

## کاهش میزان انرژی باد در اثر تغییرات بلند مدت سرعت باد در استان اصفهان

فاطمه رحیم زاده<sup>1</sup>، مژده پدram<sup>2</sup>

1 و 2- پژوهشکده هواشناسی

### چکیده

به منظور ارزیابی تغییرات انرژی باد در استان اصفهان، تغییرپذیری سرعت باد در دو ایستگاه همدیدی اصفهان و کاشان که بیش از 40 سال آمار دارند، مورد مطالعه قرار گرفته است. داده‌های دیدبانی ساعتی سمت و سرعت باد در ایستگاه اصفهان برای دوره 1961-2005 و در ایستگاه کاشان برای دوره 1966-2005 تحلیل شده‌اند. روند خطی میانگین سالانه سرعت باد در دوره آماری قابل دسترس برای ایستگاه‌های اصفهان و کاشان به ترتیب با نرخ کاهش 0/29 و 0/1 متر بر ثانیه در هر دهه، در سطح معنی داری 0/05، قابل قبول ارزیابی شده‌اند. با استفاده از آزمون آماری کروسکال-والیس، جهش معنی داری در میانگین‌های دهه‌ای سری‌های مذکور مشاهده شده است. مقایسه میانگین سرعت باد در 12 ماه سال و همچنین ساعات مختلف شبانه روز در دو دوره بلند مدت و 1992-2005، کاهش قابل توجه‌ای از میزان سرعت باد و در نتیجه انرژی آن در بلند مدت را برای ایستگاه‌های فوق، نشان داده است. تغییر در توزیع سمت و سرعت باد در مقیاس‌های مختلف زمانی نیز نتیجه شده است. برای مثال می‌توان به کاهش بیشتر سرعت وزش بادهای شرقی تا جنوب غربی (90 تا 240 درجه) نسبت به سایر جهت‌ها و کاهش بیشتر بادهای مربوط به زمان‌های 12/5 ظهر تا 12/5 شب نسبت به سایر اوقات شبانه روز در ایستگاه اصفهان، اشاره نمود.

**کلمات کلیدی:** سرعت باد، انرژی باد، توزیع سرعت باد، تغییرات بلند مدت.

### مقدمه

باد در مقیاس‌های مختلف زمانی است. بادهای غالب و سمت آنها در مکان‌یابی توربین‌های بادی، نقش مهمی دارند، به طوری که توربین‌ها در راستای این بادهای باید کمترین مانع را پیش روی خود داشته باشند.

در دهه‌های اخیر، در کنار بحث تغییرات آب و هوا، مسئله جایگزینی انرژی‌های نو به جای انرژی‌های فسیلی نیز، مورد توجه قرار گرفته است. مطالعات و تحقیقات پراکنده‌ای هم که در جهان درباره اثر تغییر آب و هوا بر منابع انرژی بادی انجام شده، نشان دهنده تغییرات سرعت باد در دو مقیاس زمانی بزرگ و کوچک می‌باشند [15].

بر اساس این تحقیقات برخی از نقاط دنیا شاهد کاهش سرعت باد و به تبع آن کاهش انرژی حاصل از آن بوده‌اند. با استفاده از اطلاعات دوره آماری 1898-1954 میلادی در ساوت پورت<sup>1</sup> کشور انگلستان، نشان داده شده است که میانگین سالانه سرعت باد، کاهش معنی داری داشته که این امر سبب کاهش نامطلوب میزان انرژی باد در آن منطقه نیز شده است [8].

یکی از راهکارهای ارزشمند در کاهش و مهار بحران تقاضای انرژی در سال‌های آتی، کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و صرفه‌جویی در آن، حفاظت محیط زیست و کاهش گازهای موثر بر گرمایش جهانی، همچون دی‌اکسید کربن و گازهای موثر بر تولید باران اسیدی، اکسیدهای نیتروژن، بهره‌گیری از انرژی‌های نو و تجدید پذیر نظیر باد است. به ویژه آن که امروزه ظرفیت تولید برق از توربین‌های بادی بیشتر شده و از نظر اقتصادی نیز، هزینه تولید آن در 10 سال گذشته در سرتاسر جهان به سرعت تنزل کرده است. در سال 2006 تخمین زده شده که قدرت تبدیل انرژی پتانسیل باد به انرژی الکتریسیته نیز نسبت به 7 سال گذشته، رشدی معادل 30/4 درصد را داشته است [15].

سرعت باد مهمترین نقش را در برآورد انرژی باد دارد. از این رو برای انتخاب و نصب توربین‌های بادی در یک ناحیه لازم است، حداقل آمار و اطلاعات باد منطقه برای مدت پنج سال متوالی در دست باشد. یکی از نکات مهم دیگر برای انتخاب محل مزرعه‌های بادی، اطمینان از تداوم

## 2- مواد و روش ها

### 1-2- انرژی باد تابعی از میانگین مکعب سرعت باد

متوسط انرژی باد از رابطه:

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \rho \overline{v^3} \quad (1)$$

که در آن  $\rho$  چگالی هوا و  $v$  سرعت باد می باشد، برآورد می شود. این رابطه از آنجا ناشی می شود که انرژی جنبشی باد متناسب با مربع سرعت، و توان باد متناسب با مکعب سرعت می باشد [1]. سرعت باد و چگالی هوا از مهمترین پارامترهای جوی در برآورد انرژی باد به شمار می روند. محاسبه و تعیین میانگین چگالی هوا با استفاده از پارامترهای جوی از چندین روش میسر می باشد. اما چون تغییرات آن در طول سال حدوداً بین 3 تا 5 درصد بوده و نتیجه برآورد آن از روش های مختلف تقریباً به هم نزدیک می باشد، اهمیت محاسبه انرژی باد، بیشتر به محاسبه متوسط مکعب سرعت باد یعنی  $W = \overline{v^3}$  مربوط خواهد بود. متوسط مکعب سرعت باد را می توان از رابطه:

$$W_d = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^3 \quad (2)$$

که در آن  $v_i$  سرعت باد مشاهده شده در زمان های  $i = 1, 2, \dots, n$  است، به دست آورد. اما محققان اغلب سعی می کنند با برازش یک توزیع احتمالی همچون  $g(v)$  به داده های سرعت باد، میانگین مکعب سرعت باد را از طریق رابطه زیر به دست آورند.

