

واژه‌های کلیدی: تحلیل فراوانی منطقه‌ای، گشتاورهای خطی، تحلیل خوشه‌ای، توزیع لجستیک تعمیم یافته (GLOG)

مقدمه

در مناطق خشک و نیمه خشک، فرسایش بادی عامل اصلی فرسایش است. فرسایش بادی فرآیند پیچیده‌ای است که از عوامل مختلفی متأثر می‌شود. شرایط جوی (به عنوان مثال باد، بارندگی و درجه حرارت)، ویژگی‌های خاک (به عنوان مثال بافت خاک، رطوبت، ترکیب و پیوستگی)، ویژگی‌های سطح زمین (مثل پستی و بلندی، زبری آئرودینامیکی، پوشش و عناصر فرسایش‌ناپذیر)، و کابری اراضی (به عنوان مثال زراعت، چرا و معدن کاوی) از جمله عوامل تأثیرگذار بر سرعت باد و فرسایش بادی می‌باشند. اگرچه نمی‌توان عامل مشخص و معینی را به عنوان عامل اصلی فرسایش بادی در یک منطقه معرفی نمود [۱۸]، با این وجود باد از عوامل اصلی تخریب و فرسایش در مناطق بیابانی محسوب می‌گردد و نقش مهمی در شکل‌گیری ناهمواری‌های ماسه‌ای و میزان تیخیر و تعلق در یک منطقه دارد [۱]. مشاهده قدرت باد و عوارض ناشی از آن در بیابان‌ها موجب شده است تا بیشتر دانشمندان باد را به عنوان عامل اصلی فرسایش و تغییر شکل در بیابان‌ها معرفی نمایند. چپیل عامل اصلی فرسایش بادی را باد شدید و خاک خشک می‌داند [۲] در مناطق خشک به دلیل کمبود پوشش گیاهی بسیار پراکنده، باد موثرتر از مناطق دیگر عمل می‌کند [۱۸] بخش اعظم کشور ایران تحت سیطره اقلیم خشک و نیمه خشک است و حدود ۱۲ میلیون هکتار از مساحت کشور توسط تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای پوشانده شده است. در طول سال‌های گذشته تخریب پوشش گیاهی به وسیله چرای بی‌رویه و افزایش سطح زمین‌های کشاورزی باعث وقوع توفان‌های گرد و غبار در کشور گردیده است که موجب گسترش تپه‌های ماسه‌ای و خسارت‌های اقتصادی-اجتماعی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک کشور گردیده است [۱۵] در کنترل فرسایش بادی علاوه بر شناسایی بادهای غالب، شناسایی شدیدترین و در عین حال فرساینده‌ترین بادهای اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

فراوانی و سرعت بادهای از مشخصه‌های اصلی بادهای فرساینده به شمار می‌روند [۱] سرعت باد بیش از فراوانی آن اهمیت دارد [۱۸] نیروی فرساینده باد ارتباط معنی‌داری با سرعت باد دارد. تحلیل فراوانی سرعت باد یکی از وظایف اصلی مدیران در تحلیل خطر پروژه‌های مرتبط با فرسایش بادی و برآورد عمر مفید بادشکن‌هاست

کاربرد گشتاورهای خطی در تحلیل فراوانی منطقه‌ای و پهنه‌بندی بادهای فرساینده در ایران

اسماعیل دودانگه^۱، محمدرضا اختصاصی^۲ و الهام شایق^۳
تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۶/۰۶

چکیده

اغلب مطالعاتی که در مورد سرعت باد و تأثیر آن بر روی فرسایش بادی صورت گرفته است، به بررسی توزیع زمانی و مکانی سرعت باد پرداخته است و مطالعات در زمینه بررسی احتمال وقوع بادهای فرساینده در دوره بازگشت‌های مختلف اندک می‌باشد. به رغم پراکندگی محدود ایستگاه‌های هواشناسی در کشور، بسیاری از نقاط فاقد آمار بادسنجی می‌باشند و در بعضی از نقاط نیز آمار کافی جهت دستیابی به نتایج قابل اعتماد وجود ندارد. در این مطالعه روش گشتاورهای خطی جهت تحلیل فراوانی منطقه‌ای حداکثر سرعت باد در کشور به کار گرفته شد. نتایج محاسبه آماره همگنی H_1 نشان داد پس از حذف ایستگاه‌های ناهمگن، بقیه ایستگاه‌ها از نظر سرعت باد مناطق همگن را تشکیل می‌دهند.

توزیع لجستیک تعمیم یافته (GLOG) برازش خوبی با داده‌های حداکثر سرعت باد در منطقه داشته است. جهت بررسی عوامل موثر بر رفتار سرعت باد در نقاط مختلف از روش‌های آماری چند متغیره استفاده گردید. نتایج تحلیل خوشه‌ای بیانگر چهار گروه سرعت باد در کشور بود این چهار گروه عبارتند از مناطق شمال غربی، مناطق ساحلی، ایران مرکزی و کوهپایه زاگرس. بر اساس نتایج روش گشتاورهای خطی، بیشتر این مناطق به عنوان گروه‌های همگن تشخیص داده شدند. بررسی ارتباط توزیع‌های عاملی برازش داده شده به سرعت باد و ارتفاع نشان داد توزیع‌های سه عاملی به دلیل پیچیدگی رفتار سرعت باد در مناطق کم‌ارتفاع، برازش خوبی به داده‌های حداکثر سرعت باد در این مناطق داشته است.

۱- کارشناس ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد

۳- کارشناس ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* نویسنده مسول: smaeeel.dodangeh@gmail.com

(بیش از ۲۰ سال) انتخاب گردید و به منظور محاسبات بعدی حداکثر سرعت باد ۲۴ ساعته در طی سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۳۴ بر اساس مقیاس کیلومتر بر ساعت برای هر ایستگاه انتخاب گردید.

