



تهیه نقشه‌ی متغیرهای زیست‌اقليمی استان لرستان با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آماري و رگرسيونی

سرور محمودوند، کارشناس ارشد گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

حامد خدایاری^{*}، استادیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

فرج‌الله ترنیا، استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۹/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۷/۱۲

چکیده

متغیرهای زیست‌اقليمی، یکی از مهم‌ترین متغیرهای محیطی می‌باشند 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 زیست‌اقليمی، 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 زیست‌اقليمی 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, Bio11 و روش رگرسیون خطی چندگانه برای Bio19 به عنوان بهترین روش درونیابی برای رسم نقشه‌های زیست‌اقليمی 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 زیست‌اقليمی جهت مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای استفاده شود.

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

^{*} نویسنده مسئول Email: khodayari.h@lu.ac.ir

نحوه استنادی به مقاله:

محمودوند، سرور، خدایاری، حامد، ترنیا، فرج‌الله (۱۳۹۹). تهیه نقشه متغیرهای زیست‌اقليمی استان لرستان با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آماري و رگرسيونی. فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی. سال اول، شماره ۳ (۳). صص ۱۷-۱. Doi:10.29252/gsma.1.3.1

۱. مقدمه

مدل‌های پراکنش گونه‌ای^۱، 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 بوم-شناختی در پراکنش پوشش گیاهی امری ضروری است که برای تهیه نقشه‌های دقیق پوشش گیاهی و مدیریت زیست-بوم‌های 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^۲ (۲۰۰۲)، روش الگوریتم ژنتیک استوک-ول و پیترز^۳ (۱۹۹۹) و مدل مکسنت^۴ (حداکثر آنتروپی^۵) معرفی شده توسط فیلیس^۶ 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^۷، ۲۰۰۶). گونه‌ها تحت تأثیر عوامل اقلیمی و غیر-اقلیمی بوده که تغییرات اقلیم می‌تواند محدودیت‌های فیزیولوژیکی زیادی را بر گونه‌ها تحمیل و پراکنش گونه‌ها را تحت تأثیر خود قرار دهد (ادونیل و ایگنیزو^۸، ۲۰۱۲).

بنابراین هیجمانز^۹ و همکاران (۲۰۰۵) ۱۹ متغیر زیست-اقلیمی^{۱۰} 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^{۱۱}، ۲۰۱۰). متغیرهای زیست‌اقلیمی شامل شاخص-های بارندگی و متوسط درجه حرارت، متغیرهای فصلی و حداقل و حداکثر درجه حرارت می‌باشند (هیجمانز و همکاران، ۲۰۰۵). نقشه‌های ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی برای مقیاس کشوری تهیه گردیده‌اند (هیجمانز و همکاران، ۲۰۰۵ و فیک و هیجمانز^{۱۲}، ۲۰۱۷). محققان بسیاری از این متغیرها برای تهیه نقشه‌های پراکنش گونه‌ای در مقیاس کشوری و استانی مورد استفاده قرار داده‌اند (ترنیا و همکاران، ۱۳۹۶؛ پادالیا و همکاران^{۱۳}، ۲۰۱۴؛ ونگ و همکاران^{۱۴}، ۲۰۱۶؛ ویو و همکاران^{۱۵}، ۲۰۱۸). از آنجایی که این متغیرهای زیست-اقلیمی 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 زمین-آماري استفاده کرد (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۳؛ ثقفیان و همکاران، ۱۳۹۰؛ خسروی و همکاران، ۱۳۹۳؛ فتحی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳؛ ویسنت - سنارو^{۱۶} و همکاران، ۲۰۰۳؛ روجلیس و ورنر^{۱۷}، ۲۰۱۳). روش‌های درون‌یابی برای تخمین یک متغیر در یک مکان خاص از روی داده‌های واقعی اندازه‌گیری شده در نقاط مجاور استفاده می‌شوند

⁹ Hijmans¹⁰ Bioclimatic variable¹¹ Hu and Jiang¹² Fick and Hijmans¹³ Padalia *et al*¹⁴ Wang *et al*¹⁵ Wu *et al*¹⁶ Vicente-Serrano *et al*¹⁷ Rogelis and Werner¹ Species Distribution Modeling (SDM)² Hirzel and Guisan³ Stockwell and Peters⁴ MaxEnt⁵ Antropy mximum⁶ Philips⁷ Elith *et al*⁸ O'Donnell and Ignizio



از آنجا که تاکنون پژوهشی در رابطه با نحوه استخراج و درون‌یابی متغیرهای زیست‌اقليمی در استان لرستان صورت نگرفته است، هدف این مطالعه تعیین بهترین روش درون‌یابی برای تهیه نقشه‌های متغیرهای زیست‌اقليمی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار کریجینگ، کوکریجینگ و مدل رگرسیون خطی چندگانه می‌باشد. این نقشه‌های زیست‌اقليمی، 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 $46^{\circ}51'$ و $50^{\circ}30'$ طول شرقی و $32^{\circ}37'$ و $34^{\circ}22'$ 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 زیست‌اقليمی

