مقایسه روش‌های زمین آمار به‌منظور تعیین بهترین روش درون‌یابی داده‌های زیست‌اقلیمی در مدل‌سازی پراکنش گونه‌های جانوری در مرکز ایران

رسول خسروی[1]، محمود رضا همامی[*1]، منصوره ملکیان[1]

(تاریخ دریافت1392/12/22 ؛ تاریخ پذیرش:1393/06/10)

چکیده

شاخص‌های زیست اقلیمی که شامل روندهای سالانه، رژیم و حدود آستانه یا فاکتورهای محدود کننده محیط‌زیستی می‌باشند، از مهم‌ترین متغیرهای مستقل در مدل‌های پراکنش توزیع گونه‌ها به‌شمار می‌روند. از آنجا که در اکوسیستم‌های خشک مرکز کشور، آب و دما، عوامل کنترل کننده فعالیت‌های زیستی است، بنابراین نقشه‌سازی عوامل اقلیمی در مدل‌های پراکنش گونه‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد. در این مطالعه ابتدا نحوه استخراج ۲۰ متغیر مهم زیست‌اقلیمی از داده‌های اقلیمی بیان شده و سپس روش وزنی معکوس فاصله، سه روش کریجینگ (کریجینگ معمولی، کریجینگ با روند خارجی، کوکریجینگ) و پنج روش توابع شعاع محور با یکدیگر مقایسه شدند. داده‌های نرمال اقلیمی (۲۰۱۰-۱۹۵۰) در ۲۶ ایستگاه سیوپتیک در مرکز کشور برای استخراج داده‌های زیست اقلیمی مورد استفاده قرار گرفت. بررسی هم‌بستگی مکانی، ناهمسان گردی و روند داده‌ها با استفاده از سه مدل نیم تغییرنمای کروی، نمایی و گوسی انجام شد و بهترین مدل با استفاده از روش ارزیابی متقاطع انتخاب شد. انتخاب مدل بهینه برای درون‌یابی متغیرهای زیست‌اقلیمی بر اساس محاسبه ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین خطای اریب انجام گرفت. نتایج تحلیل نیم تغییرنما، مدل نمایی را بهترین مدل ریاضی برازش نیم تغییرنمای تجربی معرفی کرد. هم‌چنین مقایسه روش‌های مختلف نشان داد که بهترین روش برای درون‌یابی متغیر متوسط دمای سالانه روش کوکریجینگ و برای بارندگی سالانه IDW است. نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از متغیر ارتفاع به‌عنوان متغیر کمکی نقش مهمی در بهینه کردن روش‌های درون‌یابی داده‌های اقلیمی و زیست اقلیمی دارد.

واژه‌های کلیدی: درون‌یابی، کوکریجینگ، متغیرهای زیست اقلیمی، مدل‌سازی پراکنش، مرکز ایران، نیم تغییرنما

1. گروه محیط زیست ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی:mrhemami@cc.iut.ac.ir

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.8.5.5]

مقدمه

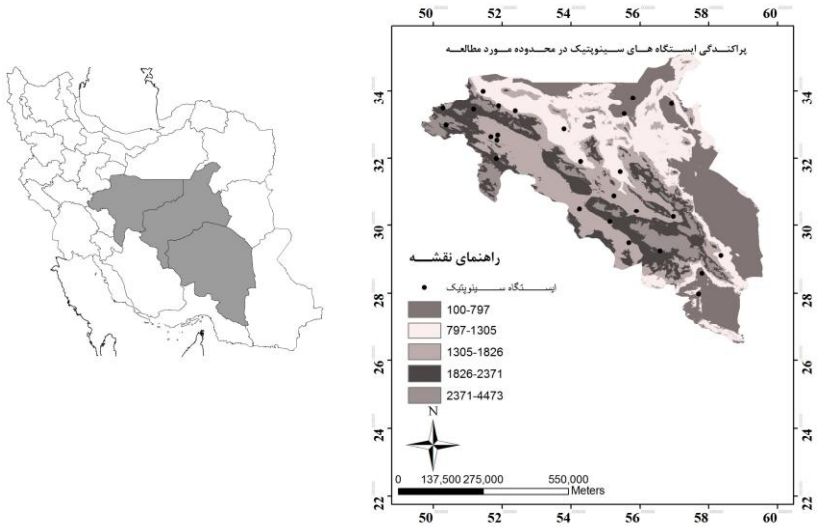
مدل‌های پیش‌بینی کننده توزیع گونه‌ها (SDMs) با تعیین فاکتورهای موثر بر حضور و مطلوبیت زیستگاه گونه، ابزار مهمی در تصمیم‌گیری‌های حفاظتی تنوع زیستی به شمار میروند. این مدل‌ها ارتباط اکولوژی، زیست جغرافیا و حفاظت گونه‌ها را فراهم می‌کنند (4 و 15). تا کنون مدل‌های متنوعی برای پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها معرفی شده است که تفاوت آنها را می‌توان در الگوریتم‌های آماری استفاده شده، نوع داده‌های وارد شده به مدل و فرضیات به‌کار گرفته شده در هر مدل بیان کرد. روش مدل‌سازی زیست- اقلیمی (8)، DOMAIN (9)، BRT (10) آشیان بوم‌شناختی (14) بیشینه آنتروپی (19) مهم‌ترین روش‌های مدلسازی پراکنش گونه‌ها بشمار می‌روند. متغیرهای زیست اقلیمی یکی از مهمترین متغیرهای محیطی بوده که در اکثر مطالعات مدلسازی پراکنش گونه‌ها استفاده می‌شوند (13، 15 و24). تغییرات اقلیمی با ایجاد محدودیت‌های فیزیولوژیکی نقش مهمی در پراکنش گونه‌های گیاهی و جانوری دارد (5). ارتباط بین اقلیم و توزیع گونه‌ها در یک سیمای سرزمین به سازگاری‌های محلی گونه‌ها، موانع انتشار و میزان دسترسی گونه به زیستگاه، بستگی دارد. متغیرهای زیست اقلیمی از مقادیر دما و بارش ماهیانه استخراج می‌شوند و معنی داری زیستی بیشتری، نسبت به متغیرهای اقلیمی دارند. این متغیرها شامل روندهای سالانه، رژیم و حدود آستانه یا فاکتورهای محدودکننده محیط‌زیستی می‌باشند (6). در بیشتر مطالعاتی که تا کنون در رابطه با مدلسازی زیستگاه گونه‌ها استفاده شده‌است از 19 متغیر زیست اقلیمی وبگاه اقلیم جهانی (Worldclim) استفاده شده است (13، 15 و 24).