$$W_{id} = \int_0^{\infty} v^3 g(v) dv \quad (3)$$

از آنجا که توزیع سرعت باد طبیعتاً دارای چولگی است، در تعیین توزیع مناسب داده ها، از بین توزیع هایی که دارای چولگی هستند، اغلب توزیع ویبال (Weibull) دو پارامتره [5، 6، 9، 10 و 13]، توزیع ویبال سه پارامتره [14]، توزیع معکوس نرمال [3] و توزیع نرمال دو متغیره [4] برای برازش به سرعت باد و برآورد انرژی آن توصیه می شوند.

تغییر سرعت باد در مقیاس های زمانی بلندمدت 30 تا 50 سال بیشتر، به دلایل گوناگونی همچون تغییرات همدیدی در مقیاس های بلندمدت از دیگر عوامل موثر بر تغییرات سرعت باد به شمار می روند. عوامل انسانی مانند ایجاد تأسیسات و توسعه شهری، گرایش الگوهای ساخت و ساز به سمت سازه های بلند و برج ها نیز در کاهش سرعت باد و انرژی آن در محدوده های شهری و در سطح زمین موثر می باشند [11]. رحیم زاده و همکاران [2] نشان دادند که میانگین سرعت باد در چند شهر بزرگ ایران علاوه بر نوسانات شدید، دارای روند کاهشی بوده است. آنها به جزایر گرمایی، گسترش شهرها و تغییرات ساختاری در محیط اطراف آنها، تغییرات الگوهای بارش و دیگر عناصر جوی به عنوان عوامل موثر بر این تغییر اشاره نمودند. با توجه به مطالب فوق، امروزه باید قبل از هر گونه سرمایه گذاری، انتخاب محل مناسب برای تأسیس مزرعه بادی و اجرای پروژه، تغییرات و روند بلند مدت سمت و سرعت باد منطقه بررسی و نتایج آن مدنظر قرار گیرد.

در این مقاله نتایج بررسی تغییرات بلندمدت سرعت باد در ایستگاه های همدیدی اصفهان و کاشان که در بین ایستگاه های همدیدی استان اصفهان دارای آمار بلند مدت می باشند، ارائه شده است. بر اساس تحلیل آماری سری های سرعت باد در این دو ایستگاه، کاهش سرعت باد سالانه در بلندمدت برای ایستگاه های فوق معنی دار و تغییر در توزیع سرعت بردار باد از لحاظ سمت، در طول شبانه روز و در طول ماه های سال هم مثبت ارزیابی گردیده است. بنابراین، برآورد انرژی باد بر پایه دوره بلند مدت این دو ایستگاه برای هر گونه برنامه ریزی در آینده به منظور نصب توربین، نمی تواند دورنمای واقعی از پتانسیل انرژی باد را در آن نقاط به دست دهد. در این حالت مطالعه و برآورد انرژی باد، باید در دوره های کوتاه مدت تری، صورت پذیرد تا بتوان نتایج منطقی تری را برای برنامه ریزی و ریسک در سرمایه گذاری به دست آورد.

سوم جلوه خواهد کرد. در جدول 1 با توجه به رابطه ریاضی 1 نشان داده شده است که چگونه با کاهش مقادیر سرعت باد به ازای 10، 20 و 30 درصد، میزان انرژی آن با شتاب بیشتری کاهش می یابد.

مهم آنکه با انتخاب هر یک از توزیع‌های فوق و جایگذاری تابع ریاضی آن در معادله 3 نتیجه می شود که هر گونه تغییری اعم از کاهش یا افزایش در مشاهدات سری‌های سرعت باد، در انرژی باد به صورت تابعی از توان

جدول 1- کاهش میانگین میزان انرژی باد به ترتیب به ازای 10، 20 و 30 درصد کاهش در سرعت باد.

کاهش در سرعت باد (در صد)	نسبت کاهش میزان انرژی باد به میزان انرژی اولیه (در صد)
10%	271%
20%	488%
30%	657%

## 2-2- داده‌ها

طول دوره آماری شبکه ایستگاه‌های موجود در استان اصفهان (جدول 2) برای مطالعه تغییرات و روند بلند مدت باد در این استان فقط، به داده‌های سرعت باد (در ساعت سینوپ) در ایستگاه‌های اصفهان و کاشان بسنده شده است. با توجه به جدول 2، ملاحظه می شود که دوره آماری اغلب ایستگاه‌های استان به جز شهرضا دوره 2005-1992 را پوشش می دهد. بنابراین دوره کوتاه مدت مذکور برای مقایسه با نتایج به دست آمده از دوره بلند مدت نیز در نظر گرفته شده است.

شناخت علمی و دقیق از رژیم باد هر منطقه ای شامل سرعت، انرژی و تغییرات آن باید از طریق تحلیل داده‌های حاصل از دیدبانی روزانه و ساعتی باد و دیگر پارامترهای هواشناسی موثر، که به طور صحیح و دقیق در پوشش مکانی و دوره زمانی مناسب اندازه گیری شده اند، صورت پذیرد. بر طبق استانداردهای سازمان هواشناسی جهانی<sup>1</sup> (WMO) پارامتر برداری باد در ارتفاع ده متری از سطح زمین، در ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک و اقلیم شناسی سازمان هواشناسی کشور، اندازه گیری می شود. با توجه به

جدول 2- مشخصات آماری ایستگاه‌های همدیدی استان اصفهان.

