

بررسی توزیع مکانی سرعت باد با استفاده از روش‌های زمین‌آماري و کلاسه‌بندی آن بر اساس روش تحلیل خوشه‌ای

صفر معروفی^{۱*}، صبا سقایی^۲ و فرناز ارشادفتح^۳

^۱- نویسنده مسئول، استاد گروه منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا. smarofi@yahoo.com

^۲ - دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه بوعلی سینا.

^۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه بوعلی سینا.

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۶

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۱۱

چکیده

وزش باد باعث جابجایی دما و رطوبت گردیده و میزان تبخیر را افزایش می‌دهد. روش‌های زمین‌آماري با توجه به دقت بالا و توانمندی‌هایی همچون کاهش نمونه‌برداری، می‌توانند به‌عنوان یک راهکار مناسب برای مشخص نمودن وضعیت مکانی سرعت باد در منطقه مورد استفاده قرار گیرند. در پژوهش حاضر، اولاً مقایسه و ارزیابی روش‌های درون‌یابی زمین‌آماري در تخمین سرعت باد و سپس کلاسه‌بندی مناطق مختلف استان خوزستان با توجه به سرعت باد، از طریق روش تجزیه خوشه‌ای صورت گرفت. بدین منظور از روش مجذور فاصله اقلیدسی برای محاسبه درجه همانندی ایستگاه‌ها، و از روش وارد برای ادغام ایستگاه‌ها استفاده گردید. نتایج نشان داد که نواحی جنوبی استان دارای حداکثر مقادیر سرعت باد در ماه‌های سرد سال (نوامبر، دسامبر، ژانویه و فوریه) می‌باشند و همچنین در تمامی ماه‌های سال شمالی استان از سرعت باد کمتری نسبت به سایر نواحی برخوردار هستند. ضمناً نه نقشه سرعت باد بر اساس کلاسه‌بندی خوشه‌ای برای منطقه تهیه گردید. نتایج این پژوهش می‌تواند به منظور مکان‌یابی محل اجرای سیستم‌های آبیاری بارانی مورد استفاده قرار گیرد.

کلید واژه‌ها: سرعت باد، فاصله اقلیدسی، روش وارد، زمین‌آمار، خوزستان.

Evaluating Spatial Distribution of Wind Speed Using Geostatistical Methods and Cluster Analyze

S. Marofi^{1*}, S. Saghaei² and F. Ershadfath³

1* - Corresponding Author, Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Iran.

2- M.Sc. of Water Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Iran.

3- M.Sc. of Water Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Iran.

Received: 1 January 2014

Accepted: 26 January 2016

Abstract

Wind causes temperature and humidity displacement and also increases evaporation rate. Geostatistical methods because of their high accuracy in local estimation of geographical parameters and capability on reducing sampling number are suitable methods to determine the spatial interpolation of hydro-meteorological parameters such as wind speed. In this study, firstly, geostatistical interpolation methods were compared to estimate wind speed. Secondly different parts of Khozestan province were classified based on the wind speed, using cluster analysis. Finally,

squared Euclidean Distance method was applied to determine the degree of similarity of stations. And also, Ward method was used for merging the stations. The results indicated that the maximum wind velocity occurred in the southern areas during cold months of the year and speed of wind in the northern parts of the study area was less than the other parts all over the year. Furthermore, 9 wind speed maps were developed based on stations cluster classification. The results of this research can be applied in order to identify the suitable places for sprinkle irrigation usage.

Keywords: Wind speed, Euclidean distance, Ward method, Geostatistics, Khozestan.

مقدمه

مجاور و معلوم، درون‌یابی می‌گویند. این فرآیند به دلیل محدودیت داده‌های نقطه‌ای و ضرورت تدوین نقشه از کل یک پهنه، به منظور تهیه نقشه‌های هم‌ارزش (هم‌باران، هم‌دما و غیره) انجام می‌گیرد (عساکره، ۱۳۸۷). درون‌یابی به معنای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به داده‌های پهنه‌ای است (تسونگ^۶، ۲۰۰۴). شوچی و کیتارا (۲۰۰۶) به بررسی قابلیت کاربرد روش‌های زمین‌آماری به منظور تحلیل مکانی و زمانی سرعت باد در نواحی مرکزی ژاپن پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که روش کریجینگ با مدل‌های نمایی و کروی مناسب‌ترین روش‌ها برای تحلیل مکانی سرعت باد در منطقه مذکور بوده و همچنین سرعت باد در روز بیشتر از شب می‌باشد.

هاکر و همکاران^۷ (۲۰۰۷) با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی مسیر وزش طوفان‌های اوکلاهما را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که مسیر وزش حداکثر طوفان‌ها، در شرق اوکلاهما بوده و با یک شیب به طرف غرب کاهش یافته است. فرج‌زاده و رازی قلاوند (۱۳۸۹) به بررسی توزیع زمانی و مکانی طوفان‌ها و بادهای شدید طی یک دوره آماری ۴۰ ساله (۲۰۰۵-۱۹۶۶) در ۳۳ ایستگاه سینوپتیک در گستره ایران پرداختند، نتایج این تحقیق نشان داد که ماه مارس بیشترین میانگین روزهای طوفانی را با ۱۲ روز در سال داشته و ایستگاه زابل که شرایط متفاوتی با سایر نقاط کشور دارد در ماه جولای بالاترین میانگین روزهای طوفانی را با ۲۶ روز در ماه دارا می‌باشد.

هروادا سالا و همکاران^۸ (۲۰۱۰) با کاربرد روش‌های درون‌یابی و زمین‌آماری به تحلیل رفتار رژیم باد در بازه زمانی کوتاه مدت، متوسط و بلند مدت در کمپ دانشگاه پلی تکنیک کاتالونیا واقع در بارسلونا پرداختند. نتایج نشان داد روش‌های زمین‌آمار به منظور شبیه‌سازی سرعت و انرژی باد کارآیی لازم را دارند و می‌توانند به عنوان روش‌هایی مناسب برای مدل‌سازی مکانی این پارامتر به کار گرفته شوند.