روش بررسی

۱- محاسبه گشتاورهای خطی

گرین‌وود و همکاران گشتاورهای وزنی احتمال را به شکل زیر تعریف کردند [۴]:

رابطه (۱)

$$M_{p,r,s} = E[X^p F^r (1-F)^s] = \int_0^1 [X(F)]^p F^r (1-F)^s dF$$

در معادله بالا گشتاورهای وزنی احتمال $M_{1,0,s} = \alpha_s$ و $M_{1,r,0} = \beta_r$ به شکل زیر تعریف می‌شوند:

$$\alpha_s = \sum_{k=0}^s \binom{s}{k} (-1)^k \beta_k \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\beta_r = \sum_{k=0}^r \binom{r}{k} (-1)^k \alpha_k \quad \text{رابطه (۳)}$$

گشتاورهای خطی توابعی از گشتاورهای وزنی احتمال هستند [۸] گشتاورهای خطی مناسب‌تر و آسان‌تر از گشتاورهای وزنی احتمال هستند زیرا می‌توانند به‌طور مستقیم به عنوان اندازه‌هایی از مقیاس و شکل توزیع‌های احتمال تشریح شوند [۱۰]. هاسکینگ و والیس گشتاورهای خطی را به شکل زیر تعریف کردند [۶]:

$$\lambda_1 = \alpha_0 = \beta_0 \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\lambda_2 = \alpha_0 - 2\alpha_1 = 2\beta_1 - \beta_0 \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$\lambda_3 = \alpha_0 - 6\alpha_1 + 6\alpha_2 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$\lambda_4 = \alpha_0 - 12\alpha_1 + 30\alpha_2 - 20\alpha_3 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0 \quad \text{رابطه (۷)}$$

با جایگزینی مقادیر نمونه‌ای a_s و b_s به جای مقادیر α_s و β_s در معادلات بالا، گشتاورهای خطی نمونه به دست می‌آید.

$$a_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \binom{n-i}{s} x_i \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$b_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \binom{i-1}{r} x_i \quad \text{رابطه (۹)}$$

۲- ترسیم نمودار نسبت گشتاورهای خطی

[۳] در تحلیل فراوانی سرعت باد، احتمال وقوع سرعت باد بیش از یک مقدار مشخص در طول عمر مفید یک بادشکن با استفاده از توزیع‌های احتمال برآورد می‌شود. تحلیل فراوانی نقطه‌ای که در واقع برازش توابع توزیع مختلف به داده‌های سرعت باد و انتخاب بهترین تابع توزیع در هر نقطه و برآورد مقادیر سرعت باد در دوره بازگشت‌های مختلف می‌باشد چندان دشوار نیست با این وجود در بسیاری از مواقع مدیران و طراحان سازه‌های کنترل فرسایش بادی نیاز به اطلاعات سرعت باد در نقاطی دارند که آمار کافی برای آنها ثبت نشده است. در چنین مواردی می‌توان روش‌های منطقه‌ای را به کار گرفت. یکی از روش‌هایی که به‌تازگی در علوم آب‌شناختی به کار گرفته می‌شود روش تحلیل فراوانی منطقه‌ای^۱ با استفاده از گشتاورهای خطی^۲ است. این روش جهت برآورد سرعت باد در مناطق فاقد آمار و یا مناطق با آمار کم قابل استفاده می‌باشد.

اکثر مطالعاتی که در زمینه سرعت باد و فرسایش بادی صورت گرفته است مربوط به توزیع زمانی و مکانی روزهای همراه با گرد و غبار بوده و تحلیل فراوانی باد کمتر مورد توجه قرار گرفته است. ذوالفقاری و عابدزاده به تحلیل سینوپتیک سامانه‌های گرد و غبار در غرب کشور پرداختند و ایستگاه‌های دزفول و خوی را به ترتیب برگرد و غبارترین و کم گرد و غبارترین ایستگاه‌های غربی کشور معرفی کردند [۲۰] لشکری و کیخسروی نیز با تحلیل طوفان‌های گرد و غبار و ماسه در طی یک دوره سیزده ساله (۱۹۹۳-۲۰۰۵) به بررسی برگرد و غبارترین و کم گرد و غبارترین مناطق در استان خراسان رضوی پرداختند [۱۳] با این وجود اطلاعات کافی در زمینه بادهای شدید و فرساینده در کل کشور بسیار محدود می‌باشد و علت آن عدم انجام یک پژوهش وسیع و جامع در این زمینه است. این مطالعه با بکارگیری روش‌های آماری چند متغیره و روش جدید گشتاورهای خطی سعی در تشخیص مناطق همگن از نظر وقوع بادهای فرساینده دارد. برازش توابع توزیع منطقه‌ای به هر یک از مناطق همگن و تهیه نقشه‌های بادهای حداکثر یا فرساینده در دوره بازگشت‌های مختلف از جمله اهداف این پژوهش می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

ایران در طول جغرافیایی ۶۴-۴۵ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۵-۴۰ درجه شمالی قرار دارد. بر اساس عوامل مختلف سینوپتیکی و پستی و بلندی، اقلیم ایران به هشت گروه تقسیم می‌شود [۱۴] بیش از ۸۰ درصد از مساحت کشور در اقلیم خشک و نیمه خشک قرار گرفته است و فرسایش بادی در مناطق مرکزی و جنوبی از جمله کرمان، سیستان و بلوچستان، شرق اصفهان، نایین، اردستان، کاشان، یزد، فارس و جنوب خراسان از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. در این مطالعه ۳۷ ایستگاه سینوپتیک با طول دوره آماری زیاد

1- Regional Frequency Analysis

2- Linear Moments

نتایج

بررسی همگنی منطقه مورد مطالعه

گام اصلی در تحلیل فراوانی منطقه‌ای تشخیص مناطق همگن است. جهت بررسی همگنی منطقه مورد مطالعه ابتدا نمودار نسبت گشتاورهای خطی به کار گرفته شد. استفاده از نمودار نسبت گشتاورهای خطی نسبت به نمودار گشتاورهای معمولی ناشی بهتر از همگنی منطقه خواهد داشت [۱۹] نمودار نسبت گشتاورهای خطی در شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به شکل مشخص است که توزیع گشتاورها حول میانگین بسیار نامنظم است، بنابراین می‌توان گفت کل منطقه مورد مطالعه بسیار ناهمگن است و مجموعه ایستگاه‌ها از توزیع واحد تبعیت نمی‌کنند.

نمودار نسبت گشتاورهای خطی یک روش گرافیکی جهت تشخیص بهترین تابع توزیع منطقه‌ای است. با این وجود جهت تشخیص مناطق همگن تنها استفاده از این روش کافی نیست [۱۵] لذا از آماره ناهمگنی H جهت بررسی همگنی منطقه مورد مطالعه استفاده گردید.