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی (شمالی)	عرض جغرافیایی (شرقی)	ارتفاع (متر)	دوره آماری در دسترس (میلادی)
۱	اصفهان (ازن سنجی)	۵۱ ۴۰	۳۲ ۳۷	۱۵۵۰	۲۰۰۵-۱۹۶۱
۲	اردستان	۲۳ ۵۲	۳۳ ۲۳	۱۳۵۲	۲۰۰۵-۱۹۹۲
۳	داران	۲۲ ۵۰	۳۲ ۵۱	۲۲۹۰	۲۰۰۵-۱۹۸۹
۴	خوررپیابانک	۵۵ ۰۵	۳۲ ۴۷	۸۴۵	۲۰۰۵-۱۹۸۶
۵	نائین	۵۳ ۰۵	۳۲ ۵۱	۱۵۴۹	۲۰۰۵-۱۹۹۲
۶	نطنز	۵۱ ۵۴	۳۳ ۳۲	۱۶۸۵	۲۰۰۵-۱۹۹۲
۷	کاشان	۵۱ ۳۷	۳۳ ۵۹	۹۸۲	۲۰۰۵-۱۹۶۶
۸	کبوتر آباد	۵۱ ۵۱	۳۲ ۳۱	۱۵۴۵	۲۰۰۵-۱۹۸۷
۹	گلپایگان	۵۰ ۱۷	۳۲ ۲۸	۱۸۷۰	۲۰۰۵-۱۹۹۲
۱۰	شرق اصفهان	۵۱ ۵۲	۳۲ ۴۰	۱۵۴۳	۲۰۰۵-۱۹۷۶
11	شهرضا	۵۱ ۵۰	۳۱ ۵۹	۱۸۴۵	۲۰۰۵-۱۹۹۳

1. World Meteorological Organization

$$T_c = \left| \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}} \right| > T_{1-\alpha/2} \quad (4)$$

آماره  $T_c$  دارای توزیع تی-استیودنت با  $v=N-2$  درجه آزادی است و کفایت مقدار  $T_c$  مربوط به مشاهدات را تعیین و با مقدار  $T_{1-\alpha/2}$  که از جدول تی-استیودنت مربوط به سطح معنی داری  $\alpha$  استخراج می شود، مقایسه کرد.

سپس جهش در میانگین‌های دهه‌ای سری‌های مذکور محاسبه و معنی داری آنها از نظر آماری براساس آزمون ناپارامتریک کروسکال-والیس<sup>2</sup> [12] که برای بررسی معنی داری چند بار جهش استفاده می‌شود، ارزیابی شده است.

در مکان‌یابی مزرعه‌های بادی عوامل دیگری چون سمت و تداوم باد نیز از اهمیت خاصی برخوردار است. به طوری که در نصب توربین‌ها توصیه می‌شود که سازندگان آنها اثر موانع تا فاصله یک کیلومتری، در جهات مختلف، و به ویژه سمت باد غالب را در نظر بگیرند. از این رو، تغییر توزیع در طول دو دوره برای ساعات دیدبانی همدید، در طی ماه‌های سال و هم‌چنین جهات مختلف نیز محاسبه و تفسیر شده‌اند.

#### 4- نتایج

##### 4-1- تغییرات سالانه سرعت باد در بلندمدت و اثر آن

###### بر انرژی باد برای ایستگاه‌های کاشان و اصفهان

چگونگی تغییرات سری‌های سرعت باد در دوره آماری 45 ساله (1961-2005) اصفهان و 40 ساله (1966-2005) کاشان به همراه معادله روند خطی آنها در دوره بلندمدت و دوره کوتاه مدت در شکل‌های 1-الف و 1-ب ارائه شده‌اند. این روندها در سطح معنی داری کمتر از 0/05 قابل قبول می‌باشند. شیب 0/029- متر بر ثانیه در سال و به عبارت دیگر 0/29- متر بر ثانیه کاهش در دهه برای ایستگاه اصفهان و شیب 0/01- متر بر ثانیه در سال و یا 0/1- متر بر ثانیه کاهش در دهه برای ایستگاه کاشان را

آمار بلندمدت ایستگاه اصفهان تلفیقی از داده‌های ایستگاه فرودگاه قدیم و ایستگاه ازن سنجی اصفهان، از سال 1951 موجود است. اما به دلیل عدم اطمینان از درستی داده‌های سال‌های اول، به داده‌های دوره کوتاه تر 1961-2005 اکتفا شده است. شایان ذکر است در سال 1994 ایستگاه از محل فرودگاه قدیم به مکان فعلی انتقال یافته است، اما این جابجایی ناهمگنی خاصی را در سری ترکیبی نشان نمی‌دهد. نکته مهم در مورد داده‌های سمت و سرعت باد در ایستگاه اصفهان آن است که این پارامترها در تمامی 8 نوبت دیدبانی شبانه‌روز اندازه‌گیری و ثبت شده‌اند و بنابراین تحلیل آنها می‌تواند گویای وضعیت میانگین سرعت باد در شبانه روز باشند. داده‌های سرعت باد در ایستگاه کاشان از سال 1966 در دسترس می‌باشد. متأسفانه بردار باد این ایستگاه غالباً بین سال‌های 1971-1981 اندازه‌گیری نشده و از این نظر، این دوره دارای داده گمشده می‌باشد. به علاوه داده‌های سمت و سرعت باد در ایستگاه کاشان در سال‌های اولیه فقط به داده‌های ثبت شده در ساعات 03 تا 15 به وقت<sup>1</sup> UTC، مطابق با 6/5 صبح تا 18/5 بعدازظهر به وقت محلی، محدود بوده است. همین امر سبب گردیده که میانگین سرعت باد در سال‌های اولیه با سال‌های پایانی دوره همگن نباشد. شایان ذکر است در این مقاله، تغییرات بلندمدت سرعت باد ایستگاه کاشان نیز در دوره 1966-2005 بدون پر نمودن هیچ کمبود آماری مورد بررسی قرار گرفته است.