قهرمان و قره‌خانی (۱۳۸۹) در پژوهشی روند تغییرات زمانی سرعت باد را در شبکه‌ای متشکل از ۴۰ ایستگاه سینوپتیک ایران

اطلاع از پراکنش مکانی سرعت باد در مطالعاتی از قبیل، مکان‌یابی محل نیروگاه‌های بادی، احداث ساختمان‌ها، برآورد خسارت وارده به بناها و محاسبات نیاز آبی گیاهان ضروری می‌باشد (شوچی و کیتارا^۱، ۲۰۰۶). برای استفاده مناسب و کارا از انرژی باد، نیاز است تا ویژگی‌های آماری، تداوم، پراکنش مکانی و مقادیر سرعت باد در نواحی که امکان اندازه‌گیری ایستگاهی وجود ندارد، معلوم شود. سرعت باد یکی از مؤلفه‌های مهم در معادله‌های ترکیبی برآورد تبخیر-تعرق می‌باشد. وجود هرگونه روند تغییرات در سرعت باد بر میزان نیاز آبی گیاهان و نیز انتخاب نوع روش آبیاری مناسب مؤثر خواهد بود (ایرماک و همکاران^۲، ۲۰۰۶؛ گونگ و همکاران^۳، ۲۰۰۶).

متغیر سرعت باد به‌ندرت در بین متغیرهای هواشناسی به منظور کشف تغییرات آب و هوایی مورد مطالعه قرار گرفته است (الکساندرسون و همکاران^۴، ۲۰۰۰). تغییر در توزیع سرعت باد در قرن بیستم در بسیاری از کشورها مشاهده شده است و اگر این تغییرات پایدار باشند، باعث بروز مشکلات فراوان اقتصادی می‌گردند (بارتل می و پرپور^۵، ۲۰۰۱). داده‌های سرعت باد به‌طور مستقیم قابل اندازه‌گیری بوده و اگر فرآیند اندازه‌گیری به شکلی دقیق صورت گیرد، با موضوع کیفیت داده‌ها مشکلی وجود نخواهد داشت، این مهم مستلزم افزایش تعداد ایستگاه‌های اندازه‌گیری می‌باشد در حالی که تراکم زیاد ایستگاه‌های سینوپتیک به‌منظور اندازه‌گیری پارامتر سرعت باد موجب افزایش وقت و هزینه‌های اندازه‌گیری می‌گردد. با توجه به آنچه بیان گردید انتخاب روشی مناسب برای برآورد این پارامتر در نقاط فاقد داده امری اجتناب‌ناپذیر است.

یکی از روش‌های تخمین توزیع مکانی متغیرهای علوم زمینی، روش‌های زمین‌آمار می‌باشند. روش‌های زمین‌آمار می‌توانند برای تخمین توزیع باد به کار گرفته شوند (شوچی و کیتارا، ۲۰۰۶). به فرآیند برآورد ارزش‌های کمی، برای نقاط بدون داده، به کمک نقاط

- 1- Shoji and Kitaura
- 2- Irmak *et al.*
- 3- Gong *et al.*
- 4- Alexandersson *et al.*
- 5- Barthelmie and Pryor

- 6- Tssung
- 7- Hokers *et al.*
- 8- Hervada-Sala *et al.*

برای مطالعه وضعیت باد در استان خوزستان از آمار و اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیک استان مذکور که دارای ۱۴ سال آمار بودند استفاده گردید. با توجه به سال احداث ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه، با افزایش طول دوره مشترک آماری، تعداد کمتری از این ایستگاه‌ها در تولید نقشه نهایی وارد می‌شوند که این امر سبب کاهش دقت کار می‌گردد. بدین منظور از ایستگاه دهلران واقع در استان ایلام در نزدیکی مرز استان خوزستان استفاده گردید. پس از انتخاب دوره مشترک آماری (سال‌های ۲۰۰۹-۱۹۹۴)، خال‌های آماری بر اساس داده‌های سرعت باد در ایستگاه‌های مجاور که بیشترین همبستگی آماری را با ایستگاه مجهول داشتند با استفاده از نرم افزار اس پی اس اس، بازسازی گردید. به منظور مشخص‌سازی روش مناسب پهنه‌بندی پارامتر سرعت باد منطقه در دوره آماری مورد مطالعه، میانگین هر ماه برای تمامی ایستگاه‌ها محاسبه گردید. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی در تحقیق حاضر در شکل (۱) ارائه شده است.

بررسی ساختار مکانی داده‌ها

در زمین‌آمار فرض بر این است که وابستگی بین نمونه‌ها را می‌توان به صورت مدل ریاضی تحت عنوان واریوگرام ارائه نمود (حسینی‌پاک، ۱۳۷۷). شکل (۲) ساختار کلی یک واریوگرام را نشان می‌دهد.

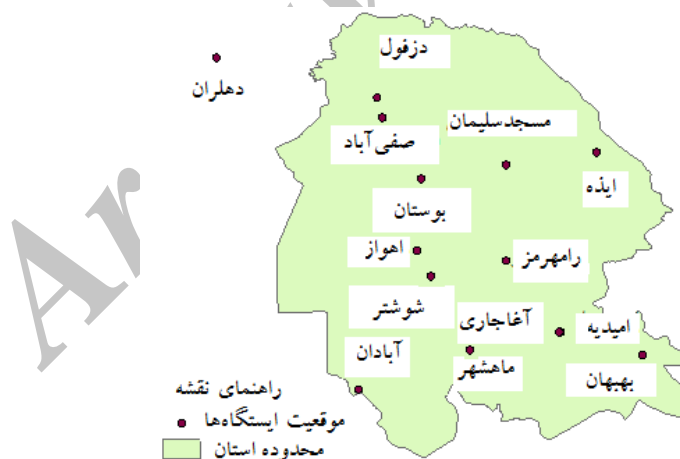
در بازه زمانی ۲۰۰۵-۱۹۷۵ بررسی نمودند. نتایج حاصله نشان داد که روند افزایشی سرعت باد در فصول زمستان و تابستان، به ترتیب بیشتر و کمتر از سایر فصول بوده است. بیشترین روند کاهشی در فصل پاییز و کمترین روند کاهشی در فصل تابستان مشاهده گردید. بیشترین روند تغییرات کاهشی سرعت باد در اقلیم نیمه خشک معتدل مشاهده گردید.

