

بررسی بادها و جریان‌های هوا در ترازهای مختلف جو به منظور ارزیابی امکان‌پذیری اجرای طرح‌های افزایش بارش در حوضه آبی زاینده‌رود

محمد رضا کاویانی* - محمد حسین مبین**

* عضو هیات علمی دانشگاه اصفهان

** عضو هیات علمی دانشگاه یزد

چکیده

امروزه در برخی از کشورهای جهان که چون ایران محدودیت کمی و کیفی منابع، یکی از موانع عمده دستیابی به اهداف توسعه پایدار آنها به شمار می‌رود، در جهت رفع و یا کاهش اثرات این معضل زیست‌محیطی، طرح‌های افزایش بارش به طریق بارورسازی ابرها، اجرا می‌گردند.

بستر و زمینه لازم برای اجرای اینگونه طرح‌ها، انجام یک سری از مطالعات و بررسی‌های علمی و تحقیقاتی است که بدین طریق، شرایط و توان‌های بالقوه و بالفعل حوضه‌های مختلف آبی جهت اجرای موفقیت‌آمیز طرح‌های افزایش بارش^(۱) (PEP) مورد شناخت و ارزیابی آگاهانه و منطقی قرار می‌گیرد.

اگرچه بنابر ماهیت موضوع، بخش عمده‌ای از مجموعه این مطالعات که با عنوان کلی مرحله مکان‌گزینی^(۲) (S.S.P) از آن یاد می‌شود، اقلیم‌شناسی ابر و بارش است، اما از آنجایی که بادها و جریان‌های جوی در ترازهای مختلف جو در هر تیپ هوای غالب ویژگی‌های خاصی را

دارند، و در شرایط سینوپتیکی و ترمودینامیکی مختلف، جریان‌های جوی ویژه‌ای با تندی و جهات گوناگون می‌وزند، و علاوه بر این غلبه و یا ضعف برخی از شرایط باد، و جریان‌های جو، خود می‌تواند به عنوان شاخصی از شرایط ویژه هوا مانند پایداری‌ها، ناپایداری‌ها، وقوع رعد و برق و ... تلقی گردند، بنابراین بررسی اقلیم‌شناسی این گروه از پارامترهای جوی در هر منطقه خود می‌تواند آگاهی‌های طراحان طرح‌های PEP را افزایش داده و دخالت انسان در محیط را به منظور استفاده بهینه از منابع موجود، منطقی‌تر سازد.

برای انجام این بررسی، ابتدا با توجه به دیده‌بانی‌های انجام شده در ایستگاه سینوپتیک و داده‌های کاوشگر جو بالای اصفهان، سمت و سرعت بادها در ترازهای استاندارد هوا چون ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال، در ساعات مختلف روز و شب، استنتاج و گلبادهای مربوطه نیز ترسیم شده‌اند. علاوه بر این، توزیع ماهانه درصد میانگین رخداد جریان‌های جو بالا در جهات شانزده‌گانه بصورت نموداری بررسی و با تقسیم‌بندی بادها به دو گروه بادهای آرام و شدید، سرعت آنها در جداول و نمودارهایی مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

نتیجه اینکه، در ماه‌های سرد و بارشی سال، جریان‌های مذکور در ترازهای استاندارد جو دارای مؤلفه غربی بوده و با توجه به بررسی‌های، سینوپتیکی می‌توانند حامل رطوبت و انرژی لازم برای ایجاد شرایط مساعد رخداد ناپایداریها، تشکیل ابرهای بارور شونده و وقوع بارش باشند. بعلاوه فزونی تندی آنها به خصوص در ماه‌های فوق خود عامل مثبتی در راستای ارزیابی حوضه آبی مورد مطالعه جهت اجرای طرح‌های PEP تلقی می‌شوند.

واژه‌های کلیدی

بادها - ترازهای مختلف جو - بارش

مقدمه

واقع شدن سرزمین ایران بر روی کمربند خشک نیمکره شمالی، موجب بروز مشکلات زیست محیطی عدیده‌ای گردیده که مهمترین آنها محدودیت کمی و کیفی منابع آب می‌باشد. در دهه‌های اخیر به دلایل گوناگون چون رخداد ناهنجاری‌های اقلیمی، رشد فزاینده جمعیت، گسترش بی‌رویه مراکز سکونت، صنعتی، اراضی کشاورزی و بالاخره نیاز به تأمین آب بیشتر، این مسأله حتی در مناطق مرطوبتر کشور هم بصورت یکی از موانع عمده دستیابی به اهداف برنامه‌های توسعه پایدار نمود یافته است.