در این بررسی ابتدا تغییرات بلندمدت سرعت باد، روند خطی میانگین سالانه سرعت باد در ارتفاع ده متری از سطح زمین با استفاده از روش حداقل مربعات [7] برای دو ایستگاه اصفهان و کاشان در دو دوره بلندمدت و کوتاه مدت محاسبه و مورد مقایسه قرار گرفته است. با استفاده از روش حداقل مربعات، علاوه بر تعیین معادله خط روند به شکل  $\alpha_0 + \alpha_1 t$ ، با استفاده از آزمون فرض  $\alpha_1 = 0$ ، و آماره  $T$  به شکل زیر، می‌توان به آشکارسازی روند خطی پی برد.

1. UTC: Universal Time Coordination

2. Kruskal-Wallis

دهه‌ای سری‌های سرعت باد در بین سال‌های 2000-1961 و همچنین میانگین یک دوره پنج ساله 2005-2001، به ترتیب برای دو ایستگاه اصفهان و کاشان نشان داده شده‌اند. میانگین سرعت باد در این دهه‌ها برای دو ایستگاه کاشان و اصفهان در جدول 3 ارائه شده است. از ملاحظه جدول 3 و همچنین شکل‌های 2-الف و 2-ب جهش کاهشی سرعت باد را طی دوره آماری موجود هر ایستگاه می‌توان مشاهده نمود. براساس آزمون کروسکال-والیس نیز برابری میانگین‌های سرعت‌ها در این 5 دوره در سطح معنی‌داری 0/05 رد شده است.

نشان می‌دهند که میانگین سرعت باد در مقیاس سالانه در این دو ایستگاه افت نسبتاً زیادی داشته است. هر چند 0/1 متر بر ثانیه در دهه از نظر ریاضی مقدار ناچیزی است، اما در مقابل میانگین سرعت باد در کاشان مقدار قابل ملاحظه‌ای می‌باشد. البته باید توجه داشت که بخشی از افزایش نسبی سرعت باد در اوائل دوره به نبود اطلاعات سرعت باد در شب، که غالباً در اکثر مناطق کمتر از روز نیز می‌باشد، مربوط می‌شود. اما در مورد ایستگاه اصفهان نمی‌توان چنین دلیلی را برای کاهش سرعت باد اندازه‌گیری شده، مطرح نمود. از سوی دیگر در شکل 2-الف و 2-ب میانگین‌های

جدول 3- میانگین سرعت باد ایستگاه‌های اصفهان و کاشان در دهه‌های مختلف (بر حسب متر بر ثانیه).

دهه					ایستگاه
2001-2005	1991-2000	1981-90	1971-80	1961-70	
1/5	1/5	1/6	2/1	2/5	اصفهان
0/5	0/4	0/8	-	0/8	کاشان

این رو می‌تواند معیار برنامه‌ریزی‌های آبی در زمینه انرژی باد باشند.

مجدداً به منظور تشخیص نسبت کاهش سرعت باد در طول سال، میانگین ماهانه سرعت باد براساس آمار بلندمدت و کوتاه مدت ایستگاه اصفهان و کاشان محاسبه و در شکل‌های 3-الف و 3-ب مشخص شده‌اند. از ملاحظه این شکل‌ها چنین برمی‌آید که میانگین ماهانه در دوره منتخب 1992-2005 برای هر دو ایستگاه ضمن حفظ شکل (نوع) توزیع، به مراتب کمتر از مقادیر متناظر آن در بلند مدت است. این کاهش بیشتر به فاصله ماه‌های مارس (اسفند) تا آگوست (مرداد) مربوط می‌شود. این ماه‌ها در حقیقت ماه‌هایی با سرعت زیاد باد به شمار می‌روند که در صورت هر گونه سرمایه‌گذاری در امر مکان‌یابی مزرعه‌های بادی به ارقام آنها استناد می‌شود و کاهش در آنها به منزله ضرر دهی خواهد بود.

براساس نرخ کاهشی 0/29 متر بر ثانیه در دهه سرعت باد و 130 درصدی در طول 4/5 دهه  $(-1/305 = -0/29) \times$  4/5) در ایستگاه اصفهان و نرخ کاهشی 0/1 متر بر ثانیه در دهه و 40 درصدی در طول 4 دهه  $(-0/4 = -0/1 \times 4)$  در ایستگاه کاشان و همچنین کاهش تقریباً 166 درصدی میانگین سرعت باد در چند سال اخیر نسبت به دهه اول آمار موجود هر ایستگاه، می‌توان ادعا نمود که این کاهش‌ها شدیداً بر میزان انرژی باد سال‌های اخیر، نسبت به اوائل دوره موثر بوده‌اند. بنابراین چگالی توان انرژی باد بر اساس سرعت‌های باد در دوره‌های بلندمدت، نمی‌تواند برآورد مناسبی از توان انرژی باد به منظور پیش‌بینی آن برای سال‌های آتی باشد. بررسی میانگین‌های سالانه در دوره کوتاه تر نشان می‌دهند که روند سرعت باد در دوره 2005-1992 در ایستگاه اصفهان با یک ایستایی نسبی و در ایستگاه کاشان با حالت افزایشی ناچیزی مواجه است و از