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 زیست‌اقليمی از شاخص‌های توصیفی ادونیل و ایگنیزو (۲۰۱۲) استفاده شد (جدول ۱). درنهایت با استفاده از روش‌های درون‌یابی کریجینگ، کوکریجینگ و مدل رگرسیون خطی چندگانه نقشه هر متغیر زیست‌اقليمی در

(نادی و همکاران، ۱۳۹۱). معمولاً روش‌های درون‌یابی کاربردی شامل کریجینگ^۱ و کوکریجینگ^۲ برای دما یا بارندگی می‌باشند (هدسون و وکرناگل^۳، ۱۹۹۴؛ دیودیتو^۴، ۲۰۰۵)، که در بسیاری از مطالعات روش‌های درون‌یابی کاربردی از متغیر ارتفاع به عنوان متغیرهای کمکی استفاده می‌شود (احمد و همکاران^۵، ۲۰۱۴). همچنین عواملی مانند تراکم و توزیع مکانی ایستگاه‌ها و خصوصیات زمین‌می‌تواند بر عملکرد این روش‌ها تأثیرگذار باشد (لی و هیپ^۶، ۲۰۱۱). در برخی از موارد این روش‌ها نسبت به سایر روش‌های درون‌یابی همچون روابط رگرسیون بین بارندگی و اثرات جغرافیایی مستعد خطا هستند (چانگ^۷، ۱۹۹۱).

جنگل‌های زاگرس در غرب ایران، زیست‌بوم‌های طبیعی با ارزشی هستند که در آنها تنوع بالایی از گونه‌های 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^۸، ۲۰۱۲)، که می‌توان با اعمال روش‌های مدیریتی جامع برای حفاظت و احیاء این مناطق تلاش کرد (پروانه، ۱۳۸۸).

¹ Kriging

² Cokriging

³ Hudson and Wackernagel

⁴ Diodato

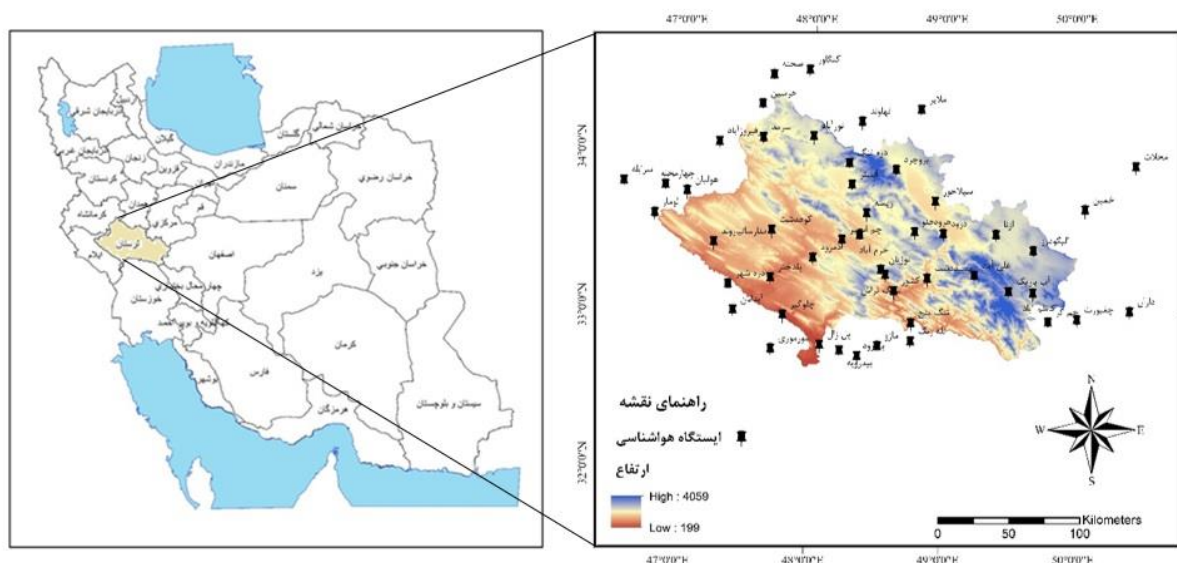
⁵ Ahmed *et al*

⁶ Li and Heap

⁷ Chang

⁸ Mirzaei

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



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح استان لرستان

$N(h)$: تعداد جفت نقاط به فاصله h

مشخصات واریوگرام

پارامترهای مهم واریوگرام شامل موارد زیر است:
اثر قطعه‌ای^۲ (C_0): مقدار واریوگرام در مبدا مختصات یعنی به ازای $h = 0$ ، اثر قطعه‌ای نامیده می‌شود.

حد آستانه^۳ ($C_0 + C$): به مقدار ثابتی که واریوگرام در دامنه تأثیر به آن می‌رسد، گفته می‌شود.