بخش زیادی از مساحت کشور را سه استان یزد، اصفهان و کرمان به‌خود اختصاص داده‌اند که جزء مناطق با اقلیم خشک و نیمه‌خشک طبقه‌بندی می‌شوند و زیستگاه‌های بیابانی بخش وسیعی از این مناطق را پوشانده است. با وجود محدودیت‌های محیطی زیاد، تنوع گونه‌های گیاهی و جانوری این بخش از کشور بالا بوده و گونه‌های کلیدی بسیاری از جمله یوزپلنگ آسیای (*Acinonyx jubatus*)،آهو ایرانی (*Gazella subgutturosa*)، جبیر (*Gazell bennetti*)، هوبره (*Chlamydotis undulata*)، کاراکال (*Caracal caracal*) و گور ایرانی (*Equus onager*) در این بخش از کشور زیست می‌کنند. متاسفانه در سال‌های اخیر به‌دلیل افزایش دخالت‌های انسانی، جمعیت بسیاری از این گونه‌ها به‌شدت کاهش یافته‌است. این موضوع اهمیت مطالعات علمی در خصوص عوامل موثر بر توزیع گونه‌های این بخش از کشور را دوچندان می‌کند. عوامل اقلیمی به خصوص دما و بارندگی عامل محدود کننده پراکنش گونه‌های جانوری و گیاهی زیست‌بوم‌های این مناطق معرفی می‌شوند. لذا استفاده از فاکتورهای اقلیمی در مدلسازی پراکنش گونه‌های جانوری در زیست‌بوم‌های بیابانی مرکز کشور از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. از آنجا که در کشور ما تا کنون در رابطه با نحوه استخراج و درون‌یابی داده‌های زیست اقلیمی به‌منظور کاربرد این متغیرها در مدل‌های پیش‌بینی‌کننده توزیع گونه‌ها، مطالعات چندانی صورت نگرفته‌است، به‌همین‌منظور این مطالعه با هدف تعیین بهترین روش درونیابی داده‌های زیست‌اقلیمی در مرکز کشور به‌منظور کاربرد این داده‌ها در مدلسازی پراکنش گونه-های این مناطق اجرا شد. برای ساخت لایه‌های زیست‌اقلیمی از داده‌های هواشناسی 26 ایستگاه سینوپتیک مرکز کشور (اصفهان، یزد و کرمان) در طی سال‌های 1950 تا 2010 استفاده شد.

در یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان روش‌های درون‌یابی را به 3 دسته روش‌های تصادفی، قطعی و دیگر روش‌ها تقسیم بندی کرد (22). انتخاب روش مناسب جهت تهیه نقشه‌های پیوسته از متغیرهای زیست اقلیمی از مسائل اساسی در تهیه این نقشه‌ها به‌شمار می‌رود که بستگی به ماهیت داده‌ها، مقیاس مکانی و زمانی داده‌ها و تعداد نقاط معلوم دارد. ارزیابی روش‌های درون‌یابی از سه طریق تکه تکه کردن داده‌ها (Data splitting)، ارزیابی متقابل (Cross validation) و محاسبه واریانس کریجینگ (Kriging variance) امکان‌پذیر است. نادی و همکاران (3) در مطالعه‌ای در استان خوزستان به مقایسه روش‌های درون‌یابی

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.8.5.5]



شکل ۱. پراکندگی ایستگاه‌های سینوپتیک بر روی نقشه رقومی ارتفاع در محدوده مورد مطالعه

داده‌های اقلیمی پرداختند و بهترین روش را روش رگرسیون کریجینگ معرفی کردند. فاطمی و یزدان‌پناه (2) به ارزیابی روش‌های مختلف میان‌یابی به‌منظور برآورد داده‌های بارش اصفهان پرداختند و روش رگرسیون بارش، ارتفاع، طول جغرافیایی را بهترین روش معرفی کردند. اسمیت و همکاران (23) روش IDW را برای مناطقی که تعداد داده‌های معلوم زیاد نباشد را روش مناسبی برای درون‌یابی معرفی کردند.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه، داده‌های اقلیمی و استخراج متغیرهای زیست اقلیمی

منطقه موردمطالعه شامل سه استان مرکزی کشور (یزد، کرمان، اصفهان) می‌باشد. محدوده ارتفاعی بین 100 تا 4473 متر متغیر است. به دلیل دقت و کیفیت آمار هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتبک، در این پژوهش از داده‌های ماهانه دما و بارش 26 ایستگاه سینوپتیک در محدوده موردمطالعه در طی سال‌های 1950 تا 2010 استفاده شد. در شکل 1 محدوده مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک بر روی نقشه توپوگرافی منطقه نشان داده شده‌است. تغییرات ارتفاعی ایستگاه‌های موردنظر بین 470 تا 2290 متغیر است که نشان می‌دهد در برخی از مناطق موردمطالعه ایستگاه هواشناسی وجود ندارد. به‌منظور استخراج داده‌های زیست اقلیمی، ابتدا داده‌های ماهانه دما و بارش به‌صورت داده‌های نرمال اقلیمی تعریف شد. سپس 20 متغیر زیست اقلیمی از داده‌های ماهانه دما و بارش استخراج شد (17، جدول 1). در شاخص‌های زیست اقلیمی فصلی، فصل به صورت بازه‌های زمانی سه ماهه تعریف شد. لذا این شاخص‌ها برای تمامی ترکیب‌های متوالی سه ماهه محاسبه و بعد از آن بسته به نوع شاخص مورد نظر حداقل یا حداکثر شاخص انتخاب شد. جهت تعیین شاخص‌های فصلی برای ماه‌های آخر سال (بهمن و اسفند)، تعریف دوره سه ماهه با استفاده از ماه‌های اول سال انجام گرفت. برای محاسبه متوسط سالانه دامنه روزانه دما (Bio2) از نوسانات دمایی ثبت شده در یک ماه استفاده شد. در این رویکرد استفاده از متوسط‌های ماهانه از نظر ریاضی برابر با محاسبه دامنه دما برای هر روز از ماه است (17). متغیر زیست‌اقلیمی رژیم دما (Bio10 و Bio11)، به دو صورت ضریب تغییرات و انحراف‌معیار تعریف شد. در محاسبه رژیم بارش بر اساس ضریب تغییرات، به‌منظور جلوگیری از اعداد منفی و یا صفر در مخرج معادله، داده‌های دمایی به‌صورت درجه کلوین وارد معادله شد.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.8.5.5]

جدول ۱. نحوه محاسبه ۲۰ متغیر زیست اقلیمی از داده‌های ماهانه دما و بارش

نام	متغیر	نحوه محاسبه	نام	متغیر	نحوه محاسبه
Bio۱	دمای متوسط سالانه	$\frac{\sum_{i=1}^{12} Tavg_i}{12}$	Bio۷	بارش سالانه	$\sum_{i=1}^{12} PPT_i$
Bio۲	متوسط سالانه دامنه روزانه	$\frac{\sum_{i=1}^{12}(Tmax_i - Tmin_i)}{12}$	Bio۸	بارش مرطوب‌ترین	$\text{Max}(\{PPT_1, \ldots, PPT_{12}\})$
Bio۳	ایزوترمالی (همدمایی)	$\frac{Bio\ 2}{Bio\ 4} * 100$	Bio۹	بارش خشک‌ترین	$\text{Min}(\{PPT_1, \ldots, PPT_{12}\})$
Bio۴	دامنه سالانه دما	Bio ۵- Bio۶	Bio۱۰	رژیم دما (انحراف)	$SD\{Tavg1, \ldots, Tavg12\}$
Bio۵	حداکثر دمای گرمترین ماه	$\text{Max}(\{Tmax_1, \ldots, Tmax_{12}\})$	Bio۱۱	رژیم دما (ضریب)	$\frac{SD\{Tavg1,\ldots,Tavg12\}}{Bio\ 1 + 273.15} * 100$
Bio۶	حداقل دمای سردترین ماه	$\text{Min}(\{Tmin_1, \ldots, Tmin_{12}\})$	Bio۱۲	رژیم بارش	$\frac{SD\{PPT1,\ldots,PPT12\}}{1 + Bio\left(\frac{12}{12}\right)} * 100$