جمع‌بندی تحقیقات قبلی نشان می‌دهد که اکثر پژوهش‌های صورت گرفته روی سرعت باد، مبتنی بر تغییرات زمانی بوده‌اند و در زمینه تغییرات مکانی سرعت باد، در سطح جهان و کشور پژوهش‌های اندکی صورت گرفته است. بنابراین هدف از تحقیق حاضر تعیین و ارزیابی مناسب‌ترین روش درون‌یابی از میان روش‌های زمین‌آمار کریجینگ و کوکریجینگ با کاربرد روش تجزیه خوشه‌ای و کلاسه‌بندی پارامتر سرعت باد برای هر یک از ۱۲ ماه سال در استان خوزستان در دوره آماری ۲۰۰۸-۱۹۹۴ می‌باشد.

مواد و روش‌ها

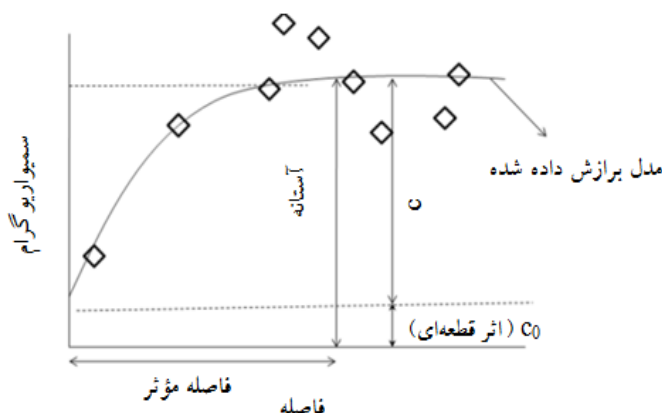
موقعیت جغرافیایی منطقه

استان خوزستان در جنوب‌غربی ایران بین مختصات جغرافیایی ۴۷/۵۳ تا ۵۰/۶۵ درجه شمالی و از ۲۹ تا ۳۳ درجه شرقی واقع شده است. مساحت این استان ۶۳۲۱۳ کیلومتر مربع و به‌طور نسبی ۳/۹ درصد از کل مساحت کشور است.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی

معروفی و همکاران: بررسی توزیع مکانی سرعت باد با استفاده از روش‌های...



شکل ۲- ساختار کلی یک واریوگرام (زهتاییان و همکاران، ۱۳۸۹)

If $h \leq 0$ و If $h > 0$ $\gamma(h) = c$

$$\gamma(h) = c \left[1 - \frac{2}{\pi} \cos^{-1} \left(\frac{h}{a} \right) + \frac{2h}{\pi a} \sqrt{1 - \frac{h^2}{a^2}} \right] \quad (1)$$

پارامترهای c و a به ترتیب، عبارتند از حد آستانه و دامنه (محمدی، ۱۳۸۵).

مدل کروی^۵

مدل کروی رایج‌ترین مدل نیم‌تغییرنما می‌باشد که معادله آن به صورت معادله (۲) است:

If $h \leq 0$ و If $h > 0$ $\gamma(h) = c$

$$\gamma(h) = c \left[\frac{3h}{a} + 0.5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad (2)$$

مدل نمایی^۶

این مدل به‌طور جانبی به آستانه میل می‌کند:

$$\gamma(h) = 1.5 \frac{h}{a} - 0.5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \quad (3)$$

مدل گوسی^۷

مدل گوسی، یک مدل انتقالی است که برای پدیده‌های پیوسته به‌کار می‌رود و معادله آن به صورت زیر است:

ویژگی‌های واریوگرام

دامنه تأثیر: فاصله‌ای روی محور افقی که در آن واریوگرام به حد ثابتی می‌رسد و به حالت خط افقی نزدیک می‌شود، دامنه یا شعاع تأثیر (R) نامیده می‌شود. بدیهی است که دامنه تأثیر بزرگتر دلالت بر پیوستگی مکانی گسترده‌تری را دارد (حسنی‌پاک، ۱۳۷۷).

سقف یا آستانه واریوگرام (C): مقدار ثابتی که واریوگرام در دامنه تأثیر به آن می‌رسد، آستانه گفته می‌شود. مقدار آستانه برابر واریانس کل تمام نمونه‌هایی است که در محاسبه واریوگرام به‌کار رفته‌اند (حسنی‌پاک، ۱۳۷۷).

اثر قطعه‌ای (C_0): مقدار واریوگرام در مبداء مختصات را اثر قطعه‌ای گویند. در حالت ایده‌آل مقدار اثر قطعه‌ای باید صفر باشد، اما در بیشتر مواقع بزرگ‌تر از صفر است. در این حالت جزء تصادفی و یا بدون ساختار متغیر ظاهر می‌شود. مؤلفه دارای ساختار که برابر با تفاضل مقدار آستانه و اثر قطعه‌ای است، تابع موقعیت فضایی داده‌ها، یعنی فاصله و جهت قرارگیری آن‌ها است و بیانگر تغییراتی می‌باشد که علت آن را می‌توان در خصوصیات خود متغیر مکانی یافت. مؤلفه تصادفی (C_0)، فاقد ساختار می‌باشد (محمدی، ۱۳۸۵).

برخی از مدل‌های تنوریک واریوگرام

مدل دایره‌ای^۴

معادله یک واریوگرام مدور به صورت معادله (۱) می‌باشد:

5- Spherical Model
6- Exponential Model
7- Gaussian Model

1- Range
2- Sill
3- Nugget Effect
4- Circular Model

که در آن، $Z^*(X_i)$: مقدار برآورد شده برای نقطه x_i ، λ_i : وزن مربوط به متغیر Z ، λ_k : وزن مربوط به متغیر کمکی Y ، $Z^*(X_i)$: مقدار مشاهده شده متغیر اصلی و $Y(X_i)$: مقدار مشاهده شده متغیر کمکی است.

تحلیل خوشه‌ای^۷

تحلیل خوشه‌ای یکی از مهم‌ترین روش‌هایی است که به‌طور گسترده و فزاینده برای تجزیه و تحلیل داده‌های چند متغیره استفاده می‌شود (کتترینگ^۸، ۲۰۰۶). از آنجا که داده‌های اقلیمی حاوی اطلاعاتی در باره پراکندگی مکانی و تغییرات زمانی برای هر عنصر اقلیمی است، لذا می‌توان با پردازش داده‌های اقلیمی مبادرت به تفکیک مکانی و ایجاد قلمروهای همگن و همچنین گروه‌های زمانی مشابه نمود. فن انجام این کار، به‌کارگیری روش آماری تحلیل خوشه‌ای است که روشی بسیار مناسب و ایده‌آل برای پهنه‌بندی مکانی یا دسته‌بندی زمانی عناصر اقلیمی است (منتظری، ۱۳۹۰).