دامنه تأثیر^۴: فاصله‌ای که در آن واریوگرام به حد ثابتی می‌رسد و به حالت خط افقی نزدیک می‌شود، گویند.

۵. روش‌های درون‌یابی^۵

کریجینگ

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

۳.۳۲. بررسی توزیع نرمال

قبل از تعیین بهترین روش برای درون‌یابی، داده‌های متغیرهای زیست‌اقليمی با استفاده از روش لگاریتم نرمال در نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1 نرمال شدند.

۴.۲. واریوگرام^۱

اولین قدم در محاسبات کریجینگ محاسبه واریوگرام است (صادقی‌راد و همکاران، ۱۳۹۴). واریوگرام یکی از مهم‌ترین روش‌های تحلیل و بررسی همبستگی مکانی بین داده‌های زیست‌اقليمی 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).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} + \sum_{i=1}^n (Z(x_i + h) - Z(x_i))^2 \quad (1)$$

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

² Nugget Effect

³ Sill

⁴ Range of Influence

⁵ Interpolation

¹ Variogram

جدول ۱. توصیف متغیرهای زیست اقلیمی 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 مرطوب ترین ماه	$Bio13 = \max([PPT_1, PPT_{12}])$
Bio4	تغییرپذیری فصلی (انحراف معیار × ۱۰۰)	$Bio4 = SD\{Tavg_1, \dots, Tavg_{12}\}$	Bio14	بارندگی خشک ترین ماه	$Bio14 = \min([PPT_1, PPT_{12}])$
Bio5	حد اکثر درجه حرارت گرم ترین ماه	$Bio5 = \max([Tmax_1, Tmax_{12}])$	Bio15	تغییرات فصلی بارندگی	$Bio15 = \frac{SD(PPT_1, PPT_{12})}{1 + (Bio12/12)} \times 100$
Bio6	حداقل درجه حرارت سردترین ماه	$Bio6 = \min([Tmin_1, Tmin_{12}])$	Bio16	بارندگی مرطوب ترین سه ماه متوالی	$Bio16 = \max \left(\begin{pmatrix} \sum_{i=1}^{i=3} PPT_i \\ \sum_{i=4}^{i=6} PPT_i \\ \sum_{i=7}^{i=9} PPT_i \\ \sum_{i=10}^{i=12} PPT_i \end{pmatrix} \right)$
Bio7	دامنه درجه حرارت سالانه	$Bio7 = Bio5 - Bio6$	Bio17	بارندگی خشک ترین سه ماه متوالی	$Bio17 = \min \left(\begin{pmatrix} \sum_{i=1}^{i=3} PPT_i \\ \sum_{i=4}^{i=6} PPT_i \\ \sum_{i=7}^{i=9} PPT_i \\ \sum_{i=10}^{i=12} PPT_i \end{pmatrix} \right)$
Bio8	متوسط درجه حرارت مرطوب ترین سه ماه متوالی	$Bio8 = \frac{\sum_{i=1}^{i=3} Tavg_i}{3}$	Bio18	بارندگی گرم ترین سه ماه متوالی	$Bio18 = \sum_{i=1}^{i=3} PPT_i$
Bio9	متوسط درجه حرارت خشک ترین سه ماه متوالی	$Bio9 = \frac{\sum_{i=10}^{i=12} Tavg_i}{3}$	Bio19	بارندگی سردترین سه ماه متوالی	$Bio19 = \sum_{i=10}^{i=12} PPT_i$
Bio10	متوسط درجه حرارت گرم ترین سه ماه متوالی	$Bio10 = \frac{\sum_{i=10}^{i=12} Tavg_i}{3}$			

منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹

این روش بهترین برآورد کننده خطی نااریب است. از ویژگی‌های کریجینگ این است که در عین نااریب بودن، واریانس تخمین نیز در کمترین مقدار می‌باشد، به طوری که در سایر روش‌های تخمین همچون روش چندجمله‌ای وزن-دهی معکوس فاصله^۱ نیز اعمال می‌شود (کاظمی و قربانی، ۱۳۹۴). این روش برای داده‌هایی با پراکنش نامنظم نیز به کار می‌رود (عساکره، ۱۳۸۷) (رابطه ۲).

$$\hat{z}(x_0) = \sum_{i=0}^n \lambda_i z(x_i) \quad (2)$$

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

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

کوکرینگ

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) (رابطه ۳).

$$Z^*(x_i) = \sum_{z=1}^n \lambda_{zi}(x_i) \sum_{k=1}^n \lambda_{k,y} y(X_k) \quad (3)$$

مدل رگرسیون خطی چندگانه^۲

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).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \beta_3 x_{i3} \dots \beta_{pxi} \quad (4)$$

۲.۶. ارزیابی روش‌های درونیابی به منظور تعیین

بهترین روش برای متغیرهای زیست‌اقلیمی

برای ارزیابی دو روش درونیابی کریجینگ و کوکرینگ از روش ارزیابی متقابل^۳ 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^۴ (RMSE) و ریشه دوم میانگین استاندارد شده خطا^۵ (RMSSE) استفاده شد (Diodato, 2005) (رابطه ۵ و ۶).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2} \quad (5)$$

$$RMSSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\varepsilon_i}{\sigma(\varepsilon_i)} \right)^2} \quad (6)$$

۳. یافته‌های تحقیق

در این تحقیق دو روش درونیابی (کریجینگ و کوکرینگ) 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

³ Cross-Validation

⁴ Root-Mean-Square Error

⁵ Root-Mean-Square Standardized Error

¹ Inverse Distance Weighting

² Multiple Liner Regression



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.