متغیر	محاسبه	متغیر	نحوه محاسبه	متغیر	محاسبه	متغیر	نحوه محاسبه
بارش سردترین فصل (Bio 13)	$\text{Min}\left(\left\vert \begin{matrix} \text{mean}\sum_{i=1}^{3} Tavg_i \\ \text{mean}\sum_{i=2}^{4} Tavg_i \\ \ldots \\ \text{mean}\sum_{i=12}^{2} Tavg_i \end{matrix} \right\vert\right)$ $\sum_{i=1}^{3} PPT_i$	بارش خشک‌ترین فصل (Bio 14)	$\text{Min}\left(\left\vert \begin{matrix} \sum_{i=1}^{3} PPT_i \\ \sum_{i=2}^{4} PPT_i \\ \ldots \\ \sum_{i=12}^{2} PPT_i \end{matrix} \right\vert\right)$	میانگین دمای گرم ترین فصل (Bio 15)	$\text{Max}\left(\left\vert \begin{matrix} \text{mean}\sum_{i=1}^{3} Tavg_i \\ \text{mean}\sum_{i=2}^{4} Tavg_i \\ \ldots \\ \text{mean}\sum_{i=12}^{2} Tavg_i \end{matrix} \right\vert\right)$	میانگین دمای سردترین فصل(Bio 16)	$\text{Min}\left(\left\vert \begin{matrix} \text{mean}\sum_{i=1}^{3} Tavg_i \\ \text{mean}\sum_{i=2}^{4} Tavg_i \\ \ldots \\ \text{mean}\sum_{i=12}^{2} Tavg_i \end{matrix} \right\vert\right)$
بارش گرمترین فصل (Bio 17)	$\text{Max}\left(\left\vert \begin{matrix} \text{mean}\sum_{i=1}^{3} Tavg_i \\ \text{mean}\sum_{i=2}^{4} Tavg_i \\ \ldots \\ \text{mean}\sum_{i=12}^{2} Tavg_i \end{matrix} \right\vert\right)$ $\sum_{i=1}^{3} PPT_i$	بارش مرطوبترین فصل(Bio 18)	$\text{Max}\left(\left\vert \begin{matrix} \sum_{i=1}^{3} PPT_i \\ \sum_{i=2}^{4} PPT_i \\ \ldots \\ \sum_{i=12}^{2} PPT_i \end{matrix} \right\vert\right)$	میانگین دمای مرطوبترین فصل(Bio 19)	$\text{Max}\left(\left\vert \begin{matrix} \text{mean}\sum_{i=1}^{3} PPT_i \\ \text{mean}\sum_{i=2}^{4} PPT_i \\ \ldots \\ \text{mean}\sum_{i=12}^{2} PPT_i \end{matrix} \right\vert\right)$	میانگین دمای خشک‌ترین فصل (Bio 20)	$\text{Min}\left(\left\vert \begin{matrix} \text{mean}\sum_{i=1}^{3} PPT_i \\ \text{mean}\sum_{i=2}^{4} PPT_i \\ \ldots \\ \text{mean}\sum_{i=12}^{2} PPT_i \end{matrix} \right\vert\right)$

i= ماه؛ Tmax= میانگین ماهانه حداکثر دمای روزانه؛ Tmin= میانگین ماهانه حداقل دمای روزانه؛ PPT= بارش کل ماهانه؛ Tavgi- میانگین دمای ماهانه

تجزیه و تحلیل داده‌ها

بررسی توزیع، هم‌بستگی و رگرسیون متغیرها

قبل از انتخاب روش مناسب برای درون‌یابی داده‌های دما و بارش سالانه، به بررسی و تجزیه‌وتحلیل توصیفی داده‌ها پرداخته شد، بدین منظور ابتدا شاخصه‌های آمار توصیفی برای هر دو متغیر دمای سالانه و بارش محاسبه شد. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف یک نمونه‌ای و ترسیم نمودار q-q بررسی شد. به‌منظور محاسبه معادله رگرسیون بارندگی با ارتفاع و هم‌چنین دمای سالانه با ارتفاع ابتدا ضریب هم‌بستگی محاسبه شد و سپس معادله رگرسیونی ترسیم شد.

بررسی نیم تغییرنما، روند و هم‌بستگی مکانی متغیرها

ارتباط بین گشتاور اینرسی، نمودار پراکندگی داده‌ها و فاصله بین جفت نقاط (h) موسوم به نیم‌تغییرنما (Semivariogram)

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.8.5.5]

است که یکی از مهم‌ترین روش‌های تحلیل و بررسی هم‌بستگی مکانی داده‌های اقلیمی به‌شمار می‌رود. معادله 1 رابطه نیم تغییرنما را نشان می‌دهد. در این معاله $\gamma(h)$ مقدار نیم تغییرنما برای جفت نقاطی است که به فاصله h از هم قرار دارند. n(h) تعداد زوج نقاطی است که به فاصله h از هم قرار دارند.Z (xi) مقدار مشاهده شده متغیر x در موقعیت i و z (xi+h) مقدار مشاهده‌ای متغیر در h از xi است

$$\gamma(h)=\frac{1}{2n(h)}\sum_{i=1}^{n}[z(xi)-z(xi+h)]^2 \qquad [1]$$

به‌منظور محاسبه میزان وزن اختصاص داده شده به هر ایستگاه در روش کریجینگ و هم‌چنین هم‌بستگی مکانی و روند متغیرها، نیم تغییرنما بر اساس سه مدل کروی، گوسی و نمایی ترسیم شد. از آنجا که شبکه ایستگاه‌ها به‌صورت نامنظم در سطح منطقه مورد مطالعه پراکنده شده بود، لذا انتخاب گام (Lap) در نرم افزار GIS بر اساس متوسط فاصله بین نقاط و نیم تغییرنمای بدون جهت صورت گرفت.

وجود یا عدم وجود روند در داده‌ها با استفاده از ترسیم نیم تغییرنما بررسی شد. به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین مدل برازش داده شده به نیم تغییرنمای تجربی از اعتبارسنجی متقاطع استفاده شد. بدین منظور، مدل‌های مختلف با پارامترهای متفاوت انتخاب و هر یک از مدل‌ها که پس از اجرای روش کریجینگ دارای خطای برآورد کمتری بود به‌عنوان مدل بهینه نیم تغییرنما انتخاب شد.

انتخاب روش درون‌یابی برای داده‌های اقلیمی و زیست اقلیمی

انتخاب بهترین روش درون‌یابی در واقع نوعی آزمون هزینه منفعت بین کارایی و پیچیدگی مدل است. اکثر روش‌های درون‌یابی از یا رابطه 2 برای محاسبه نقاط مجهول استفاده می‌کنند. تفاوت‌های روش‌های مختلف درون‌یابی، در وزن اختصاص داده شده (λ_i) به هر ایستگاه است. در این مطالعه از روش‌های IDW، کریجینگ، کوکریجینگ، کریجینگ با روند خارجی و پنج روش توابع شعاع محور برای مدل‌سازی مکانی داده‌های اقلیمی و زیست اقیمی استفاده شد

$$Z^{*}=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i Z(x_i) \qquad [3]$$

ارزیابی روش‌های درون‌یابی به‌منظور انتخاب بهترین روش برای داده‌های اقلیمی و زیست‌اقلیمی

از روش اعتبارسنجی متقاطع برای ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی استفاده شد. در این روش برای هر یک از نقاط مشاهده شده، برآورد تخمینی با به‌کارگیری روش درون‌یابی موردنظر انجام می‌گیرد. معیارهای مختلفی برای مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و برآورد شده وجود دارد که در این مطالعه از دو روش میانگین انحراف خطا (MBE) و ریشه دوم مربع میانگین خطا (RMSE) استفاده شد.