اگرچه در طول قرون متمادی نیاکان ما برای مقابله با این محدودیت‌ها، تدبیر و تلاش‌های خویش را بکار گرفته و آثار آن بصورت هزاران رشته قنات، سد، آب انبار و ... دیده می‌شود ولی امروزه در کشورهای پیشرفته و در حال توسعه جهان، در راستای مبارزه با شرایط نامساعد اقلیمی و زیست محیطی از روش‌ها و فن‌آوری‌های جدیدی استفاده می‌شود که از میان آنها می‌توان به اجرای طرح‌های افزایش بارش با روش بارورسازی ابرها اشاره نمود. اجرا و آزمایشی^(۱) و عملیاتی^(۲) این طرح‌ها و پروژه‌های دیگر چون نابودی تگرگ^(۳) و پراکنده ساختن مه^(۴)، در واقع بخشی از برنامه‌های بزرگتری تحت عنوان برنامه‌های تعدیل وضعیت هوا^(۵) است که بعضاً حتی زیر نظر ارگان‌های بین‌المللی چون سازمان هواشناسی جهانی، کشورهای مختلف جهان اجرا می‌شوند (۱۲).

امروزه در ده‌ها کشور جهان (۲۰) و در خاورمیانه در کشورهایی چون مراکش (۱۱)، سوریه (۷ و ۱۰)، اردن (۱۹)، فلسطین اشغالی (۱۴)، ترکیه (۸)، و ایران (۶ و ۱۸)، با توجه به اهمیت استراتژیکی منابع آب، طرح‌های متعددی در این زمینه در دست اجرا است که گزارش‌های منتشر شده بیانگر موفقیت نسبی این طرح‌ها می‌باشند (۶). در کشور ایران در پی رخداد خشکسالی‌های متعدد و پیامدهای ناگوار آن، در دو دهه اخیر در مناطق مختلف چون دامنه‌های جنوبی و شمالی البرز، و ارتفاعات مرکزی کشور (شیرکوه یزد) طرح‌های افزایش بارش با استفاده از فن‌آوری‌های مختلف اجرا گردیده‌اند که بعضاً با موفقیت‌هایی همراه بوده‌اند (۶).

از آنجایی که بادها و جریان‌های جوی در ترازهای مختلف جو، در هر تپ هوا غالب، ویژگی‌های خاصی را دارند، و با توجه به اینکه با بررسی‌های سینوپتیکی انجام شده مشخص گردیده که توده‌های هوای حامل ابرهای باران‌زا عمدتاً از جهات جنوب، جنوب غرب و غرب به حوضه آبی موردنظر وارد می‌شوند (۵)، بنابراین توجه به ویژگی‌های وزش بادها و جریان‌های جوی در ترازهای مختلف جو، و بخصوص در ساعات مختلف شبانه‌روز اهمیت ویژه‌ای می‌یابد. علاوه بر این غلبه و یا ضعف بعضی از شرایط باد و جریان‌های هوا در ترازهای مختلف جو، خود می‌تواند به عنوان شاخصی از شرایط ویژه آن مانند پایداری‌ها، ناپایداری‌ها،

1- experimental

2- operational

3- hail suppression

4 fog dissipation

5- weather modification program

وقوع رعد و برق و ... تلقی گردد. به طوری که جریانهای شدید لایه زیرین تروپوسفر با ۲۰، ۲۵ تا ۳۴ و بیش از ۳۵ نات، به ترتیب علامت ناپایداری ضعیف، متوسط، و قوی جو می باشند. یا اینکه، اختلاف سرعت افقی باد، به میزان ۱۰، ۲۰ تا ۲۰، و بیش از ۲۰ نات در هر ۱۰۰ کیلومتر در ترازهای بالای جو به ترتیب می تواند گویای شرایط ناپایداری ضعیف، متوسط و قوی جو در آن شرایط باشد (۳). تحقیقاتی که اخیراً صورت گرفته حاکی است بررسی اتلیم شناختی باد و جریانهای جوی از سطح زمین تا تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال می تواند رهنمودهای مفیدی را در زمینه تعدیل شرایط هوا در قرون آینده در برداشته باشد (۱۶).