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., 1994).

جدول ۳. خصوصیات واریوگرام‌های متغیرهای زیست‌اقلیمی بدون متغیر کمکی ارتفاع

نسبت همبستگی (□)				حد آستانه (C ₀ +C)				اثر قطعه‌ای (C ₀)				متغیر
کروی	نمایی	خطی	گوسی	کروی	نمایی	خطی	گوسی	کروی	نمایی	خطی	گوسی	
۲۶/۸	۲۰/۴	۳۸/۱	۴۱/۹	۴۳/۵	۵۲/۳۵	۳۱/۲	۲۸/۶۱	۱۱/۷	۱۰/۷	۱۱/۹	۱۲	Bio1
۱۴	۵/۷	۳۴	۲۷/۹	۳۶/۸۹	۴۰/۱۳	۴۱/۱۱	۳۷/۳۸	۵/۲	۲/۳	۱۴	۱۰/۴۵	Bio2
۲۹/۸	۱۹/۲	۴۲/۳	۱۷/۲	۱۴۷/۳	۲۲۲/۱	۱۰۵/۲	۳۱۲/۳	۴۴	۴۲/۷	۴۴/۶	۵۵/۴	Bio3
۴۹/۲	۳۵/۶	۶۲/۳	۳۷/۵	۵۷۴۵	۷۸۴۴	۴۵۵۸/۲۵	۸۴۵۰	۲۸۲۸	۲۸۰۰	۲۸۴۳	۳۱۷۰	Bio4
۴۴/۵	۳۳	۵۷/۹	۱۸/۳	۱۰۶۵۰۰	۱۴۵۰۰۰	۸۲۵۵۰/۷	۲۸۶۲۰۰	۴۷۴۰۰	۴۷۹۰۰	۴۷۸۲۰/۶	۵۲۴۰۰	Bio5
۴۳/۸	۳۲/۱	۵۷/۲	۱۷/۹	۱۱۸۰۰۰	۱۶۱۹۰۰	۹۱۲۱۱	۳۱۹۵۰۰	۵۱۸۰۰	۵۲۱۰۰	۵۲۲۱۹	۵۷۴۰۰	Bio6
۴۵/۱	۳۳/۳	۵۸/۶	۱۸/۸	۱۰۴۴۰۰	۱۴۱۴۰۰	۸۱۱۸۰/۳	۲۷۶۴۰۰	۴۷۱۰۰	۴۷۷۰۰	۴۷۵۷۳/۹	۵۲۲۰۰	Bio7
۲۴/۷	۲۱/۴	۳۶/۲	۳۸/۹	۳۶/۱۵	۳۶/۷۱	۲۵/۱۵	۲۸/۸۱	۸/۹۳	۷/۸۶	۹/۱۲	۱۱/۲۲	Bio8
۲۲/۸	۱۸/۱	۳۳/۶	۳۸/۲	۷۳	۷۸/۴	۵۰/۵۲	۵۵/۱۳	۱۶/۷	۱۴/۲	۱۷	۲۱/۱	Bio9
۲۲/۸	۱۹/۳	۳۳/۴	۳۹	۶۸/۲۳	۶۶/۸	۴۷/۴۷	۴۴/۲۹	۱۵/۶	۱۲/۹	۱۵/۹	۱۷/۲۹	Bio10
۲۳	۱۸/۴	۳۳/۶	۳۹	۴۴/۱۸	۴۹/۲	۳۰/۷۴	۳۱	۱۰/۲	۹/۱	۱۰/۳۳	۱۲/۱	Bio11
۴۹/۹	۴۹/۹	۷۹/۱	۳۸/۹	۹۲۸۱	۱۰۲۶۱	۶۷۶۹/۳	۱۴۰۷۰	۴۶۴۰	۵۱۳۰	۵۳۵۵/۷	۵۴۸۰	Bio12
۴۹/۹	۴۶/۴	۷۰/۲	۴۹/۹	۱۵۶۱	۱۱۵۵	۱۱۹۳	۱۸۴۳	۷۸۰	۵۳۷	۸۳۷/۹۷	۹۲۱	Bio13
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	Bio14
۴۹/۹	۵۰	۸۳/۵	۵۰	۷۳/۰۱	۸۰/۸	۵۲/۰۴	۹۰/۸	۳۶/۵	۴۰/۴	۴۳/۴۹	۴۵/۴	Bio15
۴۹/۹	۴۹/۹	۷۶/۴	۵	۱۰۱۷۰	۱۰۶۵۰	۷۴۸۱/۹	۱۲۴۴۹۰	۵۰۸۰	۵۳۲۰	۵۷۲۰/۸	۶۲۴۰	Bio16
۲۳/۶	۱۵/۹	۳۹/۲	۳۵/۳	۱/۶۱	۱/۷۶	۱/۷۸	۱/۶۲	۰/۳۸	۰/۲۸	۰/۶۹۹	۰/۵۷۳	Bio17
۴۹/۹	۴۸/۱	۷۳	۲۷/۵	۵۵/۲۵	۶۲/۵۱	۴۱/۶۴	۱۱۳/۴	۲۷/۶۲	۳۰/۱	۳۰/۴۳	۳۱/۲	Bio18
۲۹/۱	۲۰	۵۷/۶	۴۱/۶	۰/۰۲۴	۰/۰۲۵	۰/۰۲۶	۰/۰۲۴	۰/۰۰۷	۰/۰۰۵	۰/۰۱۵	۰/۰۱	Bio19