تحلیل خوشه‌ای مجموعه‌ای از داده‌ها را بر حسب اندازه همانندی میان آن‌ها خوشه‌بندی می‌کند. این روش برای کاهش داده‌ها و پیدا کردن گروه‌های واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین هر خوشه گروهی است که اجزای تشکیل‌دهنده آن بیشترین همانندی را با یکدیگر دارند (مسعودیان، ۱۳۸۴). نتایج حاصل از این تحلیل‌ها همواره به‌صورت یک نمودار به نام نمودار درختی^۹ نشان داده می‌شود. برای انجام این کار، دو گام اساسی بایستی پیموده شود: گام اول محاسبه درجه همانندی ایستگاه‌ها با یکدیگر و گام دوم چگونگی ادغام ایستگاه‌ها برحسب درجه همانندی آن‌ها با یکدیگر است. بسته به روشی که برای محاسبه درجه همانندی و چگونگی ادغام انتخاب می‌کنیم، یک تحلیل خوشه‌ای را می‌توان به شیوه‌های گوناگونی اجرا کرد. برای محاسبه درجه همانندی روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است که یکی از آن‌ها فاصله اقلیدسی^{۱۰} است. اگر X_r بردار مشاهدات روی Γ و X_c بردار مشاهدات روی S باشد، در این صورت فواصل یاد شده در بالا به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$d_{r,s}^2 = (x_r - x_s)(x_r - x_s)' \quad (7)$$

$$\gamma(h) = 1 - \exp\left(-\frac{3h^2}{a^2}\right) \quad (4)$$

روش‌های زمین آماری

روش کریجینگ

کریجینگ یک روش تخمین زمین آماری است که بر منطق میانگین متحرک وزن دار استوار می‌باشد. می‌توان گفت این روش، بهترین تخمین‌گر خطی نارایب^۱ است و در قالب رابطه زیر بیان می‌شود:

$$Z^*(h) = \sum_{i=1}^n w_i z(x_i) \quad (5)$$

در این رابطه، $Z^*(h)$: مقدار متغیر مکانی برآورد شده، $Z(x_i)$: مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطه X_i و W_i : وزن آماری است که به نمونه X_i نسبت داده می‌شود و بیانگر اهمیت نقطه i ام در برآورد است (حسینی پاک، ۱۳۷۷). شرط استفاده از این تخمین‌گر، آن است که متغیر توزیع نرمال داشته باشد.

انواع روش‌های کریجینگ: کریجینگ معمولی^۲، کریجینگ ساده^۳، کریجینگ جامع^۴ و کریجینگ گسسته^۵.

از روش کریجینگ ساده زمانی می‌توان استفاده نمود که میانگین داده‌ها معلوم و در صورت مجهول بودن میانگین، روش کریجینگ معمولی مناسب می‌باشد. کریجینگ عام نیز در صورت وجود روند در داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (ثقفیان و همکاران، ۱۳۹۰). کریجینگ گسسته یک تخمین‌گر غیرخطی است و در شرایطی که توزیع داده‌ها پیچیده باشد و برازش آن‌ها توسط توزیع‌های معمول آماری (نرمال و یا لوگ نرمال) دشوار باشد، به‌کارگرفته می‌شود (زهتابیان و همکاران، ۱۳۸۹).

کوکریجینگ^۶: کریجینگ توسعه یافته‌ای است که در آن متغیرهای ثانویه نیز به‌کاربرده می‌شود. البته شرط آن داشتن حداقل ارتباط و همبستگی معنی‌دار آماری است. معادله کوکریجینگ به صورت رابطه (۶) می‌باشد (محمدی، ۱۳۸۵).

$$Z^*(x_i) = \sum_{e=1}^n \lambda_{ei} \cdot x_i + \sum_{k=1}^n \lambda_{ik} \cdot y_k(x_k) \quad (6)$$

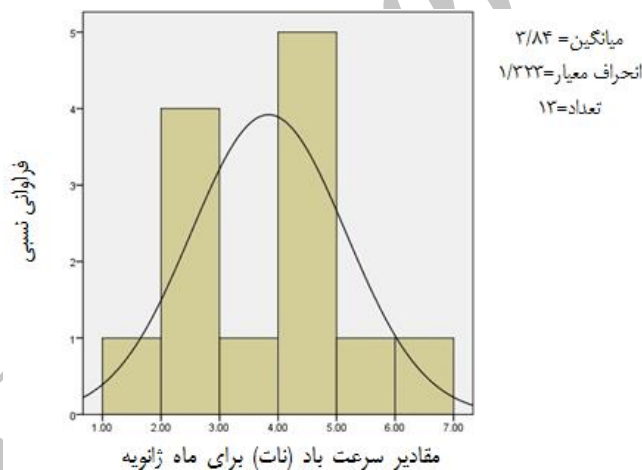
- 1- Best Linear Unbiased Estimator
- 2- Ordinary Kriging
- 3- Simple Kriging
- 4- Universal Kriging
- 5- Disjunctive Kriging
- 6- Co-Kriging

- 7- Cluster Method
- 8- Kettenring
- 9- Dandrogram Method
- 10- Squared Euclidean Distance Method

معروفی و همکاران: بررسی توزیع مکانی سرعت باد با استفاده از روش‌های...

جدول ۱- مقادیر برخی از آماره‌های سالانه سرعت باد (نات) برای دوره آماری مورد مطالعه