تا 12/5 شب به وقت محلی و در سمت بادهای شرقی به سمت جنوب تا جنوب غربی بوده و به عبارت دیگر توزیع سرعت باد در سمت‌های مختلف تغییر نموده است. در ایستگاه کاشان نیز سرعت باد به مراتب نسبت به بلندمدت کاهش یافته و این کاهش نیز در ساعات 12/5 ظهر تا 12/5 شب به وقت محلی بوده، اما به لحاظ سمت به طور نامنظم وزیده است. عدم وجود داده‌های بادهای شبانه در اوائل دوره می‌تواند بخشی از کاهش بادهای کاشان را توجیه نماید. شایان ذکر است که ایستگاه‌های همدیدی اصفهان و کاشان که در مجاورت شهرهای اصفهان و کاشان قرار گرفته‌اند، با توسعه شهری قابل توجه‌ای مواجه بوده‌اند. براساس آمار مرکز آمار ایران جمعیت شهر اصفهان در دوره 1375-1335 شمسی مطابق با 1996-1956 میلادی افزایشی تقریباً بالغ بر 5 برابر، نسبت به سال 1335 داشته است [16] آمار جمعیت شهر اصفهان بر اساس نتایج سرشماری سال 1385 بالغ بر 1,206,110 نفر اعلام شده است. این اعداد و ارقام حاکی از رشد جمعیت و توسعه شهری در اطراف آن می‌باشد و بخشی از تغییرات ایجاد شده به همین امر برمی‌گردد. البته این کاهش شدید در میانگین سرعت باد در ایستگاه‌هایی همچون اصفهان و کاشان می‌تواند یک هشدار جدی تلقی گردد. زیرا همراهی آن با عواملی همچون افزایش جمعیت و توسعه شهری سبب بالا رفتن پتانسیل آلودگی هوا در این شهرها می‌شود. به علاوه یادآوری می‌نماید که برای هر گونه سرمایه‌گذاری بهینه در امر استفاده از انرژی تجدید پذیر باد باید تغییرات احتمالی بلند مدت سمت و سرعت باد که به هر دلیلی ممکن است رخ دهد، به تفصیل مورد بررسی قرار گیرد.

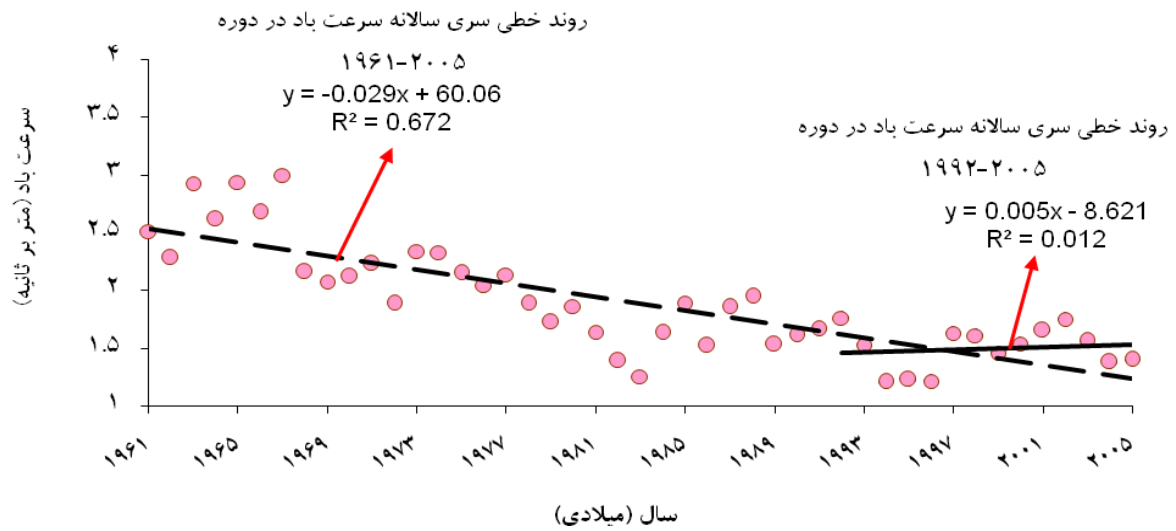
تغییرات سرعت باد در مقیاس ساعتی نیز در شکل‌های 4- الف و 4- ب مشخص شده است. ملاحظه می‌گردد که تغییرات سالانه میانگین سرعت باد در مقیاس ساعتی ضمن حفظ تقریبی توزیع آن‌ها کاهش یافته است. البته این کاهش بیشتر به ساعت‌های 09 تا 21 به وقت UTC، مطابق با 12/5 ظهر تا 12/5 شب به وقت محلی، مربوط می‌شود. به عبارت دیگر کاهش‌های به وقوع پیوسته به صورت یکنواخت صورت نمی‌پذیرد که باید در برنامه‌ریزی‌های عمرانی به تداوم این بادهای توجه شود.