۱- گشتاورهای خطی

در این مطالعه برای انجام شبیه‌سازی بر اساس متوسط منطقه‌ای نسبت گشتاورهای خطی نمونه τ_1, τ_2 و τ_3 از توزیع کاپای ξ عاملی [۷؛ ۹] با رابطه [۵]:

$$X(F) = \xi + \alpha \left\{ 1 - \left[\frac{1 - F^h}{h} \right]^k \right\} / k \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

در شبیه‌سازی استفاده گردید. مقادیر متوسط گشتاورهای خطی نمونه τ_1, τ_2 و τ_3 در این مطالعه به ترتیب $0.12, 0.14$ و 0.19 به دست آمد. مقادیر عاملهای توزیع کاپای برآزش داده شده α, k, ξ و h نیز به ترتیب $0.96, 0.12, 0.14$ و -1 به دست آمد و در نهایت مقدار آماره ناهمگنی H_1 برابر با $4/59$ به دست آمد که نشان می‌دهد منطقه مورد مطالعه ناهمگن است. مقادیر آماره‌های ناهمگنی H_1 و H_2 نیز به ترتیب 0.14 و $1/09$ به دست آمد. از طرف دیگر با توجه به نتایج ارایه شده در جدول ۲ مقدار Z^{Dist} برای تمام توزیع‌ها بیش از $1/64$ به دست آمد که نشان می‌دهد هیچ کدام از توزیع‌های مورد استفاده برآزش خوبی به داده‌های منطقه‌ای سرعت حداکثر باد نداشته است. با توجه به تنوع پستی و بلندی در نقاط مختلف کشور، رفتار سرعت باد در مناطق مختلف از توزیع واحد تبعیت نمی‌کند و بنابراین نمی‌توان کل کشور را از نظر توزیع بادهای فرساینده همگن فرض کرد.

همانطور که از قبل نیز گفته شد در صورت ناهمگن بودن یک منطقه، آماره ناجوری در هر یک از ایستگاه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. از ۳۷ ایستگاه موجود، ۵ ایستگاه تهران، بجنورد، خدابنده، اردستان و بم به عنوان ایستگاه ناجور مشخص گردید. با توجه به وجود ایستگاه‌های ناجور در منطقه، ناهمگنی منطقه مورد مطالعه در ۷ سناریو مورد بررسی قرار گرفت. در سناریوهای ارایه شده هر یک

نمودار نسبت گشتاورهای خطی به شکل $\tau = \lambda_2 / \lambda_1$ و $\tau_r = \lambda_r / \lambda_2$ ($r \geq 3$) تعریف می‌شوند که $\lambda, \tau, \tau_2, \tau_3$ به ترتیب عامل‌های موقعیت، مقیاس ($L-Cv$)، چولگی ($L-Cs$) و کشیدگی ($L-Ck$) می‌باشند. نمودار نسبت گشتاورهای خطی روشی جهت تشخیص مناطق همگن است. راثو و حامد از این روش جهت تشخیص مناطق همگن آب‌شناختی در حوزه رودخانه و اباش استفاده کردند [۱۷] در این مطالعه نیز از این روش جهت تشخیص مناطق همگن از نظر سرعت باد استفاده شد.

۳- آزمون همگنی و ناهمگنی

علاوه بر نمودار نسبت گشتاورهای خطی، هاسکینگ و والیس دو آماره عدم توافق (D_1) و ناهمگنی را جهت تشخیص مناطق همگن معرفی کردند. جهت تشخیص مناطق همگن ابتدا آماره ناهمگنی (H_1) مورد بررسی قرار می‌گیرد. آماره ناهمگنی شامل سه آماره (H_1, H_2, H_3) می‌باشد. آماره H_1 که بر اساس ضریب تغییرات (LCv) محاسبه می‌شود بسیار قویتر از دو آماره دیگر است. در این مطالعه نیز جهت تشخیص مناطق همگن از نظر سرعت باد، این آماره به کار گرفته می‌شود. یک منطقه همگن است اگر (H_1) کمتر از ۱ باشد، اگر بین ۱ و ۲ باشد تا حدودی ناهمگن است و اگر بیش از ۲ باشد به‌طور کامل ناهمگن است. در صورتیکه منطقه ناهمگن بود ($2 < H_1$)، در اینصورت آماره ناجوری (D_1) در تک تک ایستگاه‌ها مورد محاسبه قرار می‌گیرد. ایستگاهی که در آن میزان این آماره بیش از ۳ باشد به عنوان ایستگاه ناجور شناخته می‌شود و بنابراین باید از مجموعه ایستگاه‌های انتخاب شده حذف شود. در صورتیکه با حذف ایستگاه ناجور، همگنی قابل قبول برای منطقه مورد نظر حاصل نشد در این صورت با استفاده از آزمون نکویی برآزش تابع توزیع منطقه‌ای به داده‌ها برآزش داده می‌شود.

۴- آزمون نکویی برآزش

جهت تشخیص بهترین تابع توزیع منطقه‌ای، آزمون نکویی برآزش به کار گرفته می‌شود. آماره نکویی برآزش (Z^{Dist}) به شکل زیر تعریف می‌شود:

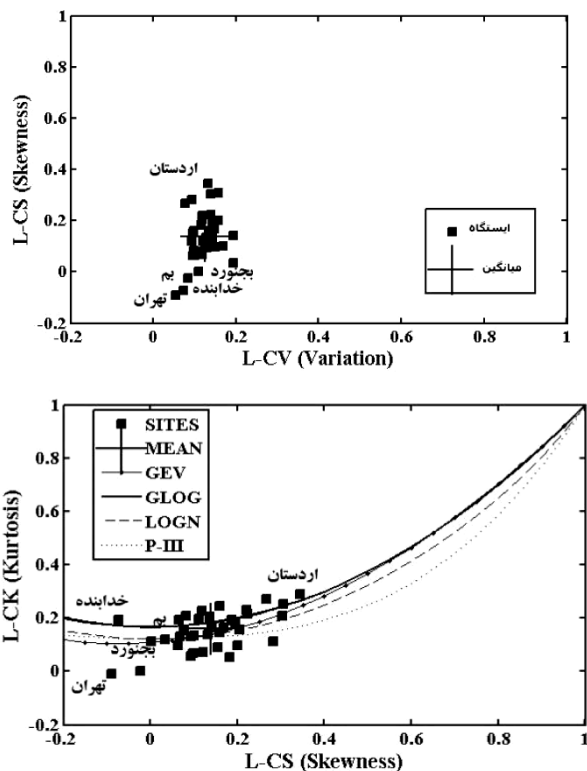
$$Z^{dist} = \frac{\bar{t}_4 - \tau_4^{dist}}{\sigma_4} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

در رابطه بالا \bar{t}_4 متوسط منطقه‌ای، ضریب کشیدگی خطی، τ_4^{dist} ضریب کشیدگی خطی توزیع برآزش داده شده به داده‌ها و σ_4 انحراف معیار ضریب کشیدگی خطی برآزش داده شده است. جهت انتخاب بهترین تابع توزیع منطقه‌ای، گشتاورهای توزیع‌های مختلف با گشتاورهای متوسط نمونه‌ای مورد مقایسه قرار می‌گیرد. تابع توزیعی که در آن $|Z^{Dist}| \leq 1.64$ می‌تواند به عنوان توزیع منطقه‌ای انتخاب شود. در مواردی که بیش از یک توزیع شرایط ذکر شده را داشته باشد در این صورت توزیعی که کمترین مقدار (Z^{Dist}) را داشته باشد به عنوان بهترین توزیع منطقه‌ای انتخاب خواهد شد.