کشی‌دگی	چولگی	کمینه	بیشینه	انحراف معیار	میانگین	ایستگاه	
						نام	شماره
-۰/۵	۰/۴	۱/۴۷	۸/۵۵	۱/۵۷	۴/۳	اهواز	۱
-۰/۶	۰/۵۵	۰/۴۶	۸/۴۵	۱/۸۱	۳/۵۷	ایذه	۲
-۰/۰۱۸	۰/۵۸	۱/۰۵	۹/۰۶	۱/۶۲	۴/۰۹	شوشتر	۳
-۰/۳۱	۰/۷۸	-۰/۱۹	۵/۱۵	۱/۲	۱/۸	صفی‌آباد	۴
۰/۳۲	۰/۴۳	۰/۵۹	۵/۵۳	۱/۰۲	۲/۵	دزفول	۵
-۰/۵۹	-۰/۰۷۱	۲/۰۳	۱۱/۱۹	۲/۱۲	۶/۱۱	بستان	۶
-۰/۴۷	۰/۳۷	۱/۷۱	۱۲/۳۵	۲/۲۸	۵/۸۹	بندرماهشهر	۷
-۰/۶۳	۰/۵۸	۰/۵۴	۶/۷۳	۱/۵۲	۲/۹۱	مسجدسلیمان	۸
-۰/۱۸	۰/۶۴	-۰/۷۷	۷/۰۲	۱/۲۹	۲/۹۹	رامهرمز	۹
-۰/۹۶	۰/۳۰۸	-۰/۷۱	۱۰/۳۸	۲/۳۲	۴/۵	آغاچاری	۱۰
۰/۹۴	۰/۹۸	۰/۴۸	۶/۸۸	۱/۲۹	۲/۴۹	بهبهان	۱۱
-۰/۸۴	۰/۳۴	۱/۲۱	۱۰/۱۰	۲/۲۱	۴/۹۳	امیدیه	۱۲
-۰/۲۸	۰/۶۰۷	۱/۰۹	۱۱/۷۹	۲/۴۵	۴/۸۴	آبادان	۱۳
-۱/۱۸	۰/۰۴	۰/۶۵	۸/۷	۲/۱۵	۴/۲۲	دهلران	۱۴



مقادیر سرعت باد (نات) برای ماه ژانویه

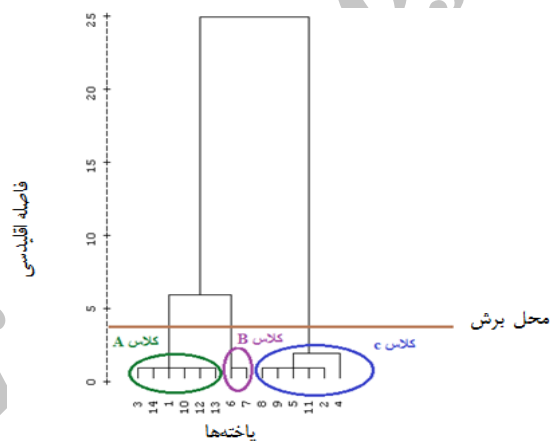
شکل ۳- هیستوگرام داده‌ها برای ماه ژانویه

در مطالعه حاضر از روش مجذور فاصله اقلیدسی برای محاسبه درجه همانندی ایستگاه‌ها و از روش وارد برای ادغام ایستگاه‌ها استفاده گردیده است.

در مطالعات اقلیمی غالباً برای محاسبه درجه ناهمانندی (همانندی)، از فاصله اقلیدسی استفاده می‌شود. پس از اندازه‌گیری درجه همانندی باید شیوه‌هایی برای ادغام مقادیری که بالاترین همانندی را نشان داده‌اند، به کار برد. در مطالعات اقلیم‌شناسی عمدتاً از روش ادغام وارد^۱ استفاده می‌شود، زیرا در این صورت میزان واریانس درون گروهی به حداقل و همگنی گروه‌های حاصله به حداکثر می‌رسد (مسعودیان، ۱۳۸۴).

جدول ۲- نتایج مربوط به برازش مدل های کریجینگ و کوکریجینگ برای ماه ژانویه

ردیف	مدل	مدل تئوریک واریوگرام	میانگین خطای مطلق (نات)	آستانه واریوگرام/اثر قطعه ای	ضریب تعیین	ریشه دوم میانگین مربع خطا (نات)	دامنه تأثیر (متر)	اثر قطعه ای	آستانه واریوگرام
کوکریجینگ	معمولی	نمایی	۱	-/۵۶	۰/۱۸	۱/۲۳	۱/۲	۱/۱۴	۱/۴۷
	ساده	گوسی	۰/۹۱	-/۵۴	۰/۴۱	۱۱/۱	۱/۱	-/۸۳	۱/۰۱
	عمومی	کروی	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۴۱	۱/۲۳	۱/۲	-/۱۴	۱/۴۷
	گسسته	نمایی	۰/۷۷	-/۴۸	۰/۶۲	۰/۹۸	۱/۱	۰/۶	-/۵۷
	معمولی	گوسی	۰/۸۲	.	۰/۵۱	۱/۰۲	-/۶۴	۱/۶۱	.
	ساده	کروی	۰/۸۴	.	۰/۵۲	۱/۰۴	-/۶۶	۱/۶۹	.
کریجینگ	عمومی	نمایی	۰/۸۲	.	۰/۵۱	۱/۰۵	-/۶۴	۱/۶۱	.
	گسسته	کروی	-/۸۳	.	۰/۵۳	۱/۰۳	-/۶۴	۱/۰۷	.



شکل ۴- نمودار درختی متوسط سرعت ماهانه باد برای دوره آماری مورد مطالعه در ماه های ژانویه و فوریه

مقادیر برآورد شده نیز وجود داشت. در گام بعد، نقاط برآورد شده، با استفاده از معیارهای ارزیابی از قبیل میانگین خطای مطلق^۲، ریشه دوم میانگین مربع خطا^۳ و ضریب تعیین مدل برآورد^۴ که در جدول (۲) ارائه شده اند، مورد بررسی قرار گرفته و دقت مقادیر برآورد شده، تعیین شد. معادله های مربوط به معیارهای ارزیابی به شرح ذیل می باشند:

- 2- Mean Absolute Error (MAE)
- 3- Root-Mean-Square Error (RMSE)
- 4- Coefficient of determination (R²)

کنترل اعتبار مدل

در خصوص اعتبارسنجی مدل، از روش اعتبارسنجی متقابل^۱ استفاده شده است. به عبارت دیگر در این روش، ابتدا نقاط اندازه گیری شده به صورت مرحله ای حذف شدند، و سپس سعی شد که در هر مرحله با استفاده از بقیه نقاط مشاهده ای موجود، مقدار آن نقطه حذف شده، برآورد شود. این کار برای کلیه نقاط مشاهده ای، تکرار گردید، به طوری که در آخرین مرحله، به تعداد نقاط مشاهده ای،

- 1- Cross Validation Method

معروفی و همکاران: بررسی توزیع مکانی سرعت باد با استفاده از روش‌های...