بهر صورت بررسی این گروه از پارامترهای جوی می توانند کمکهای مفیدی را در پیش بینی روزهای بارشی به طراحان PEP بکنند (۲۱). در مقاله حاضر برخی از ویژگی های باد و جریانهای هوا در ترازهای مختلف جو و در ساعات مختلف شب (UTC 00, 03, 18, 21) (۱۱) و روز (UTC 06, 09, 12, 15)، به عنوان بخشی از مطالعات مکان گزینی طرح های افزایش بارش در حوضه آبی زاینده رود مورد بررسی قرار می گیرد. حوضه آبی مذکور با وسعتی معادل ۴۱۵۰۲ کیلومتر مربع در بخشی از فلات مرکزی ایران بین ۳۳°، ۴۵'N تا ۳۱°، ۱۵'N، و ۲°E تا ۵۳°، ۲'E در بین دامنه های شرقی زاگرس از غرب و ارتفاعات مرکزی ایران در شرق قرار گرفته است. این حوضه آبی بدین دلایل جهت انجام چنین مطالعه ای انتخاب گردیده که اولاً: بنا بر موقعیت جغرافیایی از سیستم های جوی مناسب و متعددی که حامل ابرهای مستعد بارانزا هستند برخوردار بوده، ثانیاً ارتفاعات بلند و ممتد آن شرایط ویژه و مناسبی را برای تشکیل ابرهای کوهستانی و با قابلیت گسترش قائم فراهم آورده و ثالثاً از نظر جغرافیایی و اقلیمی از موقعیتی بینابین برخوردار است که از یک سو، سر در دامنه ها و ارتفاعات پربرف و باران پیشکوه های داخلی زاگرس نهاده و از سوی دیگر دنباله آن تا پهنه های خشک و بیابانی داخلی فلات مرکزی ایران ادامه یافته است و رابعاً جریان تنها رود دائمی ایران مرکزی در میانه این حوضه، خود نشانه پتانسیل های بارشی و بارانزایی در بخش مرتفع این حوضه است که با اجرای طرح های افزایش بارش می توان این توان بالقوه را به فعل درآورده و شرایط زیست محیطی مطلوبتری را پدید آورد. بالاخره لزوم انتقال آب از کانون های آبگیر دائمی این حوضه به دیگر حوضه های خشک و فراخشک داخلی، در برگرفتن مراکز عمده جمعیتی چون اصفهان

بعنوان دومین شهر پرجمعیت کشور، و دیگر مراکز عمده اقتصادی، صنعتی، کشاورزی، علمی، فرهنگی و برخورداری از امکانات زیرساختاری لازم جهت اجرای طرح‌های افزایش بارش و ... همه و همه زمینه توجیهی لازم را برای انجام چنین تحقیقی در این حوضه آبی فراهم می‌آورند (۵).

روش و مواد

در تحقیق حاضر روش مورد استفاده کتابخانه‌ای و اسنادی است و از مراحل زیر تشکیل شده است:

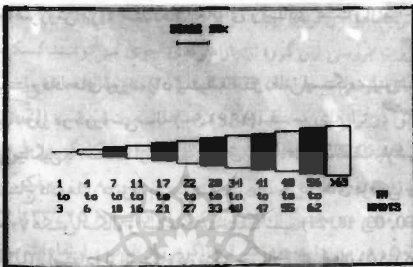
- ۱- جمع‌آوری و استنتاج داده‌های روزانه باد ثبت شده در دفاتر ایستگاه سینوپتیک اصفهان در ساعات مختلف شبانه‌روز در دوره‌ی سی ساله (۹۰-۱۹۶۱)،
- ۲- ترسیم گلبادهای میانگین با استفاده از داده‌های فوق در ماه‌های مختلف بارشی.
- ۳- جمع‌آوری و استنتاج داده‌های مربوط به سمت و سرعت جریان‌های فوقانی جو در ترازهای استاندارد ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال و ساعات مختلف شب (21, 18, 03, 00 UTC) و روز (15, 12, 09, 06 UTC) با استفاده از ایستگاه کاوشگر جو بالایی اصفهان (۹۵-۱۹۸۱)،
- ۴- تهیه جداول مربوط به تقسیم‌بندی جهت بادهای در جهات شانزده‌گانه جغرافیایی و بررسی جهت رزش آنها در مقیاس ماهانه،
- ۵- تهیه جداول مربوط به تقسیم‌بندی سرعت بادهای دوگروه بادهای آرام و شدید در مقیاس ماهانه،
- ۶- تلفیق نتایج حاصله و نتیجه‌گیری در ارتباط با موضوع مورد بحث.

