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines**, 15 (1): 158-167.

[Downloaded from gsma.lu.ac.ir on 2025-05-10]

[DOR: 20.1001.1.27172325.1399.1.3.4.7]

[DOI: Doi:10.29252/gsma.1.3.1]

Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas, Vol.1, No.3, Autumn2020,Serial No. 3

Doi:10.29252/gsma.1.3.1 **EISSN: 2717-2325**

http://gsma.lu.ac.ir

Pp. 1-17

Mapping Bioclimatic Variables Using Geostatistical and Regression Techniques in Lorestan Province

Sorour Mahmoudvand, M.Sc. Graduated of Biology Department, Faculty of Basic Sciences, Lorestan University, Khorramabad, Iran**.**

Hamed Khodayari[*1], Assistant Professor of Biology Department, Faculty of Basic Sciences, Lorestan University, Khorramabad, Iran**.**

Farajollah Tarnian, Assistant Professor of Natural Resources Engineering and Watershed Management Department, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

Received: 2 October 2020 ***Accepted: 1 December 2020***

Abstract

Bioclimatic variables are one of the most important environmental variables that used in mapping and species distribution modeling for the management and conservation of vegetation and species cultivation. In order to provide bioclimatic maps, long-term climate data of 49 weather stations were used during the years 1952 to 2017 to extract 19 bioclimatic variables. Geostatistics methods (Kriging and Cokriging) and Multiple Linear Regression model were used to create 19 bioclimatic variables in Lorestan Province. Correlation ratio was used to select the best interpolation model. Also, Cross-validation was used to validate the interpolation method. Root Mean Square Error (RMSE) and the Root Mean Square Standardized Error (RMSSE) were used to select the best interpolation method. Based on the results, the best interpolation method for maping Bio4, Bio5, Bio7, Bio12, Bio13, Bio15, Bio16, Bio17 was Kriging method due to lower error values of RMSE and RMSSE for and Bio18 and the best interpolation method for maping of Bio1, Bio2, Bio3, Bio6, Bio8, Bio9, Bio10, and Bio11 was Cokriging method. Multiple Linear Regression model was also the best interpolation method for Bio19. Based on the results of this study, the use of an elevation auxiliary variable and climatic factor can increase the accuracy of the evaluation of interpolation methods to create accurate maps for modeling of species distribution.

Keywords: Bioclimatic Variables, Species Distribution, Interpolation, Geostatistics, Lorestan.

*[1] Corresponding Author: email: khodayari.h@lu.ac.ir

To cite this article:
Mahmoudvand, S., Khodayari, H. & Tarniyan, F (2020). Mapping Bioclimatic Variables Using Geostatistical and Regression Techniques in Lorestan Province, Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas, 1(3), 1-17. Doi:10.29252/gsma.1.3.1

[Downloaded from gsma.lu.ac.ir on 2025-05-10]

[DOR: 20.1001.1.27172325.1399.1.3.4.7]

[DOI: Doi:10.29252/gsma.1.3.1]