

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

فاطمه رحیم زاده^۱، مژده پدرام^۲

۱ و ۲- 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 ۴۰ سال آمار دارند، مورد مطالعه قرار گرفته است. داده های دیدبانی ساعتی سمت و سرعت باد در ایستگاه اصفهان برای دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۵ و در ایستگاه کاشان برای دوره ۲۰۰۵-۱۹۶۶ تحلیل شده اند. روند خطی میانگین سالانه سرعت باد در دوره آماری قابل دسترس برای ایستگاه های اصفهان و کاشان به ترتیب با نرخ کاهشی ۰/۲۹ و ۰/۱ متر بر ثانیه در هر دهه، در سطح معنی داری ۰/۰۵، قابل قبول ارزیابی شده اند. با استفاده از آزمون آماری کروسال-والیس، جهش معنی داری در میانگین های دهه ای سری های مذکور مشاهده شده است. مقایسه میانگین سرعت باد در ۱۲ ماه سال و همچنین ساعات مختلف شبانه روز در دو دوره بلند مدت و ۱۹۹۲-۲۰۰۵، کاهش قابل توجهی از میزان سرعت باد و در نتیجه انرژی آن در بلند مدت را برای ایستگاه های فوق، نشان داده است. تغییر در توزیع سمت و سرعت باد در مقیاس های مختلف زمانی نیز نتیجه شده است. برای مثال می توان به کاهش بیشتر سرعت وزش باد های شرقی تا جنوب غربی (۹۰ تا ۲۴۰ درجه) نسبت به سایر جهت ها و کاهش بیشتر باد های مربوط به زمان های ۱۲/۵ ظهر تا ۱۲/۵ 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 مقیاس های مختلف زمانی است. بادهای غالب و سمت آنها در مکان یابی توربین های بادی، نقش مهمی دارند، به طوری که توربین ها در راستای این بادهای باید کمترین مانع را پیش روی خود داشته باشند.

در دهه های اخیر، در کنار بحث تغییرات آب و هوا، مسئله جایگزینی انرژی های نو به جای انرژی های فسیلی نیز، مورد توجه قرار گرفته است. مطالعات و تحقیقات پراکنده ای 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 می باشند [۱۵].

بر اساس این تحقیقات برخی از نقاط دنیا شاهد کاهش سرعت باد و به تبع آن کاهش انرژی حاصل از آن بوده اند. با استفاده از اطلاعات دوره آماری ۱۹۵۴-۱۸۹۸ میلادی در ساوت پورت^۱ 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 [۸].

یکی از راهکارهای ارزشمند در کاهش و مهار بحران تقاضای انرژی در سال های آتی، کاهش مصرف سوخت های فسیلی و صرفه جویی در آن، حفاظت محیط زیست و کاهش گازهای موثر بر گرمایش جهانی، همچون دی اکسید کربن و گازهای موثر بر تولید باران اسیدی، اکسیدهای نیتروژن، بهره گیری از انرژی های نو و تجدید پذیر نظیر باد است. به ویژه آن که امروزه ظرفیت تولید برق از توربین های بادی بیشتر شده و از نظر اقتصادی نیز، هزینه تولید آن در ۱۰ سال گذشته در سرتاسر جهان به سرعت تنزل کرده است. در سال ۲۰۰۶ تخمین زده شده که قدرت تبدیل انرژی پتانسیل باد به انرژی الکتریسیته نیز نسبت به ۷ سال گذشته، رشدی معادل ۳۰/۴ درصد را داشته است [۱۵].

سرعت باد مهمترین نقش را در برآورد انرژی باد دارد. از این رو برای انتخاب و نصب توربین های 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 مزرعه های بادی، اطمینان از تداوم

۲- مواد و روش ها

۱-۲- انرژی باد تابعی از میانگین مکعب سرعت باد

متوسط انرژی باد از رابطه:

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

که در آن ρ چگالی هوا و v سرعت باد می‌باشد، برآورد می‌شود. این رابطه از آنجا ناشی می‌شود که انرژی جنبشی باد متناسب با مربع سرعت، و توان باد متناسب با مکعب سرعت می‌باشد [۱]. سرعت باد و چگالی هوا از مهمترین پارامترهای جوی در برآورد انرژی باد به شمار می‌روند. محاسبه و تعیین میانگین چگالی هوا با استفاده از پارامترهای جوی از چندین روش میسر می‌باشد. اما چون تغییرات آن در طول سال حدوداً بین ۳ تا ۵ درصد بوده و نتیجه برآورد آن از روش‌های مختلف تقریباً به هم نزدیک می‌باشد، اهمیت محاسبه انرژی باد، بیشتر به محاسبه متوسط مکعب سرعت باد یعنی $W = \bar{v}^3$ مربوط خواهد بود.

متوسط مکعب سرعت باد را می‌توان 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 زمان‌های $i = 1, 2, \dots, n$ است، به دست آورد. اما محققان اغلب سعی می‌کنند با برازش یک توزیع احتمالی همچون $g(v)$ به داده‌های 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 داده‌ها، از بین توزیع‌هایی که دارای چولگی هستند، اغلب توزیع ویبال (Weibull) دو پارامتره [۵]، [۶]، [۹]، [۱۰] و [۱۳]، توزیع ویبال سه پارامتره [۱۴]، توزیع معکوس نرمال [۳] و توزیع نرمال دو متغیره [۴] برای برازش به سرعت باد و برآورد انرژی آن توصیه می‌شوند.

تغییر سرعت باد در مقیاس‌های زمانی بلندمدت ۳۰ تا ۵۰ سال بیشتر، به دلایل گوناگونی همچون تغییرات همدیدی در مقیاس‌های بلندمدت از دیگر عوامل موثر بر تغییرات سرعت باد به شمار می‌روند. عوامل انسانی مانند ایجاد تأسیسات و توسعه شهری، گرایش الگوهای ساخت و ساز به سمت سازه‌های بلند و برج‌ها نیز در کاهش سرعت باد و انرژی آن در محدوده‌های شهری و در سطح زمین موثر می‌باشند [۱۱]. رحیم زاده و همکاران [۲] 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 ایستگاه‌های همدیدی اصفهان و کاشان که در بین ایستگاه‌های همدیدی استان اصفهان دارای آمار بلند مدت می‌باشند، ارائه شده است. بر اساس تحلیل آماری سری‌های سرعت باد در این دو ایستگاه، کاهش سرعت باد سالانه در بلندمدت برای ایستگاه‌های فوق معنی‌دار و تغییر در توزیع سرعت بردار باد از لحاظ سمت، در طول شبانه روز و در طول ماه‌های 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، نمی‌تواند دورنمای واقعی از پتانسیل انرژی باد را در آن نقاط به دست دهد. در این حالت مطالعه و برآورد انرژی باد، باید در دوره‌های کوتاه مدت‌تری، صورت پذیرد تا بتوان نتایج منطقی‌تری را برای برنامه ریزی و ریسک در سرمایه گذاری به دست آورد.

مهم آنکه با انتخاب هر یک از توزیع‌های فوق و جایگذاری تابع ریاضی آن در معادله ۳ نتیجه می‌شود که هر گونه تغییری اعم از کاهش یا افزایش در مشاهدات سری‌های سرعت باد، در انرژی باد به صورت تابعی از توان سوم جلوه خواهد کرد. در جدول ۱ با توجه به رابطه ریاضی ۱ نشان داده شده است که چگونه با کاهش مقادیر سرعت باد به ازای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد، میزان انرژی آن با شتاب بیشتری کاهش می‌یابد.

جدول ۱- کاهش میانگین میزان انرژی باد به ترتیب به ازای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد کاهش در سرعت باد.