بحث و نتیجه‌گیری

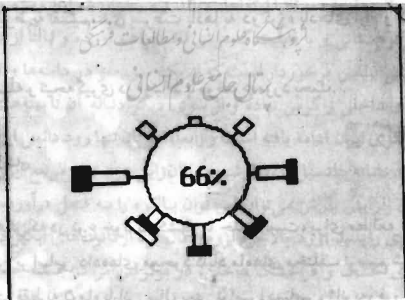
۱- در سطح زمین

در این پژوهش که در نوع خود در کشور ما جدید است، برای مطالعه سمت و سرعت بادهای در سطح زمین بر اساس داده‌های موجود گلباد ماه‌های مختلف ترسیم شده‌اند (۵)، ولی جهت اختصار بیشتر فقط به ۵ ماه بارانی سال یعنی نوامبر، دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس اکتفا می‌شود. چنانکه گلبادهای مذکور نشان می‌دهند، بیشترین فراوانی رخداد باد آرام به ماه دسامبر

(۶۸٪) تعلق داشته و در واقع بطور کلی از ماه نوامبر تا مارس ارقام مذکور یک روند نزولی طی می‌کنند. بطوریکه کمترین درصد مذکور متعلق به ماه مارس (۳۵٪) است. در ماه نوامبر بیشترین درصد فراوانی بادهای متعلق به بادهای غربی بوده ولی سریعترین بادهای که بین ۱۱ تا ۱۶ نات سرعت دارند، از جهت جنوب غربی می‌وزند. سمت و سرعت بادهای جنوبی نیز در این ماه قابل توجه است.

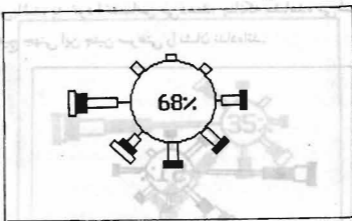


شکل ۱- راهنمای سمت و سرعت گلبادهای



شکل ۲- گلباد میانگین ماه نوامبر اصفهان (۹۰-۱۹۶)

در ماه دسامبر نیز همین وضعیت مشاهده می شود. با این تفاوت که سرعت بادهای غربی نسبت به ماه قبل یعنی نوامبر، فزونی می یابد و نیز درصد فراوانی رخداد بادهای شرقی نیز کاهش محسوسی را نشان می دهند.



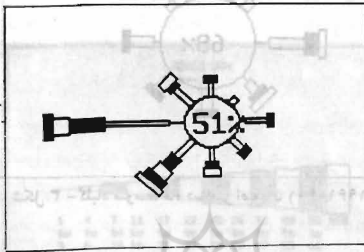
شکل ۳- گلباد متوسط ماه دسامبر اصفهان (۱۹۶۱-۹۰)

در ماه ژانویه همانند ماه نوامبر گرچه بیشترین وزش بادهای غربی از سمت غرب می دهند، ولی بادهای جنوب غربی از سرعت بیشتری تا حدود ۲۰ سانت بر خوردار می شوند. در این ماه بادهای شمالی و شرقی چندان اهمیتی ندارند.



شکل ۴- گلباد میانگین ماه ژانویه اصفهان (۱۹۶۱-۹۰)

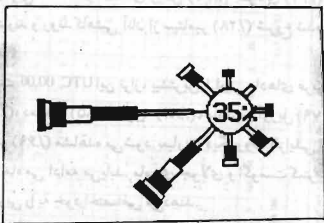
در ماه فوریه وضعیت وزش بادهای نظم و آرایش بیشتر و واضح‌تری را نشان می‌دهد. به طوری که بادهای عمدتاً از جنوب. تا شمال غرب وزیده، ولی در این میان بادهای غربی باز هم بیشترین درصد فراوانی رخدادها را دارا بوده و بادهای جنوب غربی بیشینه سرعت‌ها را که در حدود ۲۷ نات می‌باشد، به خود اختصاص می‌دهند. چنانکه مشاهده می‌شود، در چهار ماه گذشته بادهای از هیچ جهتی این چنین سرعتی را نشان نداده‌اند.



شکل ۵- گلباد میانگین ماه فوریه اصفهان (۹۰-۱۹۶۱)

گلباد ماه مارس از دو نظر ویژگی‌های خاص خود را به نمایش می‌گذارد: اول اینکه بادهای غربی و جنوب غربی، هم از درصد فراوانی رخداد بیشتری برخوردار می‌گردند، و هم اینکه سرعت بادهای افزایش می‌یابد. به طوری که این رقم در هر دو جهت به ۳۳ نات رسیده، و در ضمن گروه بادهای جنوب غربی فاقد بادهای با سرعت ۱ تا ۳ نات می‌باشند. نکته دوم اینکه در این ماه نسبت به چند ماه قبل، بادهای شرقی و جنوب شرقی هم از حیث سرعت و هم از لحاظ جهت اهمیت بیشتری یافته و گلباد ماه‌های مزبور نشان می‌دهند که این وضع کم و بیش آغاز یک روند فزونی در درصد فراوانی رخداد بادهای مذکور، تا چند ماه بعد از این می‌باشد. نتیجه اینکه، مقایسه گلبادهای مربوط به ماه‌های مختلف بیانگر آن است که اولاً درصد فراوانی وقوع بادهای آرام در نیمه سرد سال بیشتر از نیمه گرم سال است و ثانیاً بادهای جنوبی تا غربی در ماه‌های سرد سال نسبت به ماه‌های گرم سال عمدتاً از اهمیت بیشتری برخوردارند. این وضعیت خود نکته مثبتی است که در ارتباط با موضوع مورد بحث یعنی ارزیابی اجرای طرح‌های PEP در حوضه آبی مورد مطالعه می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. زیرا بررسی‌های