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (o_i - t_i)^2}{\sum_{i=1}^N (o_i - \bar{o}_i)^2} \quad (10)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Z^*(x_i) - Z(x_i)|}{n} \quad (8)$$

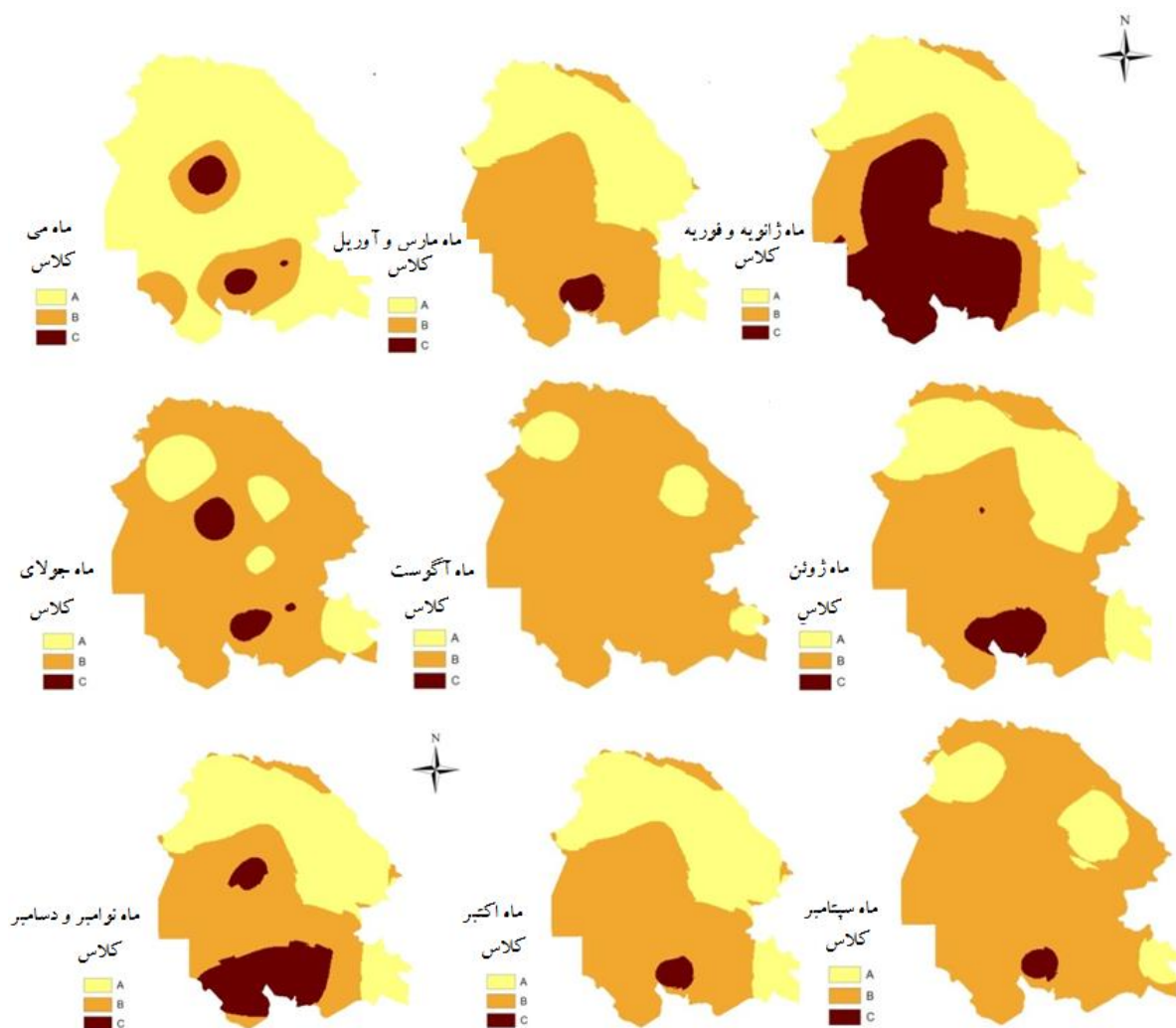
N: تعداد نقاط مشاهده‌ای، $Z^*(x_i)$: مقدار برآورد شده برای نقطه i
 ام و $Z^*(x_i)$: مقدار مشاهده‌ای برای نقطه i ام می‌باشد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [Z^*(x_i) - Z(x_i)]^2}{n}} \quad (9)$$

جدول ۳- نتایج مربوط به روش تحلیل خوشه‌ای سرعت باد (نات) در ایستگاه‌های مورد بررسی

شماره ایستگاه	بازه سرعت باد (نات)	کلاس*	ماه
۱۴-۱۳-۱۲-۱۰-۳-۱	۱/۶۹-۴/۰۹	A	ژانویه و فوریه
۷-۶	۴/۰۹-۵	B	
۲-۴-۵-۱۱-۹-۸	۵-۶/۰۳	C	
۲-۴-۵-۱۱-۹-۸	۱/۷۴-۳/۴۹	A	مارس و آوریل
۷-۶	۳/۴۹-۴/۸۴	B	
۳-۱-۱۰-۱۲-۱۴-۱۳	۴/۸۴-۶/۰۸	C	
۲-۴-۵-۱۱-۹-۸	۱/۷۷-۴/۱۹	A	می
۷-۶	۴/۱۹-۵	B	
۳-۱-۱۰-۱۲-۱۴-۱۳	۵-۶/۱۵	C	
۲-۴-۵-۱۱-۹-۸	۱/۷۸-۳/۵۷	A	ژوئن
۷-۶	۳/۵۷-۵/۲	B	
۳-۱-۱۰-۱۲-۱۴-۱۳	۵/۲-۶/۲	C	
۴-۵-۸-۹-۱۱	۱/۷۹-۳	A	جولای
۷-۶	۳-۵	B	
۳-۱-۲-۱۰-۱۲-۱۳-۱۴	۵-۶/۲۳	C	
۴-۵-۸-۹-۱۱	۱/۸-۳/۳	A	اگوست
۷-۶	۳/۳-۵/۳	B	
۳-۱-۲-۱۰-۱۲-۱۳-۱۴	۵/۳-۶/۳	C	
۴-۵-۸-۹-۱۱	۱/۸-۳/۴	A	سپتامبر
۷-۶	۳/۴-۵/۴	B	
۳-۱-۲-۱۰-۱۲-۱۳-۱۴	۵/۴-۶/۲۷	C	
۴-۵-۸-۹-۱۱	۱/۸۳-۳/۲	A	اکتبر
۷-۶	۳/۲-۵/۵	B	
۳-۱-۲-۱۰-۱۲-۱۳-۱۴	۵/۵-۶/۳	C	
۴-۵-۸-۹-۱۱	۱/۸-۳/۲	A	نوامبر و دسامبر
۷-۶	۳/۲-۵/۱	B	
۳-۱-۲-۱۰-۱۲-۱۳-۱۴	۵/۱-۶/۴	C	

* کلاس‌بندی انجام شده بر اساس تحلیل خوشه‌ای



شکل ۵- نقشه های توزیع مکانی سرعت باد در ماه های ژانویه تا دسامبر

هیستوگرام داده ها برای ماه ژانویه در شکل (۳) ارائه شده است، در این شکل خط برازش مربوط به نرمال بودن داده ها در وسط قرار گرفته است و فاقد کشیدگی است که گویای نرمال بودن داده ها می باشد.