کاهش در سرعت باد (در صد)	نسبت کاهش میزان انرژی باد به میزان انرژی اولیه (در صد)
٪۱۰	٪۲۷۱
٪۲۰	٪۴۸۸
٪۳۰	٪۶۵۷

۲-۲- داده‌ها

طول دوره آماری شبکه ایستگاه‌های موجود در استان اصفهان (جدول ۲) 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 ۲، ملاحظه می‌شود که دوره آماری اغلب ایستگاه‌های استان به جز شهرضا دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۲ را پوشش می‌دهد. 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 اندازه‌گیری شده‌اند، صورت پذیرد. بر طبق استانداردهای سازمان هواشناسی جهانی^۱ (WMO) پارامتر برداری باد در ارتفاع ده متری از سطح زمین، در ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک و اقلیم‌شناسی سازمان هواشناسی کشور، اندازه‌گیری می‌شود. با توجه به

جدول ۲- 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	۱۹۶۱-۲۰۰۵
۲	اردستان	۲۳° ۵۲'	۳۳° ۲۳'	۱۳۵۲	۱۹۹۲-۲۰۰۵
۳	داران	۲۲° ۵۰'	۳۲° ۵۸'	۲۲۹۰	۱۹۸۹-۲۰۰۵
۴	خورریبانک	۵۵° ۰۵'	۳۲° ۴۷'	۸۴۵	۱۹۸۶-۲۰۰۵
۵	نائین	۵۳° ۰۵'	۳۲° ۵۱'	۱۵۴۹	۱۹۹۲-۲۰۰۵
۶	نطنز	۵۱° ۵۴'	۳۳° ۳۲'	۱۶۸۵	۱۹۹۲-۲۰۰۵
۷	کاشان	۵۱° ۲۷'	۳۳° ۵۹'	۹۸۲	۱۹۶۶-۲۰۰۵
۸	کیوترآباد	۵۱° ۵۱'	۳۲° ۳۱'	۱۵۴۵	۱۹۸۷-۲۰۰۵
۹	گلپایگان	۵۰° ۱۷'	۳۲° ۲۸'	۱۸۷۰	۱۹۹۲-۲۰۰۵
۱۰	شرق اصفهان	۵۱° ۵۲'	۳۲° ۴۰'	۱۵۴۳	۱۹۷۶-۲۰۰۵
۱۱	شهرضا	۵۱° ۵۰'	۳۱° ۵۹'	۱۸۴۵	۱۹۹۳-۲۰۰۵

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.

$$T_c = \left| \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}} \right| > T_{1-\alpha/2} \quad (۴)$$

آماره T_c دارای توزیع تی-استیودنت با $\nu = N-2$ 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 معنی‌داری α استخراج می‌شود، مقایسه کرد.

سپس جهش در میانگین‌های دهه‌های سری‌های مذکور محاسبه و معنی‌داری آنها از نظر آماری براساس آزمون ناپارامتریک کروسکال-والیس^۲ [۱۲] که برای بررسی معنی‌داری 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.

۴- نتایج

۴-۱- 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 ۴۵ ساله (۱۹۶۱-۲۰۰۵) اصفهان و ۴۰ ساله (۱۹۶۶-۲۰۰۵) کاشان به همراه معادله روند خطی آنها در دوره بلندمدت و دوره کوتاه مدت در شکل‌های ۱-الف و ۱-ب ارائه شده‌اند. این روندها در سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵ قابل قبول می‌باشند. شیب ۰/۲۹- متر بر ثانیه در سال و به عبارت دیگر ۰/۲۹- متر بر ثانیه کاهش در دهه

آمار بلندمدت ایستگاه اصفهان تلفیقی از داده‌های ایستگاه فرودگاه قدیم و ایستگاه ازن سنجی اصفهان، از سال ۱۹۵۱ موجود است. اما به دلیل عدم اطمینان از درستی داده‌های سال‌های اول، به داده‌های دوره کوتاه تر ۲۰۰۵-۱۹۶۱ اکتفا شده است. شایان ذکر است در سال ۱۹۹۴ 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 ۸ 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 ۱۹۶۶ در دسترس می‌باشد. متأسفانه بردار باد این ایستگاه غالباً بین سال‌های ۱۹۸۱-۱۹۷۱ 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 ۰۳ تا ۱۵ به وقت^۱ UTC، مطابق با ۶/۵ صبح تا ۱۸/۵ 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 ۲۰۰۵-۱۹۶۶ 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 [۷] 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

1. UTC: Universal Time Coordination

2. Kruskal-Wallis

نمود. از سوی دیگر در شکل ۲-الف و ۲-ب میانگین‌های دهه‌ای سری‌های سرعت باد در بین سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۶۱ و همچنین میانگین یک دوره پنج ساله ۲۰۰۵-۲۰۰۱، 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 ۳ ارائه شده است. از ملاحظه جدول ۳ و همچنین شکل‌های ۲-الف و ۲-ب جهش کاهشی سرعت باد را طی دوره آماری موجود هر ایستگاه می‌توان مشاهده نمود. براساس آزمون کروסקال-والیس نیز برابری میانگین‌های سرعت‌ها در این ۵ دوره در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ رد شده است.