#### 2-4- تغییرات سالانه سمت باد در بلندمدت و اثر آن بر انرژی باد برای ایستگاه‌های کاشان و اصفهان

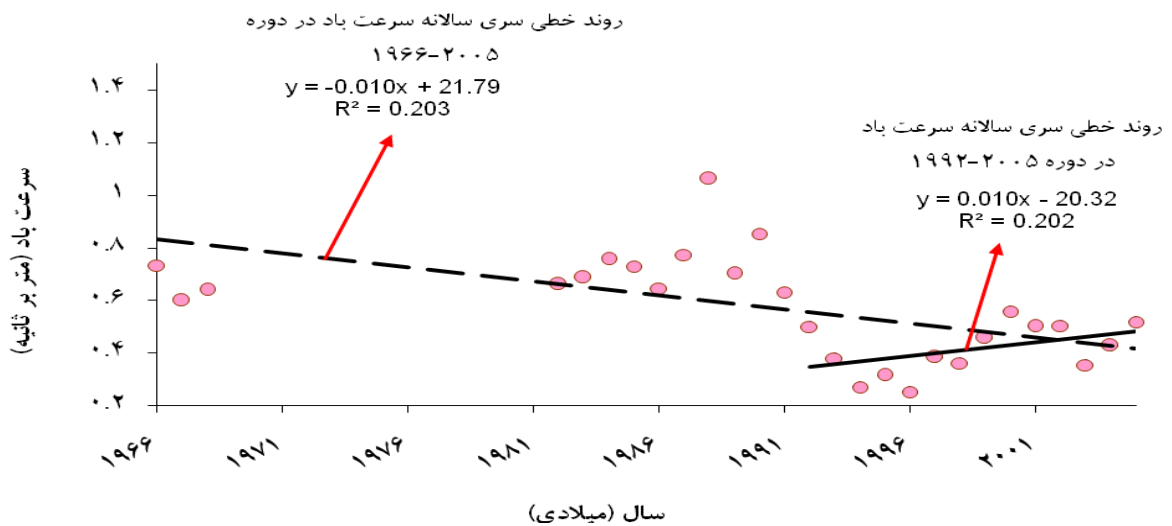
شکل‌های 5- الف و 5- ب تغییر میانگین سرعت باد را در سمت‌های 10 تا 360 درجه طی این دو دوره به طور مقایسه‌ای نمایش می‌دهند. باد صفر درجه یعنی بادی که از شمال به سمت ایستگاه می‌وزد و بادهای 90، 180 و 270 درجه به ترتیب بادهای شرقی، جنوبی و غربی محسوب می‌شوند. با ملاحظه دقیق این شکل‌ها در می‌یابیم که سرعت وزش بادهای شرقی تا جنوب غربی (90 تا 240 درجه)، در ایستگاه اصفهان به مراتب نسبت به سایر جهت‌ها کاهش بیشتری یافته است. این تغییرات در ایستگاه کاشان به وضوح دیده نمی‌شود اما می‌توان گفت که سرعت باد به طور نامنظم در جهات مختلف کاهش یافته است. تغییر جهت باد در این ایستگاه یا هر مکان دیگر که به هر دلیلی اعم از تغییرات الگوهای حرکات جوی در مقیاس‌های بلندمدت، یا عوامل انسانی مانند توسعه و تأسیسات شهری، تمامی معادلات بهره‌گیری مناسب و از پیش تعیین شده از پتانسیل توان باد را برای نصب توربین‌های بادی، مخدوش می‌نماید.

#### بحث و نتیجه‌گیری

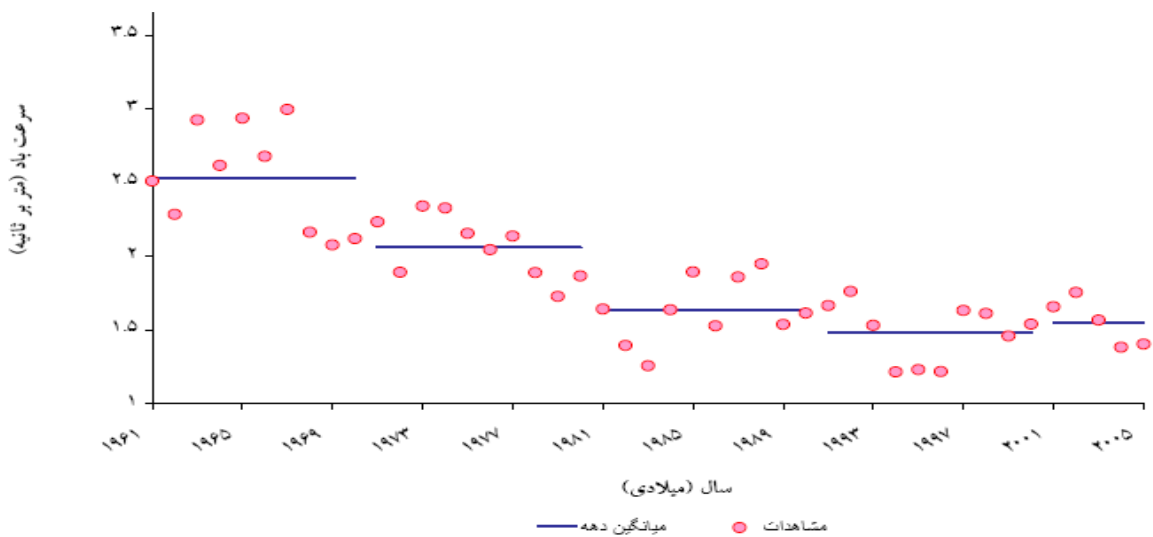
آمارها نشان می‌دهند که سرعت باد در ایستگاه اصفهان کاهش یافته و این کاهش بیشتر مربوط به فاصله زمانی ماه‌های مارس تا آگوست و در ساعات 12/5 ظهر



شکل 1- الف - مقایسه سری میانگین سالانه سرعت باد به همراه روند خطی آن در ایستگاه اصفهان برای دو دوره 1961-2005 و 1992-2005.