از ایستگاه‌های ناجور به ترتیب از مجموعه ایستگاه‌ها حذف گردید و هربار آماره‌های ناهمگنی برای منطقه مورد محاسبه قرار گرفت. نتایج محاسبه آماره‌های ناهمگنی در هر یک از سناریوهای مذکور در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به نتایج جدول ۱ مشخص گردید که ایستگاه تهران بیشترین تاثیر را در میزان آماره ناهمگنی H_1 کل کشور دارد و با حذف این ایستگاه از مجموعه ایستگاه‌ها بیشترین کاهش در میزان ناهمگنی (H_1) (از ۴/۵۹ به ۲/۴۴) حاصل شده است. به طوریکه حتی تاثیر ایستگاه تهران در کاهش میزان ناهمگنی از مجموع ۴ ایستگاه دیگر نیز بیشتر است. با حذف ۴ ایستگاه ناجور از مجموعه ایستگاه‌ها، میزان آماره H_1 از ۴/۵۹ به ۳ کاهش پیدا می‌کند در حالیکه با حذف تنها ایستگاه تهران، میزان این آماره به ۲/۴۴ می‌رسد. در صورتی که تمام ایستگاه‌های ناجور حذف گردد، بقیه ایستگاه‌ها یک گروه همگن را تشکیل می‌دهند. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۱، با حذف کلیه ایستگاه‌های ناجور میزان آماره H_1 ، H_p و H_r به ترتیب ۰/۸، ۱/۳۱- و ۱/۹۱- به دست آمد که نشان می‌دهد منطقه مورد مطالعه از همگنی قابل قبول برخوردار است. بر اساس آزمون نکویی، تنها توزیع قابل قبول برای منطقه مورد مطالعه، توزیع لجستیک تعمیم یافته می‌باشد. مقادیر حداکثر سرعت باد با استفاده از تابع چگالی احتمال این توزیع در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال به ترتیب ۴، ۶/۰۸، ۴۹/۳۲، ۵۲/۱۱، ۵۵/۴۰، ۵۷/۶۸ و ۵۹/۸۱ به دست آمد.

۲- تحلیل خوشه‌ای

اگر چه نتایج روش گشتاورهای خطی نشان‌دهنده همگنی منطقه



شکل ۱- نمودار نسبت گشتاورهای خطی L-CV, L-CS و L-CK, L-CS برای کل منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- مقادیر آماره‌های ناهمگنی برای سرعت باد در کل کشور و سناریوهای حذف ایستگاه‌های ناجور و مقادیر ناجوری مربوط به هر ایستگاه

آماره ناهمگنی	کل ایستگاه‌های مورد مطالعه	حذف ایستگاه‌های ناجور	تهران	بجنورد	خدابنده	اردستان	بم
H_1	۴/۵۹	۰/۸	۲/۴۴	۴/۱۵	۴/۵۷	۴/۶۰	۳/۹۰
H_p	-۰/۱۴	-۱/۳۱	-۱/۳۱	-۰/۱۵	-۰/۱	-۰/۰۸	-۰/۱
H_r	-۱/۰۹	-۱/۹۱	-۲/۰۶	-۱/۰۳	-۱/۱۲	-۱/۰۴	-۰/۸۳
D_i			۳/۱۴	۳/۵۰	۳/۵۹	۳/۲۲	۳/۱۴

جدول ۲- آزمون نکویی برازش جهت انتخاب بهترین تابع توزیع منطقه‌ای

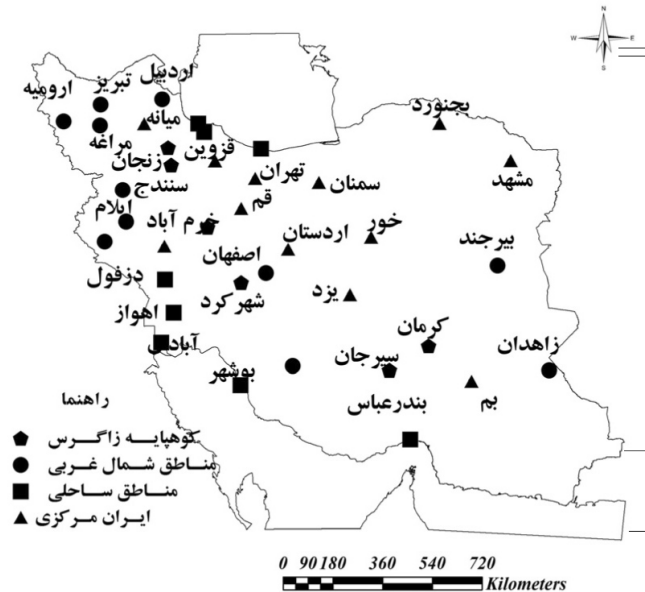
منطقه	لجستیک تعمیم یافته	توزیع مقادیر حدی نوع ۱	لوگ نرمال سه عاملی	پیرسون نوع سه	پارتوی تعمیم یافته
کل ایستگاه‌های مورد مطالعه	-۲/۴۲	-۶/۱۷	-۶/۲۸	-۷/۱۲	-۱۴/۰۸
منطقه همگن پس از حذف ایستگاه‌های ناجور	-۱/۱۹*	-۴/۵۵	-۴/۸۲	-۵/۷۸	-۱۱/۷۹

*نشان دهنده توزیع منطقه‌ای قابل قبول

مورد مطالعه پس از حذف ایستگاه‌های ناجور می‌باشد، با این وجود در این بخش جهت تشخیص مناطق همگن کوچکتر و تعیین مناطقی که بیشترین شباهت را از نظر توزیع سرعت باد به یکدیگر دارند، از روش‌های آماری چند متغیره (روش تحلیل خوشه‌ای) بهره گرفته شد. هدف از تحلیل خوشه‌ای قرار دادن ایستگاه‌ها در گروه‌هایی است که بیشترین شباهت را به یکدیگر دارند و در عین حال بیشترین تفاوت در ایستگاه‌های گروه‌های مختلف قابل مشاهده است. جهت انجام تحلیل خوشه‌ای از روش حداقل واریانس وارد [۱۱] و معیار فاصله اقلیدسی بهره گرفته شده است. مدرس (۲۰۰۶) از این روش جهت گروه‌بندی اقلیم بارش ایران بهره گرفت [۱۴]