بررسی امکان سنجی اجرای روش‌های درون‌یابی و بهینه‌سازی پارامترها در هر روش

به‌منظور امکان استفاده از هر یک از 9 مدل به بررسی روند، هم‌بستگی مکانی و ناهمسان‌گردی داده‌ها پرداخته شد و در نهایت مدل‌های قابل اجرا انتخاب شدند. توان فاصله (Power)، تعداد نقاط همسایگی (Neighbor point)، شعاع همسایگی (Neighbor distance) و پارامتر هموارسازی از جمله مهم‌ترین پارامترهایی بودند که قبل از اجرای مدل، بهینه‌سازی شدند. از روش اعتبارسنجی متقاطع پارامترهای هر مدل بهینه‌شده و پارامتری که کمترین میزان خطا را داشت به‌عنوان پارامتر بهینه آن مدل انتخاب شد.

روش معکوس فاصله وزنی

در روش IDW که از جمله روش‌های زمین آمار قطعی است، مقدار نقاط مجهول (S_0) از طریق ترکیب خطی نقاط معلوم (S_i) در اطراف نقطه مجهول با استفاده از رابطه 3 محاسبه شد.

$$Z(S_0)=\sum_{i=1}^{m}\lambda_i Z(S_i) \qquad [3]$$

وزن هر نقطه معلوم (l_i) بر اساس فاصله آن تا نزدیک‌ترین

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.8.5.5]

نقطه معلوم بعدی با استفاده از یک تابع فاصله‌ای غیرخطی زیر محاسبه شد (رابطه 4) (23).

$$\lambda_i = \frac{d_{i0}^{-p}}{\sum_{i=1}^{m} d_{i0}^{-p}}, \sum_{i=1}^{m} \lambda_i = 1 \quad [4]$$

در رابطه 4، di0 فاصله بین نقطه معلوم تا نقطه مجهول را نشان می‌دهد. از روش IDW تا کنون در رابطه با مطالعات اقلیمی زیادی استفاده شده است (7 و 18). روش IDW برای مناطقی که تعداد داده‌های معلوم زیاد نباشد، روش مناسبی است (22). به‌دلیل گستردگی منطقه موردمطالعه و پراکندگی کم ایستگاه‌های هواشناسی در مرکز کشور، از این روش برای درون‌یابی متغیرهای زیست‌اقلیمی استفاده شد. قبل از اجرای مدل، سه پارامتر توان فاصله، شعاع همسایگی و نقاط همسایگی با استفاده از روش ارزیابی متقاطع بهینه شد.

روش کریجینگ، کریجینگ با روند خارجی و کوکریجینگ

روش کریجینگ با روند خارجی در مواردی استفاده می‌شود که متغیر اصلی با یک متغیر کمکی، ارتباط مکانی خطی داشته باشد. در این روش نخست روند موجود در داده‌ها با استفاده از نیم تغییرنما محاسبه شد. برای اجرای روش کوکریجینگ نیم تغییرنمای متغیر کمکی (ارتفاع) و نیم تغییرنمای متقابل متغیر اصلی و متغیر کمکی نیز ترسیم گردید.

روش توابع شعاع محور(RBF)

قبل از اجرای روش RBF پارامترهای این روش بهینه شدند.در این مطالعه پنج مدل مختلف از RBF مورد ارزیابی قرار گرفت و بر اساس میزان ریشه دوم میانگین مربع خطا و هم‌چنین میانگین انحراف خطا بهترین مدل RBF برای درون‌یابی دو متغیر دما و بارندگی انتخاب شد. تمامی آنالیزهای آماری با استفاده از نرم افزار SPSS و درون‌یابی داده‌ها در محیط Arc GIS انجام شد.

نتایج

تجزیه و تحلیل داده‌های بارش سالانه و دمای میانگین سالانه

آماره‌های توصیفی 20 متغیر زیست اقلیمی در منطقه موردمطالعه در جدول 2 نشان داده شده‌است. نتایج بررسی نرمال بودن داده‌ها نشان داد که هر دو متغیر بارندگی سالانه (KS P =0/792) و دمای متوسط سالانه (KS P =0/692) از توزیع نرمال پیروی می‌کنند (شکل 2). نتایج بررسی هم‌بستگی نشان داد که بین متوسط دمای سالانه و ارتفاع (P=0/00 ، R =0/926) در منطقه مورد-مطالعه هم‌بستگی معنی‌داری وجود دارد. اما میزان هم‌بستگی بین بارندگی و ارتفاع (P=0/01 ، R =0/483) چندان زیاد نبود هم‌چنین معادله گرادیان بارندگی و ارتفاع (X 0/07 +Y=36/33) و گرادیان دما و ارتفاع (X 0/007+ 28/20 =Y)بدست آمد.

بررسی نیم تغییرنما، روند و همبستگی مکانی متغیرها

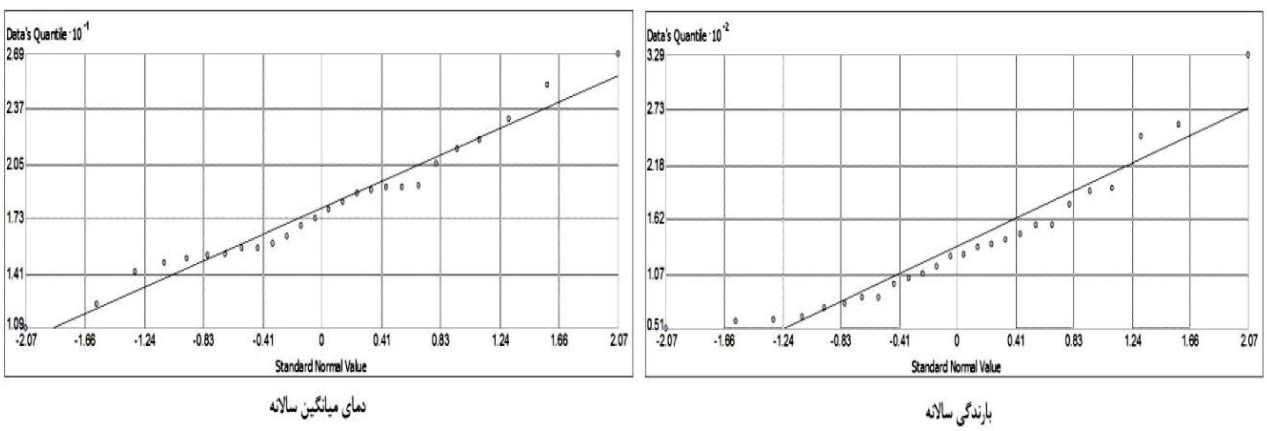
نتایج محاسبه نیم تغییر نمای بدون جهت برای سه مدل گوسی، نمایی و کروی در جدول 3 آورده شده است. بر اساس روش ارزیابی متقابل، مدل نمایی کمترین میزان خطا را برای هر دو متغیر دما و بارش نشان داد. لذا از این مدل برای انجام روش کریجینگ استفاده شد. بعد از بهینه کردن بهترین مدل نیم تغییرنما، ترسیم نیم تغیرنما برای دو متغیر دما و بارندگی بر اساس مدل نمایی انجام شد (شکل 3). همان‌طورکه در این شکل نشان داده شده است، ترسیم نیم تغییرنمای تجربی نشان از وجود هم‌بستگی مکانی در دو متغیر دما و بارندگی دارد. علاوه بر این، شیب کم نیم تغییرنما در نزدیک مبدأ، وجود هم‌بستگی مکانی را تائید می‌کند. از طرف دیگر، با توجه به این‌که میزان نیم تغییرنما با افزایش فاصله، افزایش و سپس به سقف معینی می‌رسد، عدم وجود روند و یا ارتباط خطی مستقیم بین متغیر اصلی و کمکی در دو متغیر دما و بارندگی مشهود است. به‌منظور بررسی امکان استفاده از مدل کوکریجینگ، نیم تغییرنمای متقابل بارندگی و ارتفاع و هم‌چنین دما و ارتفاع ترسیم شد (شکل 3). دما و ارتفاع در نیم تغییرنما هم‌بستگی مکانی نشان دادند، لذا امکان استفاده از روش کوکریجینگ وجود داشت، به‌دلیل عدم وجود هم‌بستگی مکانی بین بارندگی و ارتفاع امکان استفاده از روش کوکریجینگ در محدوده موردمطالعه وجود نداشت.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.8.5.5]