برای ایستگاه اصفهان و شیب ۰/۰۱- متر بر ثانیه در سال و یا ۰/۱ متر بر ثانیه کاهش در دهه برای ایستگاه کاشان را نشان می‌دهند که میانگین سرعت باد در مقیاس سالانه در این دو ایستگاه افت نسبتاً زیادی داشته است. هر چند ۰/۱ 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

جدول ۳- میانگین سرعت باد ایستگاه‌های اصفهان و کاشان در دهه‌های مختلف (بر حسب متر بر ثانیه).

ایستگاه	دهه				
	۱۹۶۱-۷۰	۱۹۷۱-۸۰	۱۹۸۱-۹۰	۱۹۹۱-۲۰۰۰	۲۰۰۱-۲۰۰۵
اصفهان	۲/۵	۲/۱	۱/۶	۱/۵	۱/۵
کاشان	۰/۸	-	۰/۸	۰/۴	۰/۵

افزایشی ناچیزی مواجه است و از این رو می‌توانند 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 ۳-الف و ۳-ب مشخص شده‌اند. از ملاحظه این شکل‌ها چنین برمی‌آید که میانگین ماهانه در دوره منتخب ۲۰۰۵-۱۹۹۲ برای هر دو ایستگاه ضمن حفظ شکل (نوع) توزیع، به مراتب کمتر از مقادیر متناظر آن در بلندمدت 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 ۰/۲۹ متر بر ثانیه در دهه سرعت باد و ۱۳۰ درصدی در طول ۴/۵ دهه $(-۱/۳۰۵ = -۰/۲۹ \times ۴/۵)$ در ایستگاه اصفهان و نرخ کاهشی ۰/۱ متر بر ثانیه در دهه و ۴۰ درصدی در طول ۴ دهه $(-۰/۴ = -۰/۱ \times ۴)$ در ایستگاه کاشان و همچنین کاهش تقریباً ۱۶۶ درصدی میانگین سرعت باد در چند سال اخیر نسبت به دهه اول 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 کوتاه‌تر نشان می‌دهند که روند سرعت باد در دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۲ در ایستگاه اصفهان با یک ایستایی نسبی و در ایستگاه کاشان با حالت

تغییرات سرعت باد در مقیاس ساعتی نیز در شکل‌های ۴- الف و ۴- 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 ۰۹ تا ۲۱ به وقت UTC، مطابق با ۱۲/۵ ظهر تا ۱۲/۵ 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 پدیده توجه شود.

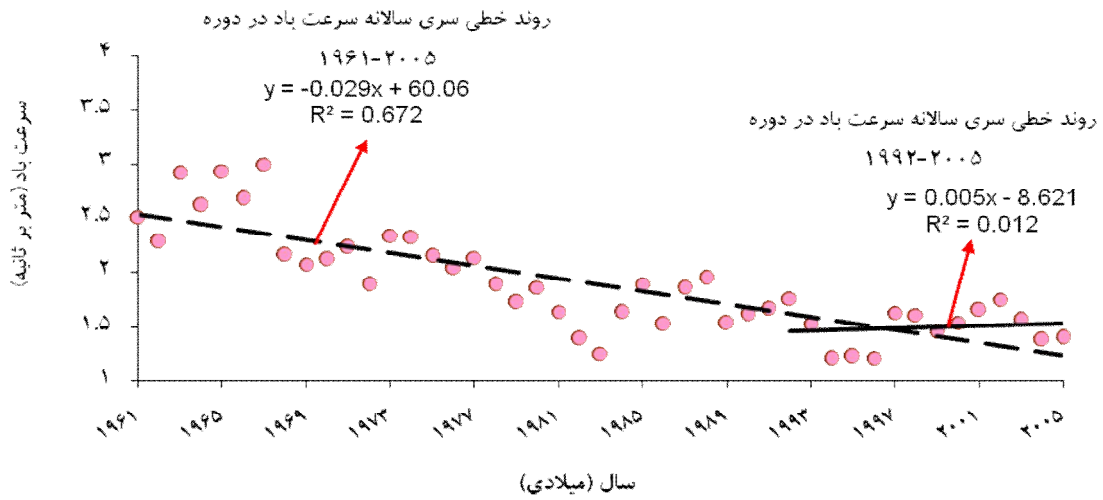
۴-۲- تغییرات سالانه سمت باد در بلندمدت و اثر آن بر انرژی باد برای ایستگاه‌های کاشان و اصفهان