حد آستانه / اثر قطعه‌ای = نسبت همبستگی، منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹

جدول ۴. خصوصیات واریوگرام‌های متغیرهای زیست‌اقليمی با متغیر کمکی ارتفاع

نسبت همبستگی (□)				حد آستانه (C ₀ +C)				اثر قطعه‌ای (C ₀)				متغیر
کروی	نمایی	خطی	گوسی	کروی	نمایی	خطی	گوسی	کروی	نمایی	خطی	گوسی	
۲۱	۱۷/۲	۳۰	۳۵/۲	۷۵۶۶۰۰	۷۸۱۰۰۰	۵۴۷۱۵۶/۶	۵۷۰۳۰۰	۱۵۹۰۰۰	۱۳۵۰۰۰	۱۶۴۶۰۰/۶۱	۲۰۱۰۰۰	Bio1
۹/۸	۱/۴	۱۶/۱	۲۰/۲	۵۰۹۹۰۰	۶۲۹۰۰۰	۵۳۰۹۲۳/۱	۴۸۲۸۰۰	۵۰۰۰۰	۹۰۰۰	۸۵۸۴۰/۴	۹۸۰۰۰	Bio2
۹/۸	۱/۴	۱۶/۱	۲۰/۲	۵۰۹۹۰۰	۶۲۹۰۰۰	۵۳۰۹۲۳/۱	۴۸۲۸۰۰	۵۰۰۰۰	۹۰۰۰	۸۵۸۴۰/۴	۹۸۰۰۰	Bio3
۲۱	۱۷/۲	۳۰	۳۵/۲	۷۵۶۶۰۰	۷۸۱۰۰۰	۵۴۷۱۵۶/۶	۵۰۷۳۰۰	۱۵۹۰۰۰	۱۳۵۰۰۰	۱۶۴۶۰۰/۶۱	۲۰۱۰۰۰	Bio4
۹/۸	۱/۴	۱۶/۱	۲۰/۲	۵۰۹۹۰۰	۶۲۹۰۰۰	۵۳۰۹۲۳/۱	۴۸۲۸۰۰	۵۰۰۰۰	۹۰۰۰	۸۵۸۴۰/۴	۹۸۰۰۰	Bio5
۹/۸	۱/۴	۱۶/۱	۲۰/۲	۵۰۹۹۰۰	۶۲۹۰۰۰	۵۳۰۹۲۳/۱	۴۸۲۸۰۰	۵۰۰۰۰	۹۰۰۰	۸۵۸۴۰/۴	۹۸۰۰۰	Bio6
۹/۸	۱/۴	۱۶/۱	۲۰/۲	۵۰۹۹۰۰	۶۲۹۰۰۰	۵۳۰۹۲۳/۱	۴۸۲۸۰۰	۵۰۰۰۰	۹۰۰۰	۸۵۸۴۰/۴	۹۸۰۰۰	Bio7
۲۱	۱۷/۲	۳۰	۳۵/۲	۷۵۶۶۰۰	۷۸۱۰۰۰	۵۴۷۱۵۶/۶	۵۷۰۳۰۰	۱۵۹۰۰۰	۱۳۵۰۰۰	۱۶۴۶۰۰/۶۱	۲۰۱۰۰۰	Bio8