جدول 2. میانگین، میانه، مینیمم و ماکزیمم 20 متغیر زیست‌اقلیمی در محدوده مورد مطالعه (°C)

متغیر	توصیف	مینیمم	ماکزیمم	میانگین	میانه
Bio۱	دمای متوسط سالانه	10/93	26/89	17/90	17/59
Bio۲	متوسط سالانه دامنه روزانه دما	9/45	17/79	14/59	14/54
Bio۳	ایزوترمالی (هم‌دمایی)	26/44	45/76	37/58	37/72
Bio۴	دامنه سالانه دما	34/67	42/75	38/76	39/03
Bio۵	حداکثر دمای گرم‌ترین ماه	31/01	44/08	37/72	37/67
Bio۶	حداقل دمای سردترین ماه	-8/11	8/55	-1/04	-1/15
Bio۷	بارش سالانه	51/45	328/98	134/37	126/16
Bio۸	بارش مرطوب‌ترین ماه	12/16	62/75	28/47	24/34
Bio۹	بارش خشک‌ترین ماه	0/00	1/32	0/35	0/14
Bio۱۰	رژیم دما (انحراف معیار)	7/99	10/13	8/93	8/95
Bio۱۱	رژیم دما (ضریب تغییرات)	2/76	3/47	3/07	3/09
Bio۱۲	رژیم بارش	75/41	111/58	87/82	85/39
Bio۱۳	بارش سردترین فصل	26/08	145/72	67/71	59/58
Bio۱۴	بارش خشک‌ترین فصل	0/11	11/12	2/22	1/45
Bio۱۵	میانگین دمای گرم ترین فصل	22/16	36/52	28/73	28/01
Bio۱۶	میانگین دمای سردترین فصل	-0/82	15/94	6/68	6/40
Bio۱۷	بارش گرم‌ترین فصل	0/26	16/58	3/47	2/42
Bio۱۸	بارش مرطوب‌ترین فصل	29/47	165/81	73/83	61/39
Bio۱۹	میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل	4/08	15/94	8/92	8/45
Bio۲۰	میانگین دمای خشک‌ترین فصل	15/90	35/59	27/35	26/96



دمای میانگین سالانه

بارندگی سالانه

شکل 2. ترسیم نمودار q-q دو متغیر دما و بارش به منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.8.5.5]

جدول 3. بررسی مدل‌های مختلف نیم تغییرنما برای دو متغیر دما و بارندگی

مدل	نوع مدل	متغیر	شعاع هم‌بستگی	آستانه	C0	RMSE	Mean of Error
مدل 1	کروی	بارندگی	6/92	3656/3	2125/4	52/22	57/49
		دما	7/97	15/76	2/36	2/36	2/37
مدل 2	گوسی	بارندگی	7/85	3337	2981/1	56/31	59/7
		دما	7/97	15/07	4/99	2/58	2/52
مدل 3	نمایی	بارندگی	3/58	5158/4	0	47/27	54/04
		دما	7/97	16/49	0/47	2/34	2/34

بررسی روش IDW در درون یابی داده‌های دما و بارندگی

قبل از اجرای مدل IDW بهینه سازی پارامترها انجام شد. برای دمای سالیانه در منطقه توان 3/08 و برای بارش سالیانه توان 3/8توان بهینه، تعیین شد. تعداد نقاط همسایگی و شعاع همسایگی با استفاده از روش اعتبارسنجی تقاطعی استخراج شد و در نهایت تعداد نقاط همسایگی هم برای دمای سالانه و هم بارش 6 برآورد شد. میزان خطای میانگین مربعات در این روش برای متغیر دما 2/23 و برای متغیر بارندگی 46/94 به‌دست آمد.

روش RBF

نتایج ارزیابی 5 مدل RBF در (جدول 4) نشان داده شده است. براساس‌میزان MBE و RMSE برای متغیر دما، مدل Thin plate spline و برای متغیر بارش Spline with tension دارای خطای کمتری بود. میزان شاخص RMSE برای متغیر دما براساس مدل بهینه 2/19 و برای متغیر بارندگی 47/19 به‌دست آمد.

روش کریجینگ، کریجینگ با روند خارجی و کوکریجینگ

از آنجا که نیم تغییرنمای رسم شده برای دو متغیر دما و بارش، عدم وجود روند و یا به‌عبارت دیگر عدم وجود رابطه خطی مستقیم بین متغیر اصلی و متغیر کمکی در داده‌ها را نشان داد، لذا امکان استفاده از مدل کریجینگ با روند خارجی برای این دو متغیر در محدوده موردمطالعه امکان‌پذیر نبود. در رابطه با مدل کوکریجینگ نیز نتایج بررسی هم‌بستگی مکانی متقابل بین دو متغیر اصلی دما و بارش با متغیر کمکی ارتفاع بر اساس نیم تغییرنمای نمایی، تنها در رابطه با متغیر دما هم‌بستگی متقابل نشان داد، لذا در این مطالعه مدل کوکریجینگ فقط برای متغیر دما استفاده شد. پس از بهینه سازی پارامترهای این مدل، میزان خطای محاسبه شده برای متغیر دما به ترتیب برای RSME و MBE 1/30 و 0/093- به‌دست آمد. نتایج میزان میانگین مربعات خطای درون‌یابی با روش کریجینگ معمولی نیز برای متغیر دما و بارندگی سالانه به‌ترتیب 2/34 و 27/47 محاسبه شد.

ارزیابی مدل‌ها و انتخاب بهترین مدل برای درون‌یابی دما و بارش

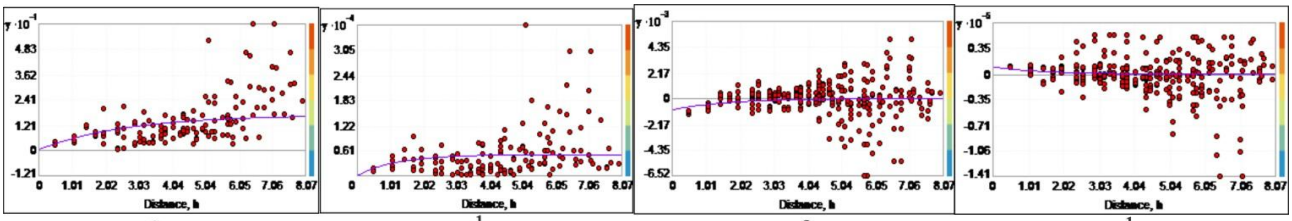
محاسبه میزان میانگین مربعات خطا و میانگین خطای استاندارد با استفاده از روش ارزیابی متقاطع نشان داد که در رابطه با متغیر متوسط دمای سالانه، کمترین میزان خطا مربوط به روش کوکریجینگ و برای متغیر بارندگی روش کریجینگ است. به‌نظر می‌رسد روش کوکریجینگ و IDW به ترتیب بهترین روش‌ها برای درون‌یابی متغیر دمای متوسط سالانه و بارش سالانه باشند (جدول 5).