شکل‌های ۵- الف و ۵- ب تغییر میانگین سرعت باد را در سمت‌های ۱۰ تا ۳۶۰ درجه طی این دو دوره به طور مقایسه‌ای نمایش می‌دهند. باد صفر درجه یعنی بادی که از شمال به سمت ایستگاه می‌وزد و بادهای ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ 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 (۹۰ تا ۲۴۰ 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.

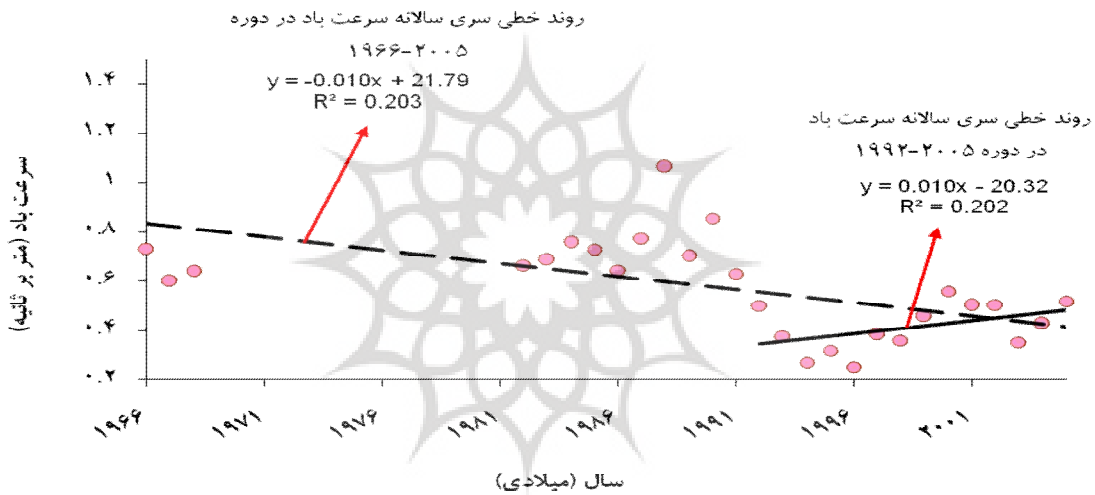
بحث و نتیجه گیری

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 ۱۲/۵ ظهر تا

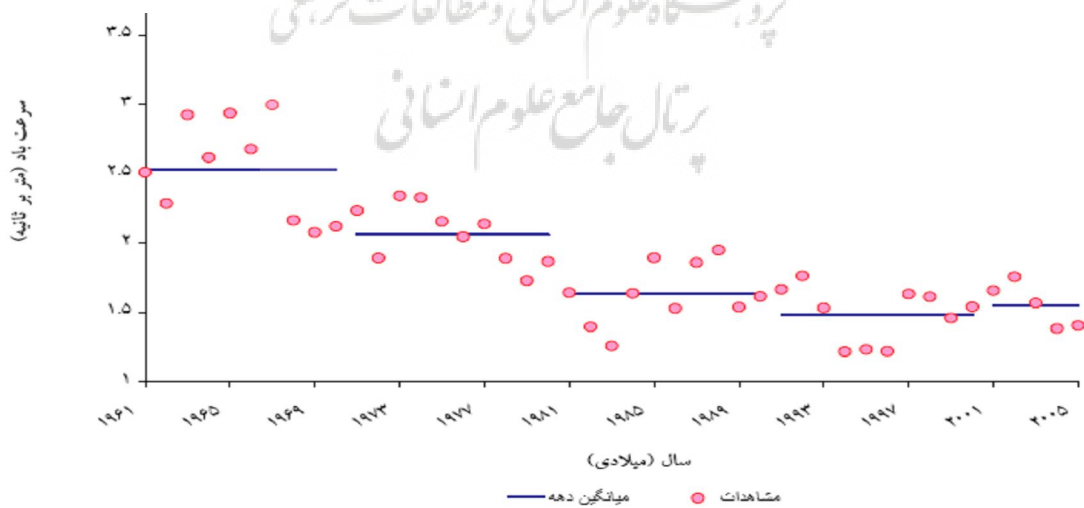
۱۲/۵ شب به وقت محلی و در سمت بادهای شرقی به سمت جنوب تا جنوب غربی بوده و به عبارت دیگر توزیع سرعت باد در سمت‌های مختلف تغییر نموده است. در