راموز (۲۰۰۱) نیز این روش را جهت منطقه‌ای کردن بارش‌های مدیترانه‌ای پیشنهاد کرد [۱۶] جهت انجام تحلیل خوشه‌ای از دو نوع ویژگی‌های مربوط به هر ایستگاه بهره گرفته شد، دسته اول مربوط به گشتاورهای آماری مربوط به هر ایستگاه از جمله ضریب تغییرات خطی، ضریب چولگی خطی و ضریب کشیدگی خطی و دسته دوم مربوط به ویژگی‌های مکانی منطقه مورد نظر است. طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع هر نقطه به عنوان مشخصات مکانی برای هر ایستگاه در نظر گرفته شده است.

بر اساس این روش ایستگاه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه در مجموع در ۴ دسته قرار گرفتند. این گروه‌ها در شکل ۲ نشان داده



شکل ۲- گروه‌های حداکثر سرعت باد در ایران

جدول ۳- مقادیر آماره همگنی برای گروه‌های حاصل از تحلیل خوشه‌ای

منطقه	H_p	H_c	H_s
ایستگاه‌های شمال غربی	-۰/۳۳	-۰/۷۱	-۰/۱۲
مناطق ساحلی	-۰/۲۲	۰/۱۴	-۰/۰۷
ایران مرکزی و شمال شرق	۰/۳۷	۱/۲۰	۶/۹۸
کوهپایه زاگرس	۰/۲۷	۰/۰۹	۰/۵۷

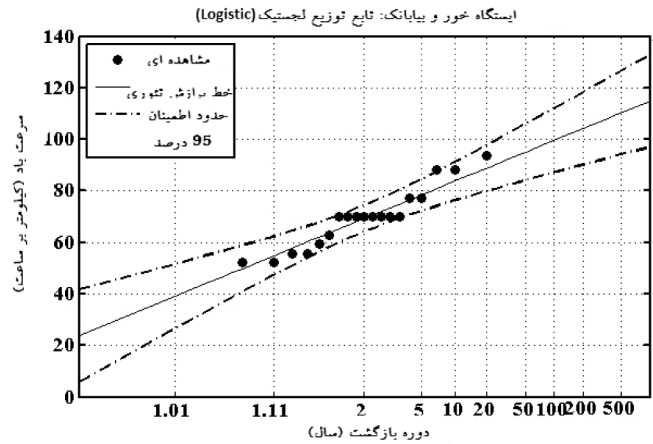
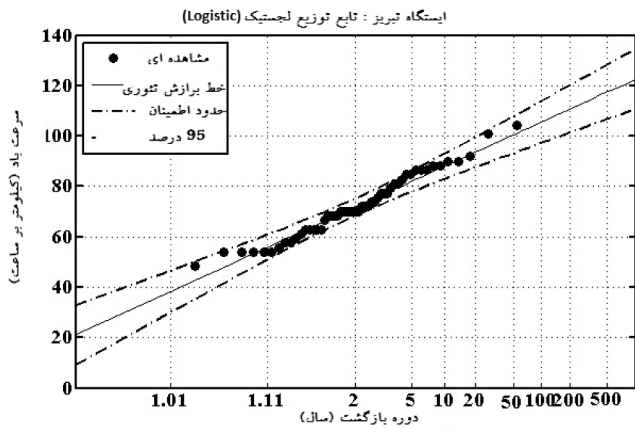
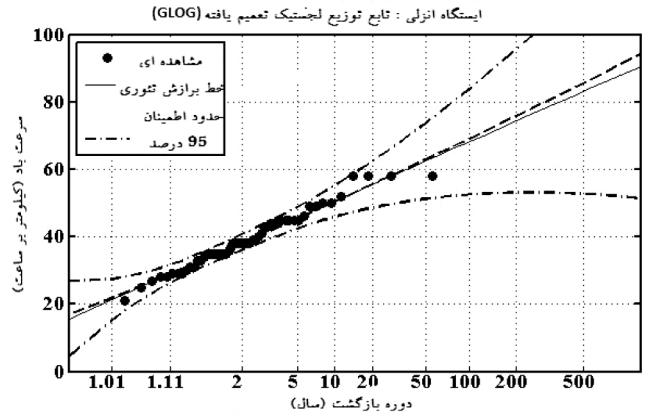
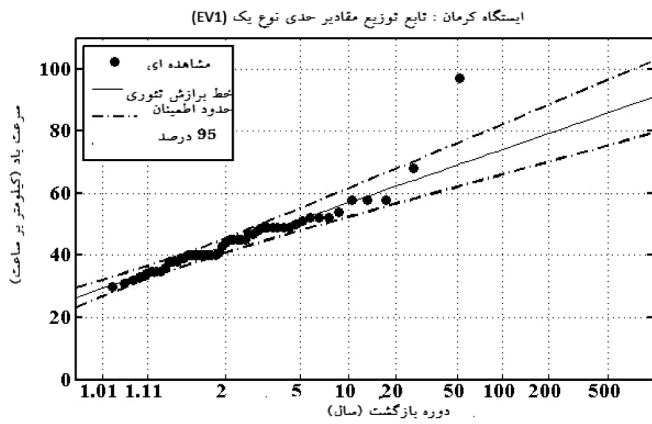
جدول ۴- آزمون نکویی برازش (Z^{Dist}) برای گروه‌های مختلف سرعت باد در ایران

توزیع	ایستگاه‌های شمال غربی	مناطق ساحلی	ایران مرکزی و شمال شرق	کوهپایه زاگرس
لجستیک تعمیم یافته	-۱/۱۷*	-۰/۷۸*	-۲/۱۰	-۰/۴۵*
مقادیر حدی نوع یک	-۳/۲۵	-۲/۳۹	-۴/۶۶	-۱/۵۹*
لوگ نرمال سه عاملی	-۳/۲۶	-۲/۶۰	-۴/۵۰	-۱/۷۸
پیرسون نوع سه	-۳/۶۶	-۳/۱۷	-۴/۸۲	-۲/۲۴
پارتوی تعمیم یافته	-۷/۵۹	-۵/۹۳	-۹/۸۲	-۴/۱۵