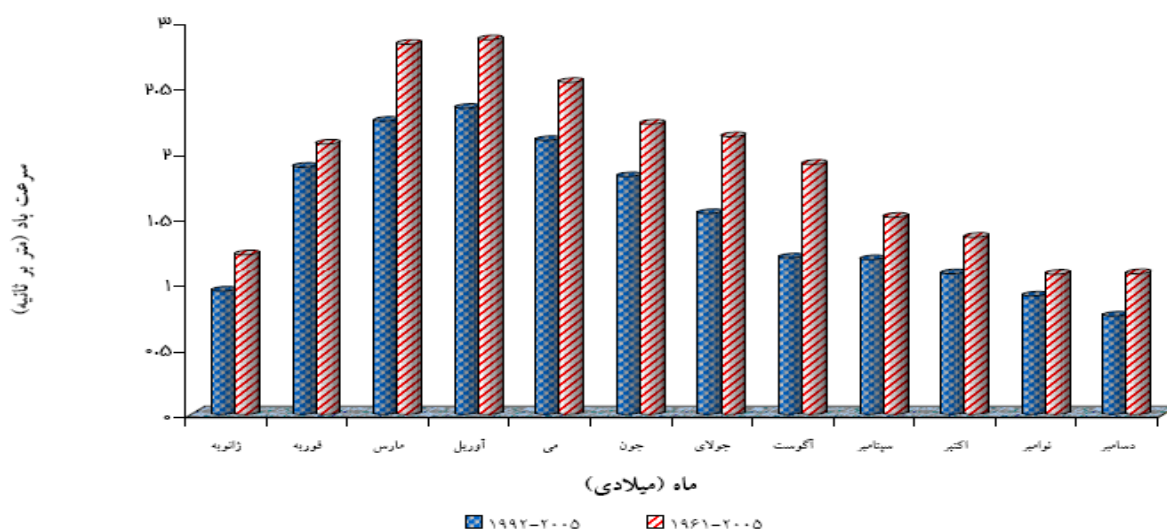
شکل 1- ب - مقایسه سری میانگین سالانه سرعت باد به همراه روند خطی آن در ایستگاه کاشان برای دو دوره 1966-2005 و 1992-2005.



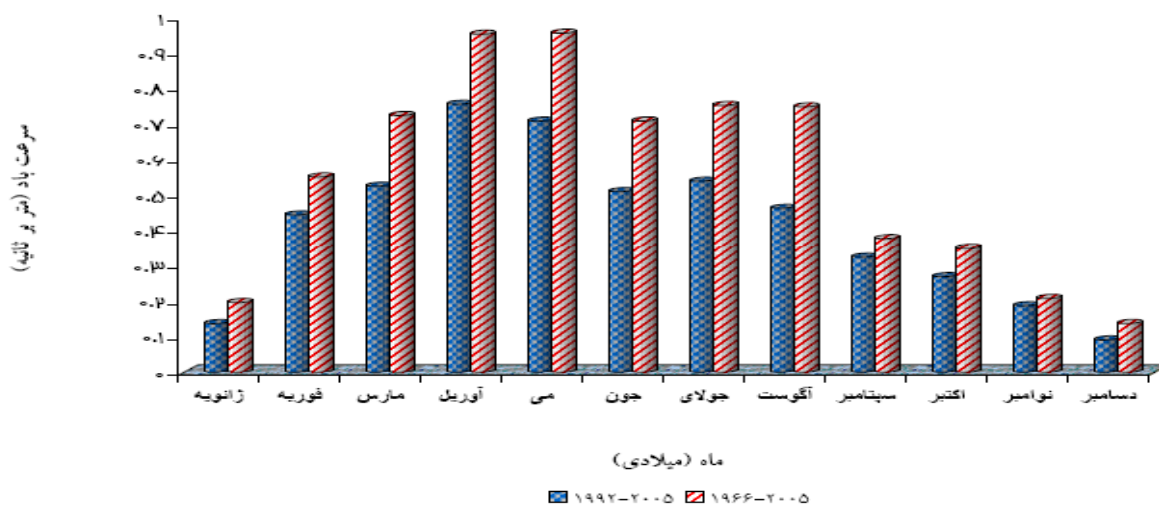
شکل 2- الف - جهش در میانگین های دهه ای سری میانگین سالانه سرعت باد در ایستگاه اصفهان برای دوره 1961-2005.



شکل 2- ب - جهش در میانگین های دهه ای سری سالانه میانگین سرعت باد در ایستگاه کاشان برای دوره 1966-2005

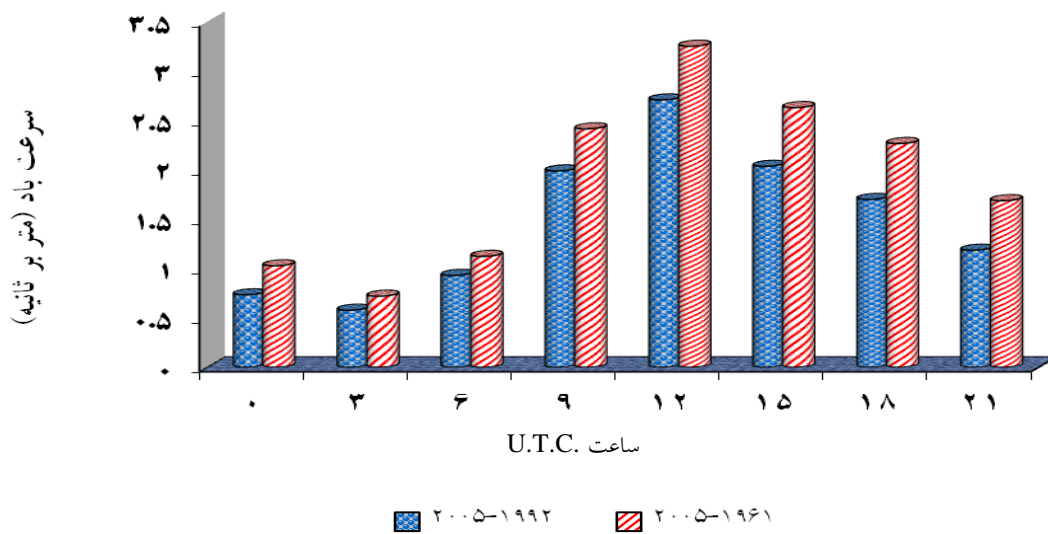


شکل 3- الف - مقایسه میانگین سرعت باد در ایستگاه اصفهان برای دو دوره 1961-2005 و 1992-2005.