ایستگاه کاشان نیز سرعت باد به مراتب نسبت به بلندمدت کاهش یافته و این کاهش نیز در ساعات ۱۲/۵ ظهر تا ۱۲/۵ شب به وقت محلی بوده، اما به لحاظ سمت به طور نامنظم وزیده است. 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 ۱۳۷۵-۱۳۳۵ شمسی مطابق با ۱۹۹۶-۱۹۵۶ میلادی افزایشی تقریباً بالغ بر ۵ برابر، نسبت به سال ۱۳۳۵ داشته است [۱۶] آمار جمعیت شهر اصفهان بر اساس نتایج سرشماری سال ۱۳۸۵ بالغ بر ۱,۲۰۶,۱۱۰ 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.



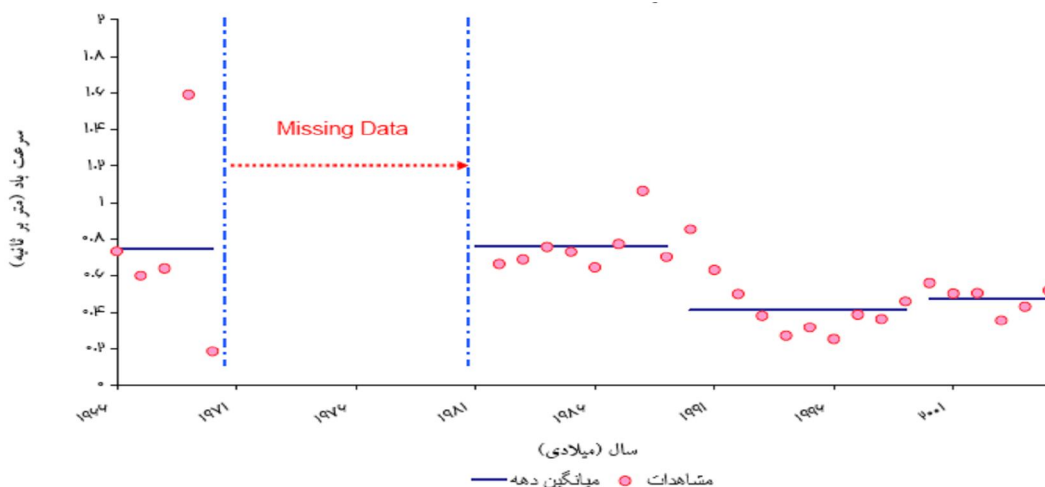
شکل ۱- الف - مقایسه سری میانگین سالانه سرعت باد به همراه روند خطی آن در ایستگاه اصفهان برای دو دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۵ و ۱۹۹۲-۲۰۰۵.