نقشه توزیع مکانی بارندگی سالانه و متوسط دمای سالانه به‌ترتیب با روش‌های IDW و کوکریجینگ ترسیم شد (شکل 4). همان‌طور که انتظار می‌رود، به‌دلیل پیوسته بودن تغییرات دما، نقشه درون‌یابی شده میانگین دمای سالانه طبقه‌بندی منظمی را نشان می‌دهد. به‌نحوی که از شرق به غرب و شمال به جنوب افزایش دما با نظم مشخصی دیده می‌شود. به‌دلیل گسسته بودن تغییرات بارندگی در مرکز کشور، طبقه‌بندی پیچیده‌تری در رابطه با نقشه درون‌یابی شده تغییرات بارندگی سالانه مشاهده شد (شکل 4).

تعیین بهترین روش درون‌یابی برای داده‌های زیست‌اقلیمی نیز براساس نتایج به‌دست آمده برای دو متغیر اقلیمی دمای متوسط

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.8.5.5]



a b c d

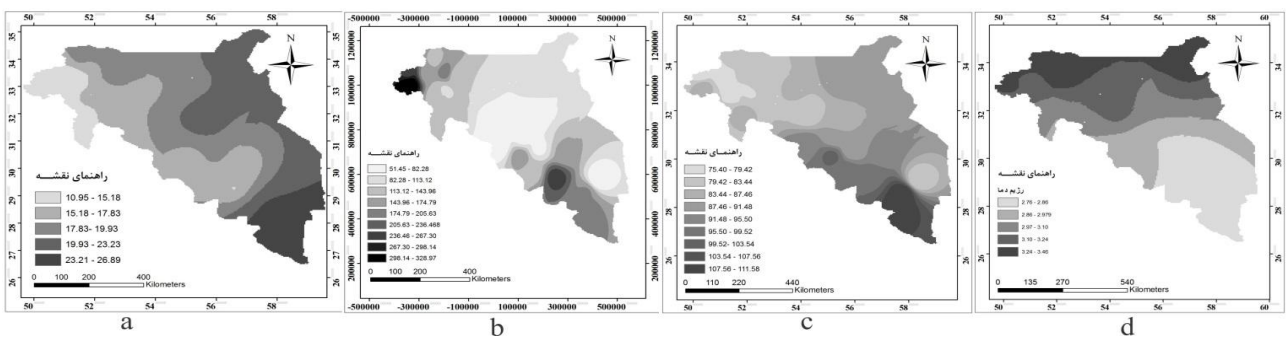
شکل 3. نیم تغییرنما ترسیم شده برای متغیرهای بارندگی (a)، دما (b)، دما و ارتفاع (c) و بارندگی و ارتفاع (d) بر اساس مدل گوسی

جدول 4. نتایج ارزیابی پنج مدل مختلف RBF و تعیین بهترین پارامتر هموارساز

روش	متغیر	مقدار بهینه پارامتر هموار ساز	MBE	RMSE
Regularized spline	دما	3/01	-0/15	2/44
	بارش	4/83	1/48	47/41
Spline with tension	دما	0/0002	-/002	2/24
	بارش	0/0002	4/96	47/19
Multiquadric	دما	0/001	-0/076	2/26
	بارش	0/206	3/06	47/34
Inverse multiquadric	دما	1/07	-0/15	2/46
	بارش	0/73	1/60	47/46
Thin plate spline	دما	6/60	0/013	2/19
	بارش	4/83	1/48	47/41

جدول 5. ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی داده‌های دما و بارش در مرکز کشور

روش	متغیر	MBE	RMSE
کریجینگ	متوسط دمای سالیانه	-0/110	2/34
	بارندگی سالیانه	-1/268	47/27
کوکریجینگ	متوسط دمای سالیانه	-0/093	1/30
	بارندگی سالیانه	غیرقابل انجام	غیرقابل انجام
IDW	متوسط دمای سالیانه	-0/017	2/23
	بارندگی سالیانه	1/23	46/94
RBF	متوسط دمای سالیانه	-0/119	2/19
	بارندگی سالیانه	1/23	47/19



a b c d

شکل 4. نقشه پیوسته توزیع مکانی دمای متوسط سالانه (a)، و بارش سالانه (b)، رژیم بارش (c) و رژیم دما (d) بر اساس روش‌های بهینه برای هر متغیر

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.8.5.5]

متوسط دما و بارش به‌ترتیب روش‌های کوکریجینگ و IDW بهینه‌ترین روش‌ها تعیین شدند.

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی تغییرات اقلیمی در طول زمان تاثیر به‌سزایی در کمی‌سازی اثرات اقلیم بر توزیع پراکنش گونه‌ها در بازه‌های زمانی و در نتیجه در مدیریت و حفاظت از تنوع زیستی دارد (17). براساس فرضیه اتکولوژی مایر، پویایی هر جمعیت در زیستگاه‌های بیابانی اساساً توسط واکنش‌های مستقل آن به محیط و به‌ویژه آب تعیین می‌شود. بر این اساس مایر بیان می‌کند که در اکوسیستم‌های نواحی خشک، آب عامل کنترل کننده فعالیت‌های زیستی گونه‌ها است. بر اساس مدل مفهومی ارائه شده در خصوص پراکنش بیوم‌ها و اجتماعات گیاهی و جانوری، تغییرات فصلی بارندگی عامل تشدیدکننده ویژگی‌های حیاتی جانداران تشکیل‌دهنده بیوم‌های بیابانی است. بر اساس نظریه کنترل ناحیه‌ای الگوهای پراکنش گاما، میزان تنش‌های اقلیمی نواحی بیابانی با تنوع زیستگاه‌های بیابانی ارتباط معنی‌داری دارد.

یکی از مهم‌ترین روش‌های بررسی تاثیر اقلیم بر مدلسازی زیستگاه گونه‌ها استفاده از شاخص‌های زیست‌اقلیمی استخراج شده از داده‌های اقلیمی می‌باشد. با توجه به تاثیر عوامل زیست‌اقلیمی بر بقا و عملکرد زیستی گونه‌ها، بررسی تغییرات زیست اقلیمی می‌تواند به فهم ارتباط بین فاکتورهای زیستی و محیطی و هم‌چنین ارزیابی تنوع‌زیستی کمک کند (5). داده‌های زیست اقلیم غالب مطالعات مدلسازی پراکنش گونه‌ها که در ایران انجام شده است، از منبع جهانی Worldclim استخراج شده است؛ درحالی‌که نحوه محاسبات داده‌های زیست اقلیمی برای بسیاری از محققین کشورسالانه و بارندگی سالانه صورت گرفت. بدین منظور برای تمامی 20 متغیر زیست‌اقلیمی روش‌های توابع شعاع محور، معکوس فاصله وزنی و کریجینگ انجام شد و بهترین روش برای هر متغیر بر اساس میانگین مربعات خطا تعیین شد (جدول 6). همان‌طورکه در این جدول نشان داده شده‌است، برای دو متغیر زیست اقلیمی رژیم دما و رژیم بارش همانند نتایج به‌دست آمده از دو متغیر نامفهوم است. لذا در این مطالعه سعی شد تا در درجه اول نحوه محاسبه متغیرهای زیست‌اقلیمی بیان شود. بدین منظور استخراج 20 متغیر زیست اقلیمی از داده‌های نرمال دما و بارش سالانه 26 ایستگاه سینوپتیک در طی سال‌های 1950 تا 2010 در منطقه مرکزی کشور بیان شد.