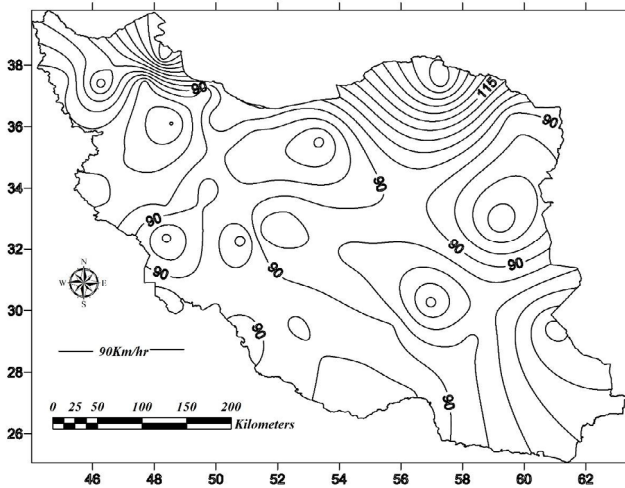
* نشان دهنده توزیع منطقه‌ای قابل قبول

ایستگاه‌های ساحلی جنوبی آبادان، بوشهر، بندرعباس و... تشکیل گروه همگن از نظر حداکثر سرعت باد را داده‌اند. دسته سوم ایستگاه‌های واقع در ایران مرکزی هستند. آخرین گروه از ایستگاه‌ها، ایستگاه‌های کوهپایه زاگرس هستند که در امتداد کوهپایه زاگرس قرار گرفته‌اند و

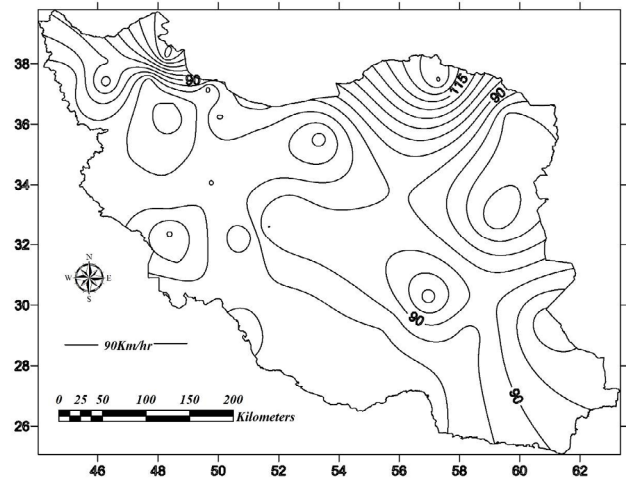
شده‌اند. ایستگاه‌های دسته اول ایستگاه‌هایی هستند که به‌طور عمده در شمال غرب کشور قرار گرفته‌اند، ایستگاه‌های دسته دوم ایستگاه‌های ساحلی هستند که در خط ساحلی دریای خزر و خلیج فارس قرار گرفته‌اند. از ایستگاه‌های ساحلی شمالی انزلی، نوشهر و رشت و از



شکل ۳- توابع توزیع چگالی تجمعی برازش داده شده به سری‌های زمانی حداکثر سرعت باد در هر یک از ایستگاه‌ها



شکل ۵- نقشه خطوط هم سرعت بادهای حداکثر ایران در دوره بازگشت ۲۰ ساله



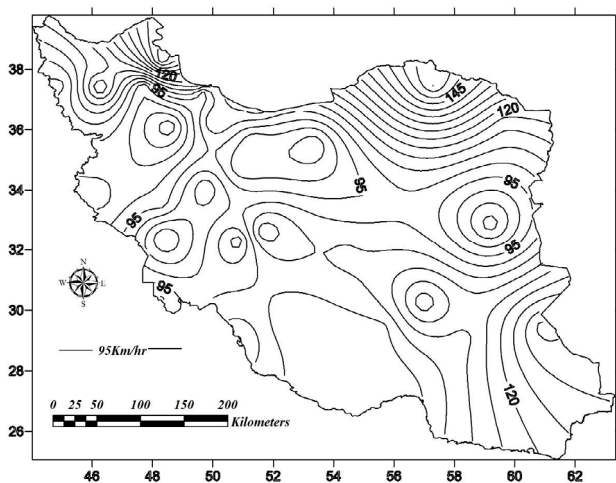
شکل ۴- نقشه خطوط هم سرعت بادهای حداکثر ایران در دوره بازگشت ۱۰ ساله

عنوان بهترین تابع توزیع منطقه‌ای در تمامی مناطق (به جز بخش مرکزی) می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

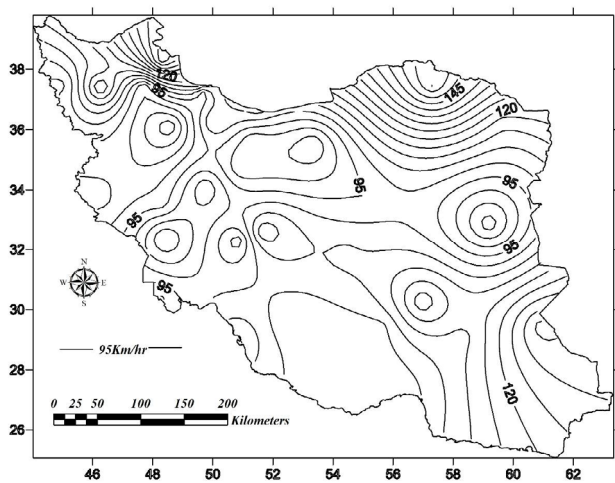
۳- تحلیل فراوانی نقطه‌ای حداکثر سرعت باد

تحلیل فراوانی نقطه‌ای نیز علاوه بر تحلیل فراوانی منطقه‌ای جهت برآورد مقادیر حداکثر سرعت باد در هر نقطه به کار گرفته شد. اگرچه نتایج روش گشتاورهای خطی جهت، می‌تواند در هر نقطه از منطقه همگن مورد استفاده قرار گیرد [۱۵]، با این وجود نتیجه تحلیل فراوانی نقطه‌ای جهت بررسی رفتار توزیع سرعت باد و عوامل موثر بر آن می‌تواند مفید باشد. در سال‌های گذشته آزمون‌های نکویی برازش متعددی توسط پژوهشگران به کار گرفته شده است. از جمله آنها می‌توان به روش ضریب تعیین، معیار اطلاعات آکائیک و منحنی