سینوپتیکی بیانگر اهمیت بیشتر جریانات جنوبی تا غربی در تأمین رطوبت و انرژی جهت رخداد بارش و افزایش پتانسیل باران‌زایی در حوضه آبی مورد مطالعه می‌باشند (۵).



شکل ۶- گلباد میانگین ماه مارس اصفهان (۹۰-۱۹۶۱)

۲- الف - تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، ساعت 00, 00 UTC

برای بررسی جهت و سرعت بادهای، در ترازهای فوقانی جو علاوه بر ترسیم گلبادهای ماهیانه (۵)، جدول شماره ۱ نیز تهیه گردیده است. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود که در این تراز جوی افزایش درصد فراوانی مؤلفه‌های شرقی عمدتاً از ماه ژوئن (۳۴٪) شروع و به ترتیب در ماه‌های جولای (۷۷٪)، اگوست (۷۰٪) و سپتامبر (۴۲٪) ادامه می‌یابد.

در مقابل این وضعیت، بیشترین درصد فراوانی رخداد بادهای غربی به ترتیب به ماه‌های فوریه (۹۵٪)، دسامبر (۸۷٪)، آوریل و نوامبر (۸۲٪)، ژانویه (۸۱٪)، مارس (۷۹٪)، می (۸۷٪) و اکتبر (۶۹٪) اختصاص دارد. ضمناً درصد فراوانی بادهای جنوب غربی در ماه‌های نوامبر (۳۷٪)، دسامبر (۳۴٪)، ژانویه (۳۲٪)، فوریه (۳۷٪) و مارس (۳۹٪) قابل توجه است. علاوه بر این، در حالیکه بیشترین تنوع فراوانی رخداد بادهای از جهات مختلف در ماه‌های ژوئن، اگوست و سپتامبر مشاهده می‌شود، در ماه‌های ژانویه، فوریه، دسامبر کمترین تنوع و زش بادهای از جهات گوناگون دیده می‌شود. بعبارت دیگر در ماه‌های گروه اخیر بادهای عمدتاً از یک جهت مانند غرب وارد حوضه آبی مورد مطالعه می‌شوند.

۲-۴. تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، ساعت 12, 00 UTC

همانند ساعت 00, 00 UTC این تراز، روند افزایشی جریان‌های شرقی عمدتاً از ژوئن (۳۱٪) شروع و در ماه‌های جولای (۶۲٪)، اگوست (۶۹٪) ادامه می‌یابد (جدول شماره ۱). مؤلفه‌های جنوبی عمدتاً در ماه‌های ژوئن (۳۱٪) جولای (۶۲٪) و اگوست (۶۹٪) بیشترین درصد را دارند و روند کاهشی آنان از سپتامبر (۲۸٪) شروع شده و تا می (۳٪) کم و بیش ادامه می‌یابد.

همانند ساعت 00,00 UTC این تراز، بیشترین فراوانی بادهای غربی در این ساعت در ماه‌های ژانویه (۸۵٪)، دسامبر (۸۵٪)، فوریه (۸۴٪)، مارس و آوریل (۷۹٪)، ماه می (۸۰٪)، نوامبر (۷۸٪) و اکتبر (۶۹٪) مشاهده می‌شود. عبارت دیگر روند افزایشی این مؤلفه از سپتامبر آغاز و کم و بیش تا ماه می ادامه می‌یابد. ماه‌های جولای و اگوست کمترین درصد فراوانی رخداد مؤلفه‌های غربی را به خود اختصاص می‌دهند.

نتیجه اینکه در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در هر دو ساعت 00,00 12,00 UTC، جریانات جوی عمدتاً دارای مؤلفه غربی می‌باشند (جدول شماره ۱).