اگر واریوگرام به سقف معینی نرسد و ایستا بودن داده ها ثابت نگردد، داده ها دارای روند می باشند (بی نام، ۱۳۹۰). چنانچه واریوگرام به سقف معینی برسد، به معنای عدم وجود روند می باشد. رایج ترین واریوگرام های دارای سقف، واریوگرام های کروی، نمایی و گوسی می باشند (شریفی و همکاران، ۱۳۸۶). از آن جهت که واریوگرام های تتوریک مناسب داده ها (گوسی و نمایی و کروی) دارای سقف معینی می باشند، لذا داده ها دارای روند نیستند و نیازی به حذف روند از داده ها نمی باشد.

نتایج و بحث

مقادیر برخی از آماره های مربوط به پارامتر سرعت باد برای ایستگاه های مورد مطالعه در جدول (۱) نشان داده شده است. با توجه به جدول (۱)، ایستگاه های بندر ماهشهر و بستان به ترتیب دارای بیشترین مقادیر سرعت باد می باشند؛ همچنین سرعت باد در ایستگاه صفی آباد دارای کمترین مقدار در بین ایستگاه های مورد مطالعه می باشد. لازم به ذکر است نقشه های توزیع مکانی سرعت باد در تمامی ماه های سال نیز ایستگاه مذکور را در کلاس کمترین مقادیر سرعت باد قرار می دهد.

یکی از شروط اساسی استفاده از روش کریجینگ و کوکریجینگ نرمال بودن داده ها می باشد، لذا ابتدا نرمال بودن داده ها با استفاده از روش کولموگراف اسمیرنوف در نرم افزار مینی تب نسخه ۱۴ بررسی گردید، نتایج، نرمال بودن داده ها را نشان داد (به عنوان نمونه

معروفی و همکاران: بررسی توزیع مکانی سرعت باد با استفاده از روش‌های...

صورت گرفته برای هر ماه و مدل پهنه‌ای منتخب، نقشه نهایی توزیع مکانی سرعت باد در هر ۱۲ ماه سال ترسیم گردید.

شکل (۵)، نقشه‌های نهایی پهنه‌بندی باد را برای ماه‌های مختلف سال در طول دوره آماری ۱۴ ساله برای استان خوزستان نشان می‌دهد. نقشه توزیع مکانی سرعت باد به‌دست آمده در منطقه مورد مطالعه در ماه‌های ژانویه و فوریه بیشترین سرعت باد را در نواحی جنوبی و بخش‌هایی از مرکز استان خوزستان نشان می‌دهد. در ماه‌های مارس و آوریل به‌جز محدوده کوچکی از نواحی جنوبی، سایر نواحی در محدوده سرعت باد متوسط تا زیاد (بازه‌های A و B) قرار دارند. عمده نواحی استان در ماه می و اکتبر در کلاس A و در ماه‌های ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر در کلاس B قرار دارند. نقشه توزیع مکانی سرعت باد در ماه‌های نوامبر و دسامبر، نواحی شمالی استان را در کلاس A، نواحی جنوبی و مرکزی را در کلاس C طبقه‌بندی می‌کند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش نحوه توزیع مکانی سرعت باد با استفاده از کاربرد روش‌های زمین‌آماری و تلفیق آن با روش تجزیه خوشه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مربوطه کارآمدی استفاده از روش زمین‌آماری کریجینگ را به‌منظور تولید پهنه مکانی سرعت باد نشان داد که با نتایج به‌دست آمده از شوجی و کیتارا (۲۰۰۶) و هروادا سالا و همکاران (۲۰۱۰) هم‌خوانی دارد.

این نتایج نشان داد که نواحی جنوبی استان خوزستان دارای حداکثر مقادیر سرعت باد در ماه‌های سرد سال (نوامبر، دسامبر، ژانویه و فوریه) می‌باشند. این مسئله می‌تواند ناشی از نزدیکی این نواحی به سواحل خلیج فارس و تأثیر جریانات دریایی بر آن باشد. همچنین نتایج پژوهش سقائی (۱۳۹۲)، نیز بر افزایش مقادیر سرعت باد در نواحی جنوبی شهرهای استان خوزستان در ماه‌های سرد سال تأکید داشته است. با توجه به نقشه‌های توزیع مکانی ترسیم شده، در تمامی ماه‌های سال، نواحی شمالی استان از سرعت باد کمتری نسبت به سایر نواحی برخوردار می‌باشند.

در گام بعدی روش‌های مختلف زمین‌آماری کریجینگ و کوکریجینگ (با استفاده از پارامتر کمی ارتفاع) در نرم‌افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی، برازش داده شد. نتایج مربوط به برازش مدل‌های مختلف کریجینگ و کوکریجینگ برای ماه ژانویه در جدول (۲) ارائه شده است. لازم به ذکر است که برای هر ماه به صورت جداگانه مدل‌ها برازش داده شده است.

با توجه به جدول (۲) دو روش کوکریجینگ گسسته و کریجینگ معمولی دارای میانگین خطای مطلق مناسبی می‌باشند (هر چه مقدار خطای مطلق به صفر نزدیک‌تر باشد، مدل مناسب‌تر خواهد بود. همچنین دو مدل ذکر شده دارای همبستگی بالایی می‌باشند. از میان روش‌های ذکر شده مناسب‌ترین آن‌ها، روشی خواهد بود که دارای دامنه تأثیر بیشتری باشد (حسنی‌پاک، ۱۳۷۷).