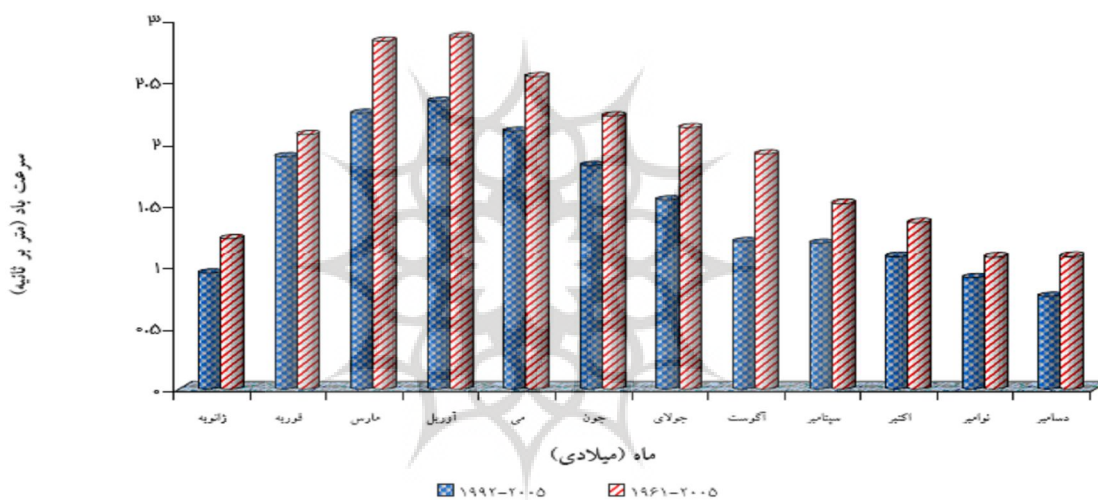
شکل ۱- ب - مقایسه سری میانگین سالانه سرعت باد به همراه روند خطی آن در ایستگاه کاشان برای دو دوره ۱۹۶۶-۲۰۰۵ و ۱۹۹۲-۲۰۰۵.



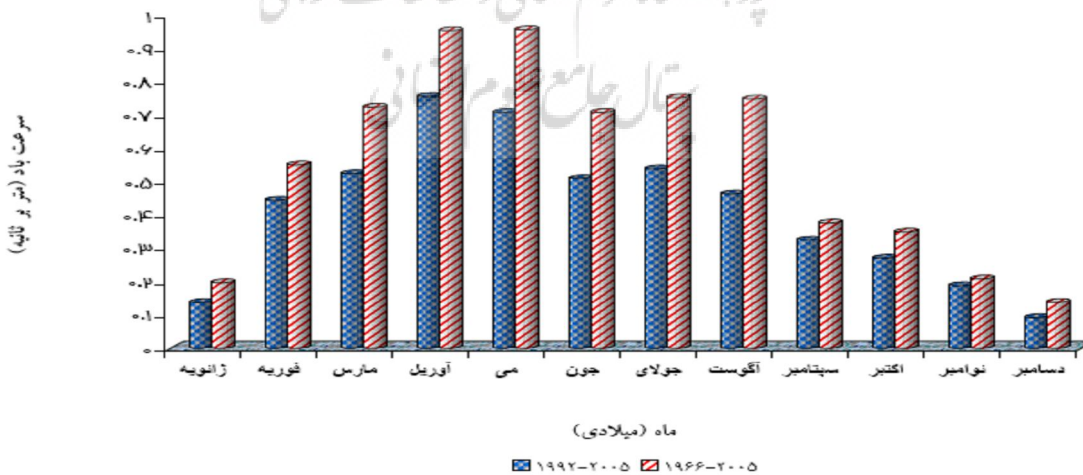
شکل ۲- الف - جهش در میانگین های دهه ای سری میانگین سالانه سرعت باد در ایستگاه اصفهان برای دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۵.