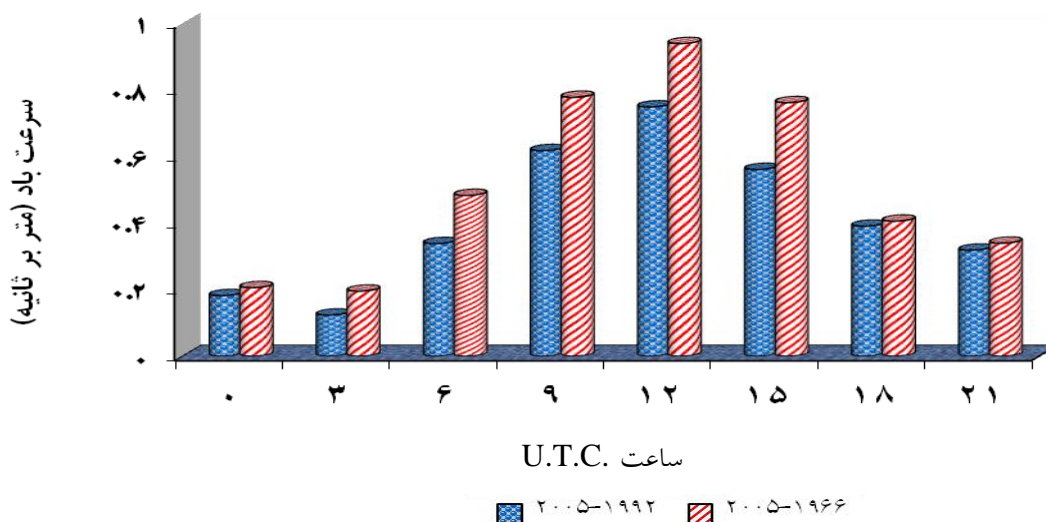


شکل 3- ب - مقایسه میانگین ماهانه سرعت باد در ایستگاه کاشان برای دو دوره 1966-2005 و 1992-2005.





شکل 4- الف- مقایسه میانگین سرعت باد در ساعات مختلف ایستگاه اصفهان برای دو دوره 1992-2005 و 1961-2005.



شکل 4- ب- مقایسه میانگین سرعت باد در ساعات مختلف ایستگاه کاشان برای دو دوره 1992-2005 و 1966-2005.

Atmosphere over Southern Africa. Journal of Applied Meteorology, 34, 2565-2571.

- Hennesy, J. P., 1977, some aspects of wind power statistics. Journal of Applied Meteorology, 16, 119-128.
- Justus, C. G., W. R. Hargraves, A. Milhai, and D. Garber, 1978, Methods for estimating wind speed frequency distributions. Journal of Applied Meteorology, 17, 350-353.
- Maidment, David R., 1993. Handbook of Hydrology Mc-Grawhill
- Palutikof, P. J., Kelly, M. P., and Davies, D. T., and Halliday, A. J., 1987, Impacts of spatial and temporal wind speed variability on

## منابع

- تقفی، م. 1382، انرژی‌های تجدیدپذیر نوین، انتشارات دانشگاه تهران، 389.
- رحیم زاده، ف.، ن.، محمدیان، ج.، اکبری نژاد، 1385، بررسی تغییر پذیری سرعت باد در تعدادی از شهرهای بزرگ کشور در ارتفاع ده متری از سطح زمین، مجله علمی و فنی سازمان هواشناسی، نیوار، شماره 62 و 63، ص 20-7.
- Bardsley, E. W., 1980, Note on the Use of the inverse gaussian distribution for wind energy applications, J. Appl. Meteor., 19, 1126-1130.
- Bryukhan, F. F., Diab, D. R., 1995, wind energy resource estimation of the upper

12. Sheskin, D. J., 2000, Hand book of parametric and non parametric statistical procedures, Chapman & Hall/CRG.
13. Shutte, T., O. Silka and S. Israelssor, 1987, the use of the Weibull distribution for thunderstorm Parameters, Journal of Applied Meteorology, Vol. 26. 457-463.
14. Stewart, D. A., and O.M. Essenwanger, 1978, Frequency distribution of wind speed near the surface. Journal of Applied Meteorology, 17, 1633-1642.
15. Zhai, Z., Y., Zhenbin, 2006, Bulletin of WMO, Vol, 55 (2), Switzerland, Geneva, 104-107.
16. URL1: [www.sci.org.ir](http://www.sci.org.ir)
- wind energy output, Journal of Applied Meteorology., 26, 1124-1133.
9. Pavia, E. G. and J. O Brien, 1986, Weibull statistics of wind speed over the ocean, Journal of Applied Meteorology., 25, 1324-1332.
10. Raymond K. W. Wong, 1977, Weibull Distribution, Iterative likelihood techniques and Hydro meteorological data, Journal of Applied Meteorology. 16, 1360-1364.
11. Robeson, S. M., and K. A. Shein, 1997, spatial coherence and decay of wind speed and power in the north-central United States. Phys. George., 479-495.