با توجه به آنچه ذکر گردید روش کوکریجینگ گسسته با مدل کروی با داشتن فاصله مؤثر بیشتر مناسب‌تر است. این بدان معنی است که در نظر گرفتن پارامتر کمی ارتفاع که ارتباط معنی‌دار با سرعت باد داشته، باعث بهبود نتایج مربوط به پهنه‌بندی مکانی پارامتر سرعت باد گردیده است. در گام بعدی به کلاسه‌بندی پارامتر سرعت باد در نقشه‌های توزیع مکانی تولید شده برای هر ماه با استفاده از خوشه‌بندی پرداخته شد. با ترسیم دارنمای (نمودار درختی) متوسط سرعت باد ماهانه استان خوزستان، سه خوشه برای سرعت باد در استان مذکور در هر یک از ماه‌های سال مشخص گردید (لازم به ذکر است که بازه مربوط به برخی ماه‌ها مشابه و برخی دیگر متفاوت می‌باشند). دارنمای متوسط سرعت ماهانه باد برای دوره آماری مورد مطالعه در ماه ژانویه و فوریه در شکل (۴) ارائه شده است.

نتایج مربوط به خوشه‌بندی پارامتر سرعت باد برای ماه‌های مختلف در جدول (۳) ارائه شده‌اند. با توجه به جدول (۳)، ماه‌های ژانویه و فوریه و ماه‌های مارس، آوریل، می و ژوئن و همچنین ماه‌های جولای، آگوست، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر دارای خوشه‌بندی یکسانی می‌باشند. در گام بعدی با استفاده از خوشه‌بندی

منابع

- ۱- بی‌نام. ۱۳۹۰. راهنمای روش‌های توزیع مکانی عوامل اقلیمی با استفاده از داده‌های نقطه‌ای، امور نظام فنی دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا، وزارت نیرو.
- ۲- ثقفیان، ب.، رزمخواه، ه. و ب. قرمز چشمه. ۱۳۹۰. بررسی تغییرات منطقه‌ای بارش سالانه با کاربرد روش‌های زمین‌آمار (مطالعه موردی استان فارس). مجله مهندسی منابع آب، ۴: ۳۸-۲۹.
- ۳- حسنی پاک، ع. ا. ۱۳۷۷. زمین‌آمار (ژئواستاتستیک). انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، ۳۱۴ صفحه.

- ۴- زهتابیان، غ.، ر.، جان‌فزا، ع.ا.، محمد عسگری، ح. و م. ج. نعمت‌الهی. ۱۳۸۹. مدل‌سازی توزیع مکانی برخی از خصوصیات شیمیایی آب‌های زیرزمینی مطالعه موردی در حوزه آبخیز گرمسار. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۷ (۱): ۶۱-۷۳.
- ۵- سقائی، ص. ۱۳۹۲. مطالعه همبستگی تغییرات ماهیانه پهنه تبخیر و تعرق مرجع با پارامترهای هواشناسی و جغرافیایی در حوضه کرخه بزرگ با استفاده از تکنیک GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا.
- ۶- شریفی، م. ر.، آخوند علی، ع. م.، پرهمت، ج. و ج. محمدی. ۱۳۸۶. ارزیابی دو روش معادله همبستگی خطی و کریجینگ معمولی به منظور برآورد توزیع مکانی عمق برف در حوزه آبخیز صمصامی. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱: ۳۸-۲۴.
- ۷- عساکره، ح. ۱۳۸۷. کاربرد روش کریجینگ در درون‌یابی بارش، مطالعه موردی، درون‌یابی بارش ۱۳۷۶/۱۲/۲۶ در ایران زمین. مجله جغرافیا و توسعه، ۴۲: ۱۲-۲۵.
- ۸- فرج‌زاده، م. و م. رازی قلاوند. ۱۳۸۹. بررسی توزیع زمانی و مکانی طوفان‌ها و بادهای شدید در ایران. مجله پژوهش‌های آبخیزداری، ۹۱: ۳۲-۲۲.
- ۹- قهرمان، ن. و ا. قره‌خانی. ۱۳۸۹. بررسی روند تغییرات زمانی سرعت باد در گستره اقلیمی ایران. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱ (۴): ۳۱-۴۳.
- ۱۰- محمدی، ج. ۱۳۸۵. پدومتری. جلد دوم، آمار مکانی، نشر پلک، ۴۳۵ صفحه.
- ۱۱- مسعودیان، س.ا. ۱۳۸۴. شناسایی رژیم‌های بارش ایران به روش تحلیل خوشه‌ای. مجله پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۷ (۵۲): ۴۷-۵۹.
- ۱۲- منتظری، م. ۱۳۹۰. شناسایی فصول دمایی ایران به روش تحلیل خوشه‌ای. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲: ۱۹۸-۱۷۳.
- 13- Alexandersson, H., Tuomenvirta, H., Schmith, T. and K. Iden, 2000. Trends of storms in NW Europe derived from an updated pressure data set. *Climate Research*, 14 (1): 71-73.
- 14- Barthelmie, R. J. and S. C. Pryor, 2001. A review of the economics of offshore wind energy. *Wind Engineering*, 25 (4): 203-213.
- 15- Gong, L., Xu C., Chen, D., Halldin, S. and Y. D. Chen, 2006. Sensitivity of the Penman-Monteith reference evapotranspiration to key climatic variables in the Changjiang (Yangtze River) basin. *Journal of Hydrology*, 329 (3-4): 620-629.
- 16- Hervada-Sala, C., Jarauta-Bragulat, E. and P. Buenestado-Caballero, 2010. Local wind regime characterization and modeling for wind energy optimization, applying statistical and geostatistical methods. IAMG Budapest, 29 August - 2 September.
- 17- Hokers, J. E. and J. B. Basara, 2007. A 10-year spatial climatology of squall line storms across Oklahoma. *International Journal of Climatology*, 28 (6): 765-775.
- 18- Irmak, S., Payero, J. O., Martin, D. L. and T. A. Howell, 2006. Sensitivity analyses and sensitivity coefficients. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 132 (6): 564-578.
- 19- Kettenring, R. 2006. The practice of cluster analysis. *Journal of Classification*, 23 (1): 3-30
- 20- Shoji, T. and Kitaura, H. 2006. Statistical and geostatistical analysis of rainfall in central Japan. *Computers and Geosciences*, 32: 1007-1024.
- 21- Tssung, C. K. 2004. Introduction to geographic information system. 2nd Edition, McGraw Hill.