بررسی مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که روش‌های درون‌یابی بسته به نوع متغیر و هم‌چنین ویژگی‌های منطقه موردمطالعه، تراکم نقاط اندازه‌گیری و نحوه آرایش آنها دقت متفاوتی را ارائه می‌کنند و نمی‌توان نتایج یک منطقه را به راحتی به مناطق دیگر تعمیم داد. نتایج بررسی نیم‌تغییرنما نشان داد که بهترین مدل ریاضی نیم‌تغییرنما، مدل نمایی است. مدل نمایی، عدم روند در داده‌های دما و بارش را نشان داد که این امر استفاده از روش کریجینگ با روند خارجی را محدود کرد. هم‌چنین مدل نیم تغییرنما نشان داد که متغیر دما، بارش و هم‌چنین اثر متقابل بین دما و ارتفاع هم‌بستگی مکانی وجود دارد. نتایج بررسی هم‌بستگی مکانی متقابل بین بارش و ارتفاع بر اساس مدل نیم‌تغییرنما، هم‌بستگی مکانی ضعیفی بین بارندگی و ارتفاع نشان داد که این موضوع را می‌توان به وسعت زیاد منطقه موردمطالعه و در نتیجه تفاوت در منشأ بارندگی مناطق مختلف محدوده موردمطالعه نسبت داد. نتایج تحلیل رگرسیونی و میانگین مربعات خطا نشان داد که در مورد بارش سالانه، روش IDW بهترین روش درون‌یابی است. اما در مورد داده‌های متوسط دمای سالانه، نتایج تحلیل رگرسیونی و میانگین مربعات خطا، روش کوکریجینگ را به‌عنوان بهترین روش درون‌یابی معرفی کرد. در رابطه با متغیرهای زیست‌اقلیمی نیز بسته به نوع متغیر، روش بهینه برای درون‌یابی داده‌ها در مرکز کشور تعیین شد. برای بسیاری از متغیرهای زیست‌اقلیمی استخراج شده از متغیر دما همانند رژیم دما، حداکثر دمای گرم‌ترین ماه، حداقل دمای سردترین ماه، میانگین دمای گرم‌ترین فصل و دمای میانگین سردترین فصل روش بهینه روش کوکریجینگ تعیین شد که این موضوع نشان از مناسب بودن متغیر ارتفاع به‌عنوان یک متغیر کمکی در درون‌یابی داده‌های زیست‌اقلیمی دما، در مرکز کشور است.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.8.5.5]

جدول ۶. ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی داده‌های زیست‌اقلیمی در مرکز کشور با استفاده از ریشه میانگین مربعات خطا

متغیر	توصیف	Regularized spline	Spline with tension	Multiquadric	Inverse multiquadric	Thin plate spline	کریجینگ	کوکریجینگ	IDW
Bio۲	دامنه میانگین دمای روزانه	۱/۸۶	۱/۸۷	۲/۰۷	۱/۸۴	۲/۶۷	۱/۸۲	۲/۰۸	۱/۸۲
Bio۳	ایزوترمالی (همدمایی)	۳/۴۱	۳/۴۲	۳/۷۶	۳/۳۸	۴/۸۳	۳/۸۳	۳/۸۵	۳/۲۴
Bio۴	دامنه سالانه دما	۱/۷۷	۱/۷۸	۱/۹۵	۱/۷۶	۲/۴۴	۱/۸۱	۱/۸۰	۱/۷۹
Bio۵	حداکثر دمای گرم‌ترین ماه	۲/۸۴	۲/۸۴	۲/۸۲	۲/۸۸	۳/۱۲	۳/۱۳	۱/۴۷	۲/۷۵
Bio۶	حداقل دمای سردترین ماه	۲/۳۹	۲/۲۳	۲/۲۰	۲/۴۶	۲/۱۷	۲/۴۲	۱/۵۵	۲/۱۷
Bio۸	بارش مرطوب‌ترین ماه	۱۱/۰۴	۱۱	۱۱/۰۷	۱۱	۱۱/۲۱	۱۲/۳۵	–	۱۱/۱
Bio۹	بارش خشک‌ترین ماه	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۳۰	۰/۲۹	۰/۳۷	۰/۳۳	–	۰/۳۰
Bio۱۰	رژیم دما (انحراف معیار)	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۳۴
Bio۱۱	رژیم دما (ضریب تغییرات)	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۱۰
Bio۱۲	رژیم بارش	۶/۷۱	۶/۷۵	۷/۰۸	۶/۵۶	۸/۶۲	۷/۱۶	–	۶/۵۵
Bio۱۳	بارش سردترین فصل	۲۶/۸۲	۲۷/۱۴	۲۷/۰۱	۲۶/۶۶	۲۷/۳۸	۳۱/۰۵	–	۲۸/۷۴
Bio۱۴	بارش خشک‌ترین فصل	۲/۰۳	۱/۹۹	۱/۹۸	۲/۰۵	۲/۰۳	۲/۱۲	–	۲/۱۵
Bio۱۵	میانگین دمای گرم ترین فصل	۲/۶۶	۲/۴۴	۲/۴۷	۲/۷۱	۲/۳۷	۲/۸۸	۱/۴۹	۲/۵
Bio۱۶	میانگین دمای سردترین فصل	۲/۱۵	۲/۰۶	۲/۰۱	۲/۱۶	۲/۰۲	۲/۱۹	۱/۳۱	۱/۹۶
Bio۱۷	بارش گرمترین فصل	۳/۷۴	۳/۷۴	۳/۶۷	۳/۷۸	۴/۱۳	۳/۶۴	–	۳/۷۸
Bio۱۸	بارش مرطوب‌ترین فصل	۳۰	۳۰/۰۳	۳۰/۲۹	۲۹/۹۳	۳۱/۰۷	۳۳/۴	–	۳۰/۳۵
Bio۱۹	میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل	۲/۳۴	۲/۳۱	۲/۲۴	۲/۴۰	۲/۵۷	۲/۴۵	۲/۴۱	۲/۱۱
Bio۲۰	میانگین دمای خشک‌ترین فصل	۳/۵۳	۳/۵۰	۳/۴۴	۳/۵۵	۳/۶۶	۳/۹۴	۳/۸۸	۳/۲۷

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.8.5.5]
[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-10]