۳- الف - تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، ساعت 00, 00 UTC

چنانکه گلبادهای مربوطه نشان می‌دهند در ساعت 00, 00 UTC این تراز از جو، همانند ساعت مورد بحث در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، باز هم روند افزایشی فراوانی بادهای شرقی عمدتاً از ماه جولای (۴۲٪) شروع شده و تا اگوست (۲۵٪) و سپتامبر (۲۴٪) ادامه می‌یابد. عبارت دیگر از نظر درصد فراوانی رخداد بادهای شرقی، سه ماه جولای، اگوست و سپتامبر در ترازهای استاندارد جو مورد بحث، اهمیت بیشتری دارند (جدول شماره ۱). در مقابل شرایط مذکور، بیشترین فراوانی وقوع مؤلفه‌های غربی به ترتیب در ماه‌های فوریه (۹۹٪)، ژانویه (۹۸٪)، اکتبر (۹۷٪)، دسامبر (۹۵٪)، ماه می (۹۴٪)، آوریل (۹۲٪)، مارس (۹۱٪)، نوامبر (۹۰٪)، سپتامبر (۵۸٪) و اگوست (۵۲٪) دیده‌بانی شده است. بدین ترتیب بیشترین تنوع فراوانی رخداد بادهای از جهات گوناگون همانند تراز ۷۰۰ hPa به ماه‌های ژوئن، جولای، اگوست و سپتامبر اختصاص دارد (جدول شماره ۱).

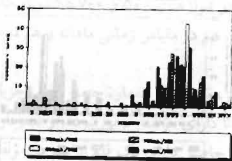
نکته مهم دیگر اینکه در ساعت UTC 12, 00 در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در مقایسه با تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال درصد فراوانی رخداد بادهای غربی، ارقام بالای ۹۰٪ را نشان می‌دهند. در حالیکه ارقام مذکور در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در همین ساعت کمتر از ۹۰٪ و بیشتر از ۷۰٪ می‌باشند. بمعبارت دیگر در ساعت UTC 00 در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال بادهای از جهات متنوع تری نسبت به تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال می‌وزند. از طرف دیگر در ماه‌های سرد و نسبتاً بارانی سال یعنی از اکتبر تا مارس و آوریل، فراوانی رخداد بادهای جنوبی در ساعت UTC 00 تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال بیشتر از این ساعت در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بوده، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بطور میانگین در ترازهای پایین تروپوسفر، جهت بادهای عمدتاً جنوبی تر، ولی در ترازهای فوقانی تر بتدریج بادهای جهت غربی تری بخود گرفته‌اند. این وضعیت خود نتیجه تأثیر برابند نیروهای مؤثر بر جهت‌یابی بادهای و جریان‌های فوقانی جو و بخصوص کاهش تأثیر نیروی اصطکاک و افزایش تأثیر نیروی کوریولیس در ترازهای برین اتمسفر می‌باشد (۵).

۳- ب - تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، ساعت UTC 12, 00

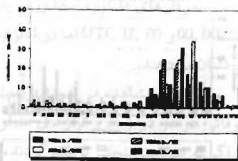
با توجه به جدول شماره ۱، و گلبادهای مربوطه (۵) بخوبی مشاهده می‌شود که در تراز مورد بحث و در ساعت UTC 12, 00 در تمامی ماه‌ها بجز جولای و اگوست، بادهای عمدتاً مؤلفه‌های غربی دارند. به طوری که بیش از ۹۰٪ بادهای از جهات جنوب غرب، غرب و شمال غرب، وارد حوضه آبی مورد مطالعه گردیده‌اند. فقط دو ماه جولای و اگوست هستند که به ترتیب با ۵۳٪ و ۵۷٪ کمترین رقم را از نظر درصد فراوانی رخداد بادهای دارای مؤلفه غربی به خود اختصاص داده‌اند. بنابراین در این دو ماه و تا حدی ماه سپتامبر، تنوع وزش بادهای از جهات گوناگون نسبت به ماه‌های دیگر اندکی بیشتر می‌گردد. اگر در جدول مذکور درصدهای میانگین فراوانی رخداد بادهای را در یک زمان (UTC 12) ولی در دو تراز جوی یعنی ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال با یکدیگر مقایسه کنیم، مشاهده می‌شود که ارقام مربوط به مؤلفه‌های غربی در تراز اخیر به مراتب افزایش نشان می‌دهند که این وضعیت قبلاً نیز در ساعت UTC 00, 00 نیز در هر دو تراز بررسی گردیده است.

با توجه به مطالب فوق و اینکه گلبادهای مورد بحث امتداد وزش بادهای از هشت جهت نشان می‌دهد. برای بررسی جزئی‌تر این موضوع اشکال شماره ۱ تا ۴ ترسیم گردیده‌اند (۵).