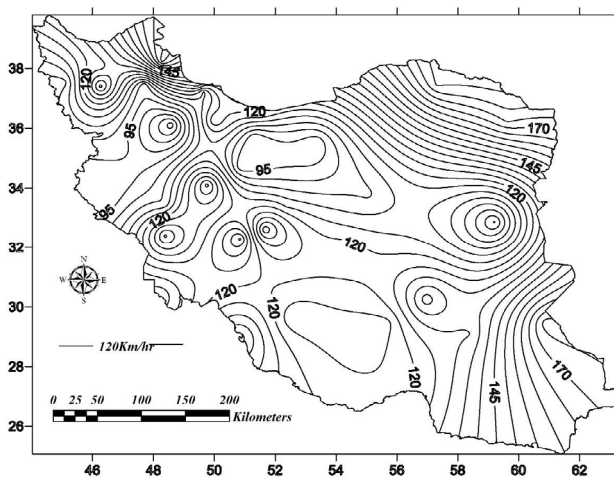
نسبت به دیگر ایستگاه‌ها در ارتفاع بالاتر قرار گرفته‌اند. ایستگاه‌های تشکیل‌دهنده این گروه عبارتند از ایستگاه شهرکرد، خدابنده، اراک و ... جهت بررسی همگنی این گروه‌ها از روش گشتاورهای خطی استفاده گردید. نتایج محاسبه آماره‌های ناهمگنی H_1 و آزمون نکویی برازش برای هر یک از گروه‌های چهارگانه در جداول ۳ و ۴ ارایه گردیده است. با توجه به نتایج ارایه شده در جداول ۳ و ۴ به جز ایران مرکزی و شمال شرق بقیه مناطق می‌توانند به عنوان منطقه همگن در نظر گرفته شوند. با توجه به نتایج جدول ۳ تنها بخش ایران مرکزی به دلیل قرار گرفتن ایستگاه‌های ناجور در آن، منطقه ناهمگن است که داده‌ها در آن به هیچ توزیعی برازش داده نشده است. در جدول ۴ نتایج آزمون نکویی برازش به داده‌های ۴ منطقه آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد توزیع لجستیک تعمیم یافته به



شکل ۷- نقشه خطوط هم سرعت بادهای حداکثر ایران دوره بازگشت ۱۰۰ ساله



شکل ۶- نقشه خطوط هم سرعت بادهای حداکثر ایران در دوره بازگشت ۵۰ ساله



شکل ۸- نقشه خطوط هم سرعت بادهای حداکثر ایران در دوره بازگشت ۲۰۰ ساله

گشتاورهای خطی اشاره کرد. با این وجود دو آزمونی که بیشتر مورد استفاده هستند عبارتند از آزمون کلوموگراف - اسمیرنوف و آزمون کای و سای χ^2 [۱۲] در این مطالعه ارزیابی نکویی برازش توزیعها بر اساس این روشها و نیز روش مجموع مربعات باقیمانده صورت گرفت. شکل ۳ توابع چگالی احتمال توزیعهای برازش داده شده به هر یک از ایستگاهها را نشان می‌دهد. روش حداکثر درستنمایی جهت برآورد عامل توزیعهای برازش داده شده به سریهای زمانی حداکثر سرعت باد در هر ایستگاه به کار گرفته شد. پس از انتخاب بهترین تابع توزیع در هر نقطه مقادیر، حداکثر سرعت باد در دوره بازگشت‌های مختلف در هر نقطه به دست آمد و بر اساس این مقادیر نقشه سرعت باد در دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از روش کریجینگ تهیه شد. شکل ۴ نقشه میانمایی نمایه‌های سرعت حداکثر باد را در دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشخص می‌شود، مناطق شمال شرقی، شمال غربی و جنوب شرقی شدیدترین سرعت‌های باد را دارا هستند. این دستاورد با نتیجه مطالعات مدرس (۲۰۰۸) مطابقت می‌کند. به طوری که مدرس نیز دو بخش شمال شرقی و جنوب شرقی را جزء بادناکترین مناطق ایران معرفی کرد.

بحث و نتیجه‌گیری

علاوه بر تعیین فراوانی و جهت بادهای غالب در هر منطقه، تحلیل فراوانی سرعت این بادهای در دوره بازگشت‌های مختلف ضروری است. بدین منظور تحلیل فراوانی منطقه‌ای با استفاده از روش گشتاورهای خطی و روش تحلیل خوشه‌ای جهت برآورد مقادیر حداکثر سرعت باد در مقیاس منطقه‌ای استفاده گردید. در ابتدا به منظور بررسی همگنی کل کشور از وضعیت توزیع سرعت باد، از آماره‌های همگنی [۶] استفاده گردید. نتایج بررسی‌ها نشان داد کل منطقه مورد مطالعه ناهمگن است و نمی‌توان توزیع واحدی را به داده‌های منطقه‌ای حداکثر سرعت باد برازش داد. با بررسی نمودار نسبت گشتاورهای خطی و نیز آماره ناجوری مربوط به هر یک از ایستگاهها مشخص گردید ۵ ایستگاه تهران، بجنورد، خدابنده، بم و اردستان به عنوان ایستگاههای ناجور در منطقه می‌باشند. جهت دستیابی به منطقه همگن و نیز تعیین علت ناهمگنی منطقه و تاثیر هر یک از ایستگاههای ناجور در ایجاد ناهمگنی، سناریوهای مختلفی مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا هر یک از ایستگاهها به صورت انفرادی از مجموعه ایستگاهها حذف گردید و هر بار مقدار آماره ناهمگنی H_1 مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد با حذف ایستگاه تهران بیشترین کاهش در میزان آماره ناهمگنی H_1 حاصل شد. در یک سناریو، مجموع ۴ ایستگاه حذف گردید و آماره ناهمگنی مورد محاسبه قرار گرفت. در این مورد نیز تاثیر حذف ایستگاه ناجور تهران بیشتر از مجموع ۴ ایستگاه دیگر است. بنابراین می‌توان گفت علت اصلی ناهمگنی منطقه‌ای مربوط به ایستگاه تهران است. پیچیدگی توزیع سرعت باد در این منطقه می‌تواند متاثر از ساخت‌های شهری