روش IDW تا کنون در بسیاری از مطالعات به‌عنوان روش مناسب جهت درون‌یابی داده‌های بارش معرفی شده‌است (7 و 18). از آنجا که روش IDW نیاز به ترسیم نیم‌تغییرنما ندارد، لذا استفاده از این روش به‌دلیل کاربرد آسان، رایج‌تر می‌باشد. زمانی که تعداد نقاط مشاهده (ایستگاه‌ها) کمتر از 30 باشد، استفاده از روش IDW بیشتر توصیه می‌شود (22). در مناطق مرکزی کشور به دلیل اندک بودن تعداد ایستگاه‌های هواشناسی، استفاده از این روش در درون‌یابی داده‌های اقلیمی توصیه می‌شود. با بهینه سازی سه پارامتر توان فاصله، شعاع همسایگی و فاصله همسایگی می‌توان دقت این روش را در درون‌یابی داده‌های اقلیمی و زیست‌اقلیمی افزایش داد. در این مطالعه توان بهینه برای درون‌یابی داده‌های بارش سالانه 3/8 به‌دست آمد که این امر نشان از دامنه تغیرات بالای بارندگی در محدوده موردمطالعه است. لینچ (16) روش‌های تبدیل بارندگی روزانه نقطه‌ای در آفریقای جنوبی را بررسی کرد و روش معکوس وزنی فاصله را توصیه نمود. انصافی مقدم و رفیعی (1388) روش IDW را برای پهنه‌بندی خشکسالی‌های اقلیمی به‌عنوان بهترین روش معرفی کردند. روش درون‌یابی کوکریجینگ نیز تا کنون در بسیاری از مطالعات به‌عنوان روش بهینه برای درون‌یابی داده‌های اقلیمی معرفی شده‌است (11و 21). از آنجا که در محدوده موردمطالعه هم‌بستگی بالایی بین دما و ارتفاع مشاهده شد، لذا استفاده از متغیر کمکی ارتفاع و روش کوکریجینگ می‌تواند سبب افزایش دقت در درون‌یابی داده‌های زیست‌اقلیمی دما شود. تعیین مدل نمایی برای نیم تغییرنما در این مطالعه با نتایج پونیاواردنا و کولاسیری (20) (1998) که به بررسی برآورد بارندگی در نواحی خشک سریلانکا پرداختند، تطابق داشت. نتایج مطالعه گوورتز (11) نشان داد که استفاده از روش کوکریجینگ برای مناطقی که ضریب هم‌بستگی بین دما و ارتفاع زیاد باشد، مناسب است. که این موضوع با نتایج این مطالعه تطابق داشت.

هو و ژیانگ (15) در مطالعه‌ای به مدلسازی زیستگاه آهو در کشور چین پرداختند که در این مطالعه علاوه بر متغیرهای محیطی، 19 متغیر زیست‌اقلیمی نیز وارد مدل شد. نتایج این مطالعه نشان داد که از پنج متغیر مهم تاثیرگذار بر پراکنش گونه، چهار متغیر زیست‌اقلیمی حداکثر دمای گرم‌ترین ماه، میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل، میانگین دمای گرم‌ترین فصل و ایزوترمالیتی دخالت داشته‌است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، می‌توان با استخراج و درون‌یابی داده‌های زیست‌اقلیمی نقشه‌های مکانی پیوسته این متغیرها را برای نقاط مرکزی کشور تولید و در مدل‌های مختلف توزیع پراکنش گونه‌های زیست‌بوم‌های مرکزی کشور به‌کار گرفت.

منابع مورد استفاده

1. انصافی مقدم، ط. و ی. ی. رفیعی. 1380. مقایسه روش های درون‌یابی برای تعیین کمترین خطای تخمین زده شده. مطالعه موردی دما و تبخیر. *مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی* 8 (12): 78-63
2. فاطمی قیری، س. و ح. یزدان پناه. 1391.ارزیابی روش های مختلف میان‌یابی به‌منظور برآورد داده های بارش استان اصفهان. *فصلنامه علمی پژوهشی فضای جغرافیایی*. 12(40): 63- 46
3. نادی، م.، م. جامعی، ج. بذرافشان. و س. جنت رستمی. 1391. ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه (مطالعه‌ی موردی :استان خوزستان). *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی* 44(4): 130- 117.
4. Austin, M. P. 2002. Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statisticalmodeling. *Ecological Modelling* 157: 101-118.
5. Bailey, R. G. 1985. Ecological regionalization in Canada and the United States. *Geoforum* 16: 265–275.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.8.5.5]

6. Beaumont, L. J., L. Hughes. and M. Poulsen. 2005. Predicting species distributions: use of climatic parameters in BIOCLIM and its impact on predictions of species, current and future distributions. *Ecological Modelling* 186: 250–69.
7. Buishand, T. A., J. J. Beersma, R. Sluiter. and T. Kroon. 2008. Definitie studie raster data meteorologie. De Bilt, KNMI / RWS Waterdienst
8. Busby, J. R. 1991. BIOCLIM: a bioclimatic analysis and prediction system. PP. 64-68. In: Margules, C. R. and M. P. Austin (Eds), Nature Conservation. CSIRO., Australia.
9. Carpenter, T. P., M. L. Franke, V. Jacobs. and E. Fennema. 1998. A longitudinal study of invention and understanding in children's multidigit addition and subtraction. *Journal for Research in Mathematics Education* 29: 3–20.
10. Friedman, J. H. 2002. Stochastic gradient boosting. *Computer Statistic Data Analysi*s 38: 367–378. 11. Goovaerts, P. 2000. Eostatistics for Natural Resources Evaluation. Oxford University Press, New York.
12. Goovaerts, P. 2000. Geostatistical approach for incorporating elevation into spatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydrology* 228:113–129.
13. Herkt, M. 2007. Modelling habitat suitability to predict the potential distribution of erhard's wall lizard *podarcis erhardii* on Crete. PhD. Thesis, University of Southampton (UK).
14. Hirzel, A. H., J. Hausser, D. Chessel. and N. Perrin. 2002. Ecologicalniche factor analysis: How to compute habitat-suitability maps without absence data? *Ecology* 83: 2027–2036.
15. Hu, J. and Z. Jiang. 2010. Predicting the potential distribution of the endangered Przewalski's gazelle. *Journal of Zoology* 282: 54–63.
16. Lynch, S. D. 2001. Converting point estimates of daily rainfall onto a rectangular grid. PHD. Thesis, Department of Agricultural Engineering, The University of Natal. South Africa.
17. O'Donnell, M. S. and D. A. Ignizio. 2012. Bioclimatic predictors for supporting ecological applications in the conterminous united states. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.
18. Perry, M. and D. Hollis. 2005. The generation of monthly gridded datasets for a range of climatic variables over the UK. *International Journal of Climatology* 25: 1041–1054.
19. Phillips, S. J. and M. Dudık. 2004. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31: 161–175.
20. Punyawordena, B. V. R. and D. Kulasiri. 1998. Spatial interpolation of rainfall in the dry zone of Srilanka. *Journal of the National Science Council of Sri Lanka* 26: 247–262.
21. Schuurmans, J. M., M. F. B. Bierkens. and E. J. Pebesma. 2007. Automatic prediction of high-resolution daily rainfall fields for multiple extents: the potential of operational radar. *Journal of Hydrometeorology* 8: 1204 - 1224.
22. Sluiter, R. 2009. Interpolation methods for climate data. literature review.KNMI Intern rapport; IR 2009-04.Netherlands.
23. Smith, M. J., M. F. Goodchild. and P. A. Longley. 2007. Geospatial analysis – a comprehensive guide to principles, techniques and software tools. Leicester, Matador. Troubador Publishing Ltd, 516p.
24. Stabach, J. A., N. Laporte. and W. Olupot. 2009. Modeling habitat suitability for grey crowned-cranes (*Balearica regulorum gibbericeps*) throughout Uganda. *International Journal of Biodiversity and Conservation* 1: 177–186

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.8.5.5]