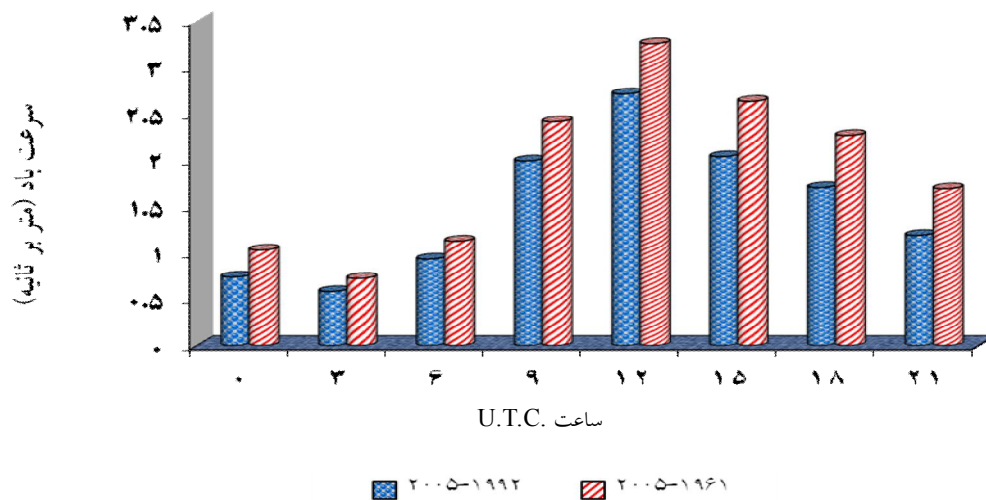
شکل ۲- ب - جهش در میانگین های دهه‌ای سری سالانه میانگین سرعت باد در ایستگاه کاشان برای دوره ۱۹۶۶-۲۰۰۵



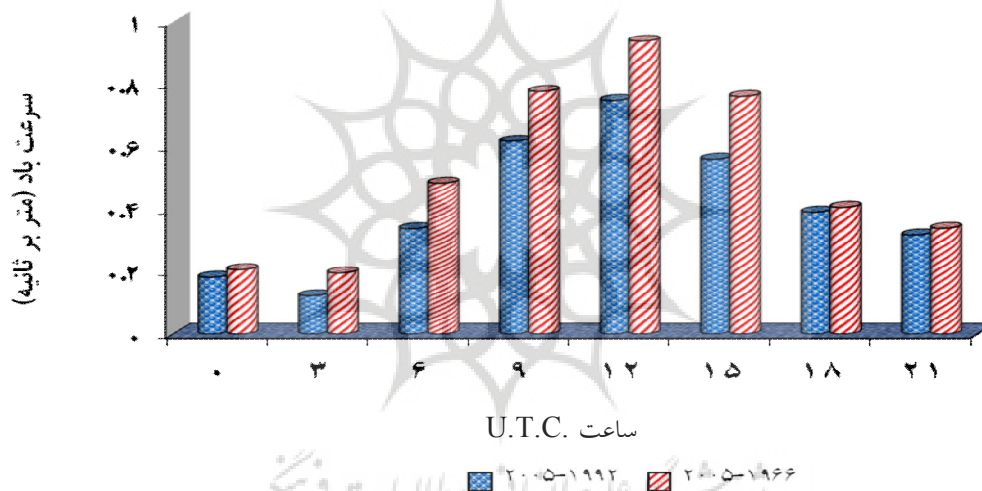
شکل ۳- الف - مقایسه میانگین سرعت باد در ایستگاه اصفهان برای دو دوره ۱۹۶۶-۲۰۰۵ و ۱۹۹۲-۲۰۰۵



شکل ۳- ب - مقایسه میانگین ماهانه سرعت باد در ایستگاه کاشان برای دو دوره ۱۹۶۶-۲۰۰۵ و ۱۹۹۲-۲۰۰۵



شکل ۴- الف- مقایسه میانگین سرعت باد در ساعات مختلف ایستگاه اصفهان برای دو دوره ۱۹۹۲-۲۰۰۵ و ۲۰۰۵-۱۹۶۱.



شکل ۴- ب- مقایسه میانگین سرعت باد در ساعات مختلف ایستگاه کاشان برای دو دوره ۱۹۹۲-۲۰۰۵ و ۲۰۰۵-۱۹۶۶.

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

- Hennessy, 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

- ثقفی، م. ۱۳۸۲، انرژی‌های تجدیدپذیر نوین، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۸۹.
- رحیم زاده، ف.، ن.، محمدیان، ج.، اکبری نژاد، ۱۳۸۵، 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 ۶۲ و ۶۳، ص ۲۰-۷.
- 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
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.