۲۱	۱۷/۲	۳۰	۳۵/۲	۷۵۶۶۰۰	۷۸۱۰۰۰	۵۴۷۱۵۶/۶	۵۷۰۳۰۰	۱۵۹۰۰۰	۱۳۵۰۰۰	۱۶۴۶۰۰/۶۱	۲۰۱۰۰۰	Bio9
۲۱	۱۷/۲	۳۰	۳۵/۲	۷۵۶۶۰۰	۷۸۱۰۰۰	۵۴۷۱۵۶/۶	۵۷۰۳۰۰	۱۵۹۰۰۰	۱۳۵۰۰۰	۱۶۴۶۰۰/۶۱	۲۰۱۰۰۰	Bio10
۲۱	۱۷/۲	۳۰	۳۵/۲	۷۵۶۶۰۰	۷۸۱۰۰۰	۵۴۷۱۵۶/۶	۵۷۰۳۰۰	۱۵۹۰۰۰	۱۳۵۰۰۰	۱۶۴۶۰۰/۶۱	۲۰۱۰۰۰	Bio11
۱۶/۶	۱۳/۴	۲۳/۸	۳۰	۷۶۷۰۰۰	۶۹۹۰۰۰	۵۷۱۶۴۸/۳	۵۹۶۵۰۰	۱۲۸۰۰۰	۹۴۰۰۰	۱۳۶۰۸۵/۳	۱۷۹۰۰۰	Bio12
۱۶/۶	۱۳/۴	۲۳/۸	۳۰	۷۶۷۰۰۰	۶۹۹۰۰۰	۵۷۱۶۴۸/۳	۵۹۶۵۰۰	۱۲۸۰۰۰	۹۴۰۰۰	۱۳۶۰۸۵/۳	۱۷۹۰۰۰	Bio13
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	Bio14
۱۶/۶	۱۳/۴	۲۳/۸	۳۰	۷۶۷۰۰۰	۶۹۹۰۰۰	۵۷۱۶۴۸/۳	۵۹۶۵۰۰	۱۲۸۰۰۰	۹۴۰۰۰	۱۳۶۰۸۵/۳	۱۷۹۰۰۰	Bio15
۱۶/۶	۱۳/۴	۲۳/۸	۳۰	۷۶۷۰۰۰	۶۹۹۰۰۰	۵۷۱۶۴۸/۳	۵۹۶۵۰۰	۱۲۸۰۰۰	۹۴۰۰۰	۱۳۶۰۸۵/۳	۱۷۹۰۰۰	Bio16
۲۱	۱۷/۲	۳۰	۳۵/۲	۷۵۶۶۰۰	۷۸۱۰۰۰	۵۴۷۱۵۶/۶	۵۷۰۳۰۰	۱۵۹۰۰۰	۱۳۵۰۰۰	۱۶۴۶۰۰/۶۱	۲۰۱۰۰۰	Bio17
۲۱	۱۷/۲	۳۰	۳۵/۲	۷۵۶۶۰۰	۷۸۱۰۰۰	۵۴۷۱۵۶/۶	۵۷۰۳۰۰	۱۵۹۰۰۰	۱۳۵۰۰۰	۱۶۴۶۰۰/۶۱	۲۰۱۰۰۰	Bio18
۲۱	۱۷/۲	۳۰	۳۵/۲	۷۵۶۶۰۰	۷۸۱۰۰۰	۵۴۷۱۵۶/۶	۵۷۰۳۰۰	۱۵۹۰۰۰	۱۳۵۰۰۰	۱۶۴۶۰۰/۶۱	۲۰۱۰۰۰	Bio19

منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹

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).

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 زیست‌اقليمی مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۵). 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



جدول ۵- ارزیابی روش‌های مختلف درون یابی متغیرهای زیست اقلیمی

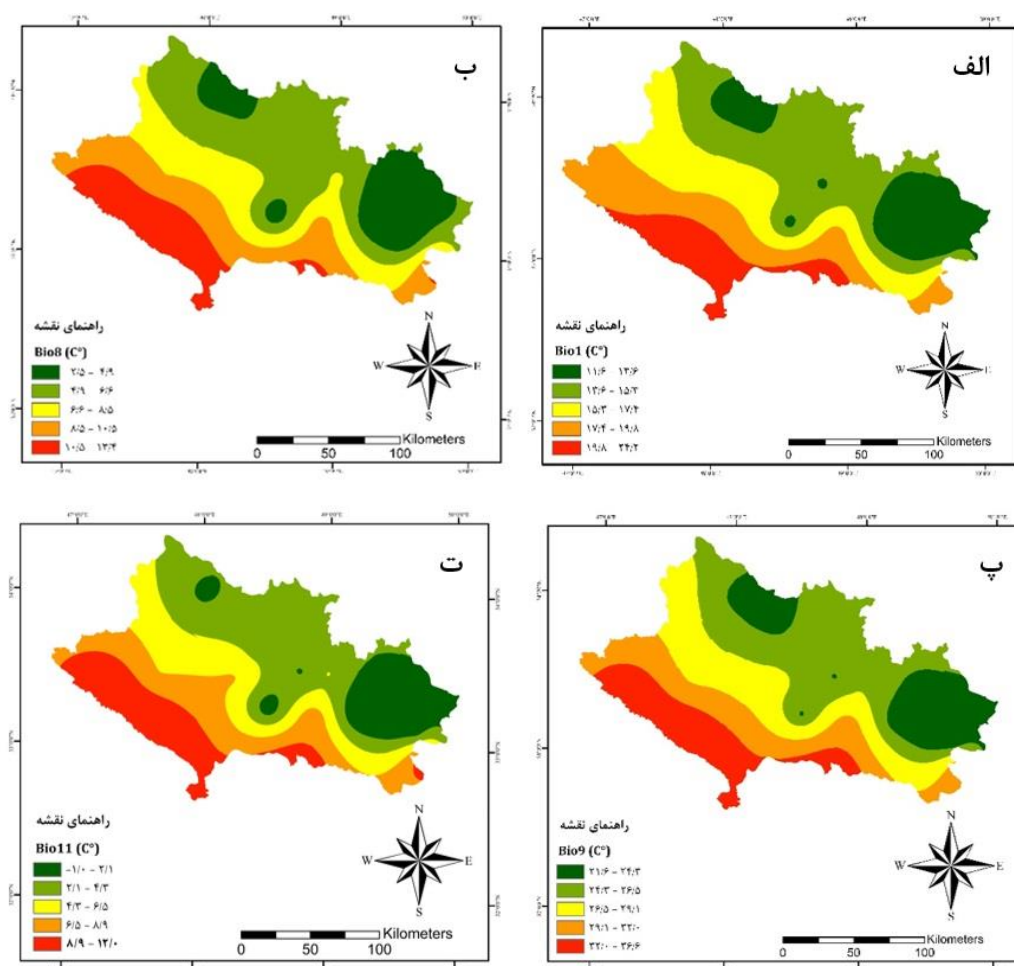
متغیر	روش	ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)	ریشه دوم میانگین استاندارد شده خطا (RMSSE)	متغیر	روش	ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)	ریشه دوم میانگین استاندارد شده خطا (RMSSE)
Bio1	کریجینگ	۳/۶۹	۱/۰۸	Bio12	کریجینگ	۱۲۶/۷۵	۱/۰۰
	کو کریجینگ	۲/۳۹	۰/۸۱		کو کریجینگ	۱۳۹/۸۹	۱/۲۵
Bio2	کریجینگ	۴/۴۸	۱/۲۱	Bio13	رگرسیون خطی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

منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹

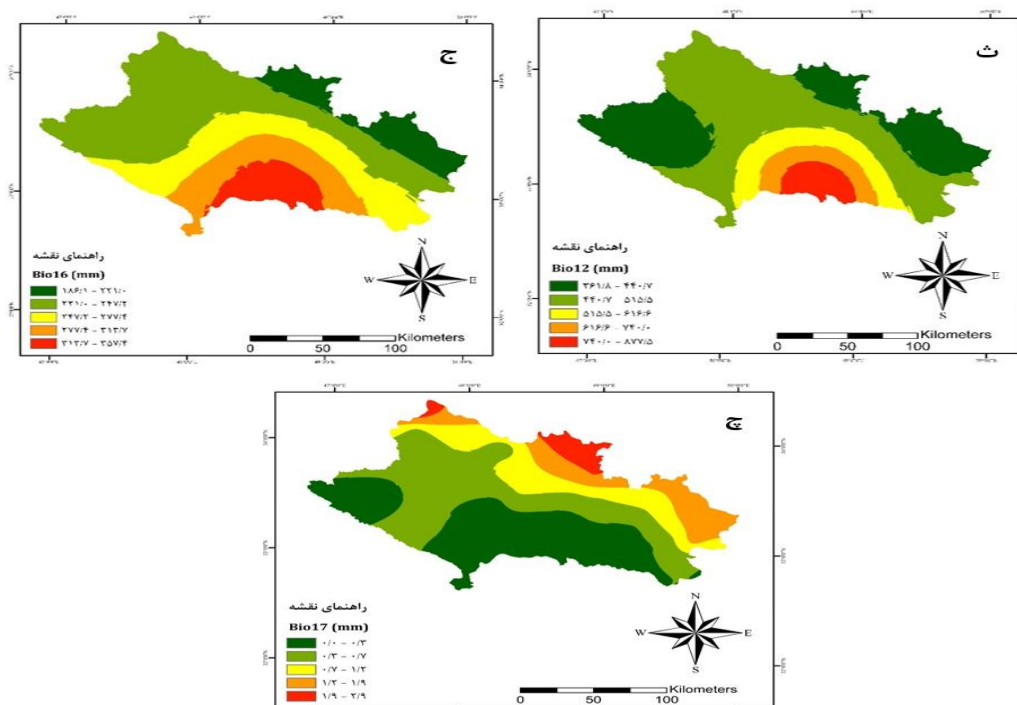
در نهایت نقشه توزیع مکانی Bio1، Bio2، Bio3، کوکریجینگ و Bio4، Bio5، Bio7، Bio12، Bio13، Bio6، Bio8، Bio9، Bio10 و Bio11 به روش Bio15، Bio16، Bio17 و Bio18 به روش کریجینگ و

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 جنوب غرب 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