باشد. تحلیل فراوانی نقطه‌ای نیز در این منطقه رضایت‌بخش نبود و هیچ یک از توابع چگالی احتمال، برازش خوبی به داده‌های حداکثر سرعت باد در این منطقه نداشته است. پس از حذف ایستگاههای ناجور، همگنی قابل قبول برای منطقه مورد نظر حاصل شد و آزمون نکویی برازش Z^{Dist} جهت انتخاب بهترین تابع توزیع منطقه‌ای به کار گرفته شد. تابع توزیع لجستیک تعمیم یافته به عنوان بهترین توزیع منطقه‌ای انتخاب گردید. مدرس نیز با بررسی توابع توزیع مختلف در برازش به داده‌های حداکثر سرعت باد در مناطق خشک و نیمه خشک کشور نشان داد توزیع لجستیک تعمیم یافته بهترین برازش را به داده‌های منطقه‌ای داشته است [۱۵]. در تحلیل فراوانی نقطه‌ای نیز توزیع مورد نظر برازش خوبی با سریهای زمانی حداکثر سرعت باد در بسیاری از ایستگاهها داشته است. با توجه به تنوع پستی و بلندی در مناطق مختلف کشور، توزیع سرعت باد در مناطق مختلف کشور یکسان نیست. جهت بررسی عوامل موثر بر توزیع سرعت باد و طبقه‌بندی مناطق مختلف از نظر سرعت باد، از روش‌های آماری چند متغیره استفاده گردید. نتایج تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی ۴ گروه مختلف سرعت باد را مشخص کرد. در هر یک از گروه‌ها از روش گشتاورهای خطی جهت بررسی همگنی استفاده گردید. به جز بخش مرکزی، همگنی سایر مناطق قابل قبول بود. گروه اول ایستگاههای تشکیل دهنده مناطق ساحلی از جمله نوشهر، انزلی و رشت در شمال و بوشهر و بندرعباس در جنوب بودند که در یک گروه قرار گرفتند و آماره ناهمگنی برای منطقه مورد نظر $۰/۷$ - به دست آمد که نشان دهنده تشابه رفتار سرعت باد در ایستگاههای ساحلی بود. گروه دوم ایستگاههای واقع در امتداد سلسله جبال زاگرس را تشکیل می‌دادند. گروه سوم نیز ایستگاههای مناطق شمال غرب کشور بودند. نتایج روش گشتاورهای خطی در هر سه گروه قابل قبول بود. بررسی ارتباط عامل توزیع با ارتفاع نشان داد درصد توزیع‌های دو عاملی در مناطق با ارتفاع بیش از ۱۰۰۰ متر بیشتر بوده است. توزیع‌های سه عاملی نیز برازش خوبی به داده‌های حداکثر سرعت باد در مناطق ارتفاعی کم داشته‌اند. در توجیه این مسئله می‌توان گفت در ارتفاعات پایین‌تر سرعت باد تحت تاثیر عوامل بیشتری است که رفتار سرعت باد را پیچیده‌تر می‌کنند با این وجود در ارتفاعات بالاتر توزیع‌های دو عاملی برازش بهتری داشته‌اند. اگرچه فرسایش بادی تنها وابسته به سرعت باد نیست با این وجود تحلیل فراوانی سرعت باد و برآورد حداکثر سرعت باد محتمل کمک شایانی به مدیران و برنامه‌ریزان خواهد کرد تا از این طریق بتوانند مناطق بادخیز کشور را از نظر حداکثر سرعت باد مورد شناسایی قرار دهند. با توجه به اینکه تاکنون در کشور، مطالعه جامعی در مورد تحلیل فراوانی سرعت باد صورت نگرفته است نتیجه مطالعه حاضر می‌تواند مورد استفاده برنامه‌ریزان مناطق بیابانی جهت طراحی پروژه‌های کنترل فرسایش بادی از جمله بادشکن‌ها قرار گیرد.

- 12-Kite, G.W. 1977. Frequency and risk analysis in hydrology. Water resources publications, Fort Collins, CO.
- 13-Lashgari, H. and Keykhosravi, G. 2008. Statistical Synoptic Analysis of Dust Storm in Khorasan Razavi Province (1993-2005). Natural Geographic Researchs. 65: 17-33.
- 14-Modarres, R. 2006. Regional precipitation climates of Iran. J. Hydrol (New Zealand). 45(1): 13-27.
- 15-Modarres, R. 2008. Regional maximum wind speed frequency analysis for the arid and semi-arid regions of Iran. Journal of Arid Environments. 72: 1329-1342.
- 16-Ramos, M.C. 2001. Divisive and hierarchical clustering techniques to analyze variability of rainfall distribution patterns in a Mediterranean region. Journal of Hydrological Engineering. 57: 123-138.
- 17-Rao, A.R. and Hamed, K.H. 1997. Regional frequency analysis of wabash river flood data by l-moments. Journal of Hydrological Engineering. 2(4): 169-179.
- 18-Refahi, H. 2001. Wind erosion and conservation, Tehran University Publications, 2nd edition, 11 pp. (In Persian).
- 19-Vogel, R.M. and Fennessey, N.M. 1993. L-moment diagram should replace product moment diagram. Water Resources Research. 29(6): 1745-1752.
- 20-Zolfaghari, H. and Abedzade, H. 2005. Synoptic analysis of dust storms systems in western Iran. Geography and Development. 3(6): 173-188. (In Persian).
- 1-Ahmadi, H. 2008. Applied Geomorphology (Desert-Wind erosion), Tehran University Publications, 3th edition, Vol 2. 249-251 pp. (In Persian).
- 2-Chepil, W.S. 1945a. Dynamics of wind erosion : I. Nature of movement of soil by wind. Soil Science. 60-305-20.
- 3-Cornelis, W.M. and Gabriels, D. 2005. Optimal windbreak design for wind-erosion control. Journal of Arid Environments. 61: 315-322.
- 4-Greenwood, J.A., Landwehr, J.M., Matalas, N.C. and Wallis, J.R. 1979. Probanility weighted moments: definition and relation to parameters of several distributions expressible in inverse form. Water Resources Research. 15(5): 1049-1054.
- 5-Hosking, J.R.M. 1994. The four-parameter Kappa distribution. IBM Journal of Research and Development. 38(3): 251-258.
- 6-Hosking, J.R.M. and Wallis, J.R. 1993. Some statistics useful in regional flood frequency analysis. Water Resources Research. 23: 271-281.
- 7-Hosking, J.R.M. and Wallis, J.R. 1993. Some statistics useful in regional flood frequency analysis. Water Resources Research 23, 271-281.
- 8-Hoskins, J.R.M. 1990. L-moments: analyzing and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. Journal of Royal Statistical Society B, 52, 105-124.
- 9-Hoskins, J.R.M. and Wallis, J.R. 1997. Regional frequency analysis : an approach based on L-Moments, Cambridge university, Cambridge, Angleterre.
- 10-Jaiswal, R.K., Goel, N.K., Singh, P. and Thomas, T. 2002. L-moment base flood frequency modelling. Journal of the Institution of Engineers (India). 84:6-10.
- 11-Kaufman, L. and Rousseuw, P.J. 1990. Finding groups in data: an introduction to cluster analysis. Wiley, New York, 344 pp.