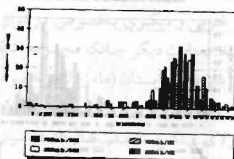
ESFAHAN (1981-85)
FREQUENCY OCCURENCE OF WIND DIR. IN MAR.



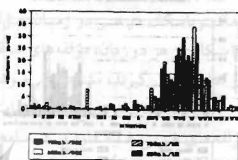
ESFAHAN(1981-85)
FREQUENCY OCCURENCE OF WIND DIR. IN APR.



ESFAHAN(1981-85)
FREQUENCY OCCURENCE OF WIND DIR. IN MAR.



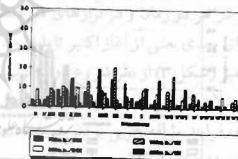
ESFAHAN(1981-85)
FREQUENCY OCCURENCE OF WIND DIR. IN APR.



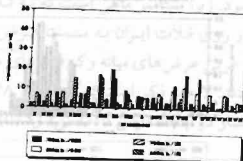
ESFAHAN(1981-85)
FREQUENCY OCCURENCE OF WIND DIR. IN JUN.



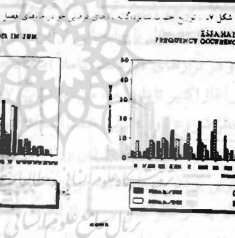
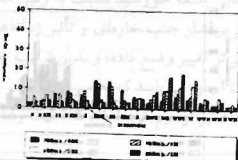
ESFAHAN(1981-85)
FREQUENCY OCCURENCE OF WIND DIR. IN JUL.



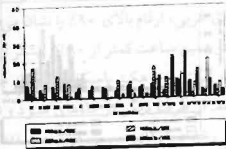
ESFAHAN(1981-85)
FREQUENCY OCCURENCE OF WIND DIR. IN APR.



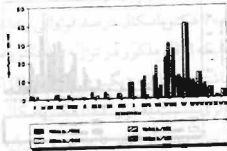
ESFAHAN(1981-85)
FREQUENCY OCCURENCE OF WIND DIR. IN APRIL.



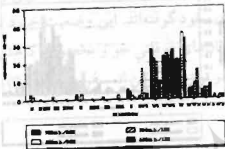
ISFARAN(96-95)
FREQUENCY OCCURRENCE OF WIND DIR IN SEP



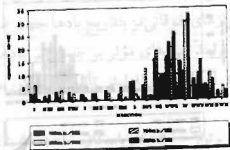
ISFARAN(96-95)
FREQUENCY OCCURRENCE OF WIND DIR IN OCT



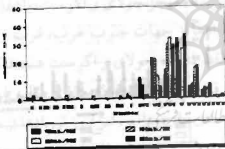
ISFARAN(96-95)
FREQUENCY OCCURRENCE OF WIND DIR IN NOV



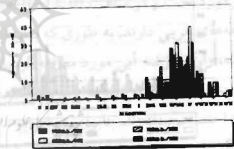
ISFARAN(96-95)
FREQUENCY OCCURRENCE OF WIND DIR IN ALL



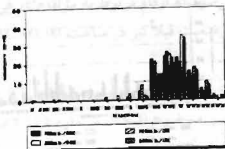
ISFARAN(96-95)
FREQUENCY OCCURRENCE OF WIND DIR IN DEC



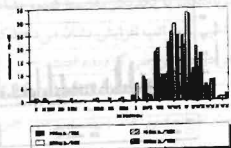
ISFARAN(96-95)
FREQUENCY OCCURRENCE OF WIND DIR IN JAN



ISFARAN(96-95)
FREQUENCY OCCURRENCE OF WIND DIR IN FEB



ISFARAN(96-95)
FREQUENCY OCCURRENCE OF WIND DIR IN MARCH

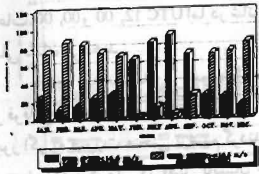


شکل ۹ - توزیع جهات شادرونگه در ایستگاه هواشناسی اهواز

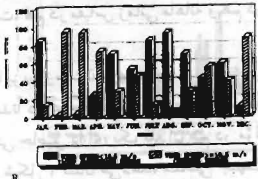
نمودارهای مذکور، ابتدا وزش باده‌ها را در ترازهای ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال در ساعات 00, 00 و UTC 12, 00 اما در شانزده جهت، هم در مقیاس زمانی ماهانه و هم در معیار فصلی نشان می‌دهند.