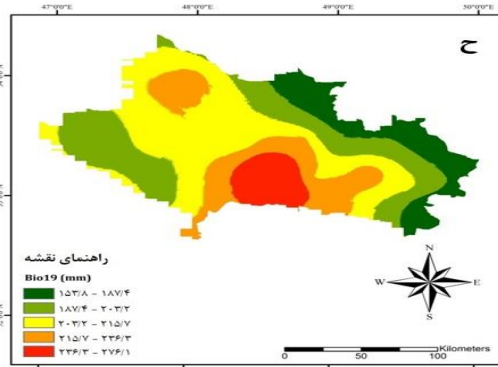
بارندگی در جنوب استان با ۳۱۳/۷ تا ۳۵۷/۴ میلی‌متر و کمترین میزان بارش در شمال و شمال شرق استان لرستان با میزان ۱۸۶/۱ تا ۲۲۱ میلی‌متر است. در Bio17 نیز بیشترین میزان بارش در شمال غرب، شمال و شمال شرق استان با ۱/۹ تا ۲/۹ میلی‌متر و کمترین میزان بارش استان در جنوب و غرب استان با ۰ تا ۰/۳ میلی‌متر است (شکل 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



شکل ۳- نقشه توزیع مکانی متوسط بارندگی سالانه (Bio12) (ث)، بارندگی مرطوب‌ترین سه ماه متوالی (Bio16) (ج) و بارندگی خشک‌ترین سه ماه متوالی (Bio17) (ز) ایجاد شده به روش کریجینگ، منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹



شکل ۴- 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

درون‌یابی به دو روش کریجینگ و کوکریجینگ است. در این پژوهش تعیین مدل‌نمایی 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 مدل‌نمایی مناسب‌ترین روش درون‌یابی برای متغیر دما در سطح کشور معرفی کرد مطابقت دارد. برای تعیین بهترین روش درون‌یابی 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

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 مدل‌نمایی برای Bio13, Bio11, Bio10, Bio9, Bio8, Bio4, Bio1, Bio17 و Bio19، کروی برای Bio15 و گوسی برای Bio3, Bio5, Bio6, Bio7, Bio12 و Bio16 بدون متغیر کمکی و مدل‌نمایی برای همه ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی با استفاده از متغیر کمکی ارتفاع بهترین مدل برای انجام

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 درنمایی 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 $79/07$ ، $81/2$ و $142/73$ بود، این در حالی است که در Bio12 شاخص ریشه میانگین مربعات خطا $126/75$ ، $139/89$ و $142/26$ 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 $59/10$ ، $60/91$ و $55/43$ 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 کریجینگ 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^۱، 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، Bio18 و 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^۲ 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



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 روش‌های مختلف درونیابی می‌توان بهترین روش را برای تهیه نقشه متغیرهای زیست‌اقليمی 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 زیست‌اقليمی می‌تواند دقت ارزیابی روش‌های درونیابی را افزایش دهد و سبب تهیه نقشه‌های دقیق جهت مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای، پیش‌بینی رویشگاه‌های جدید و حفاظت از زیست‌بوم گونه‌ها شود.

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-اقليمی 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 باران‌زای 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،

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، فرج‌الله، حسین آذرینوند، راضیه یزدانپرست، محمدعلی زارع چاهوکی، محمد جعفری و سانیل کومار. ۱۳۹۶. "تعیین مهمترین عوامل موثر بر پراکنش گونه *Daphne mucronata* Royle و مدل‌سازی 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، روح‌الله 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 همای و منصوره ملکیان. ۱۳۹۳. "مقایسه روش‌های زمین‌آمار به منظور تعیین بهترین روش درونیابی داده‌های زیست‌اقليمی در مدل‌سازی پراکنش گونه‌های جانوری در مرکز ایران"، **بوم‌شناسی کاربردی**، شماره ۸، صص ۶۷-۵۵.
- خسروی، یونس و اسماعیل عباسی. ۱۳۹۵. "تحلیل فضایی داده‌های محیطی با زمین‌آمار"، **نشر آذر کلک زنجان**، ۲۸۰ صفحه.

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

صادقی راد، روح‌الله، علی‌محمد آخوند علی، فریدون رادمنش، حیدر زارعی و محمدرضا گلابی. ۱۳۹۴. "ارزیابی روش‌های میان‌یابی فضایی در توزیع مکانی بارش سالانه (مطالعه موردی: حوضه مارون)". **نشریه پژوهش‌های کاربردی علوم آب**. شماره ۱، صص ۱-۱۲. عساکره، حسین. ۱۳۸۷. "کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش مطالعه موردی: میان‌یابی 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**. شماره ۱۲، صص ۶۳-۴۶.

فتحی زاده، حسن، حاجی کریمی و مهدی تازه. ۱۳۹۳. "بررسی الگوریتم‌های مختلف زمین‌آماري جهت پهنه‌بندی 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 اسمعیلی 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-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 at regional scale". **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.



- 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 Influence of topographic co-variables 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.

- 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.



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 mapping 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 mapping 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. & Tarnian, 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