چنانکه مشاهده می‌شود، در فصول پاییز، و زمستان و بهار، جهت وزش جریانهای جو فوقانی در هر دو زمان و ترازهای مذکور عمدتاً دارای مؤلف غربی بوده، و نمودارهای مزبور اگر به صورت منحنی ترسیم گردند، منحنی حاصل دارای یک قله آن هم در مؤلفه‌های غربی خواهد بود. ولی در فصل تابستان چنانکه شکل ۲ نشان می‌دهد، منحنی جهت وزش باده‌ها تقریباً با تمامی ویژگی‌های گفته شده، دارای دو قله^(۱) می‌باشد. که یکی بخصوص در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در هر دو زمان، مؤلفه‌های غربی و دیگری بخصوص در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در هر دو زمان، مؤلفه‌های شرقی هستند. بعبارت دیگر چنانکه مجموعه اشکال ۱ تا ۴ در کنار هم قرار گیرند، مشاهده می‌شوند که از آغاز فصل تابستان (ماه ژوئن) بخصوص در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال به تدریج باده‌ها جهات شرقی یافته، ولی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال هنوز هم مؤلفه‌های غربی غلبه دارند. در ماه‌های جولای و اگوست، در حالیکه در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال باده‌ها عمدتاً شرقی اند، در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به مؤلفه‌های غربی تبدیل شده و ماه سپتامبر تقریباً آغاز یک تحوّل یا جابجایی از این نظر است. بدین معنی که بطور آشکاری باده‌ها در هر دو زمان و در ترازهای مورد نظر کاملاً امتداد غربی یافته و این وضع بخصوص در ماه‌های بعدی یعنی از آغاز اکتبر تا پایان ماه می، به مدت ۷ ماه از سال ادامه می‌یابد. بنابراین ماه سپتامبر (شکل ۳) از نظر شروع روند غربی شدن امتداد جریان‌های جوی در ترازهای فوقانی، و ماه جولای (شکل ۲) از جهت پایان یافتن این روند نقاط عطفی را پدید می‌آورند. نکته دیگر اینکه، فرایند مؤلفه غربی بودن جریان‌های جوی بخصوص در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بیش از تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال چه از نظر کمی و چه از لحاظ تداوم زمانی چشمگیر و قابل توجه می‌باشد. این تحوّل و تغییر در امتداد و جهت‌یابی جریان‌های جوی را می‌توان، با چرخه جابجایی اشعه خورشید نسبت به زمین مقایسه نمود. زیرا سپتامبر ماهی است که به تدریج مراکز پرفشار جنب حاره‌ای و تأثیر زیانه‌های آن از روی فلات ایران به سمت عرض‌های جنوبی‌تر تغییر وضع داده، و بدین ترتیب جریانات غربی عرض‌های میانه و کم‌فشارهای همراه با آنان اجازه می‌یابند که به سرزمین ایران وارد گردند. لازم به ذکر است که گلبادهای ۴۸ گانه مربوطه نیز ترسیم گردیده‌اند که جهت رعایت اختصار در اینجا نمایش داده نمی‌شود (۵).

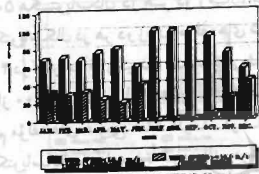
WIND SPEED (ESPANAN, 1981-86)
CATEGORICAL BY YEAR FREQUENCY OCCURRENCE
OF WIND SPEED AT 10 METER HEIGHT



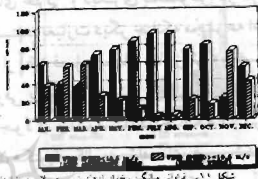
WIND SPEED (ESPANAN, 1981-86)
CATEGORICAL BY YEAR FREQUENCY OCCURRENCE
OF WIND SPEED AT 10 METER HEIGHT



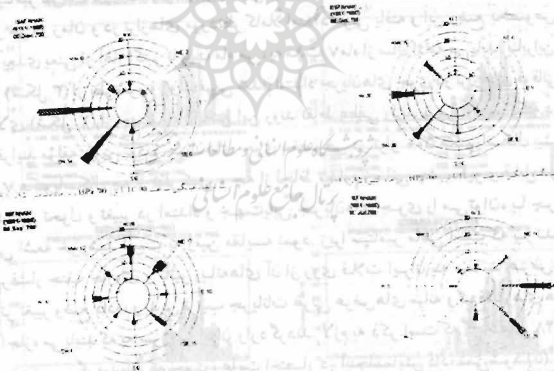
WIND SPEED (ESPANAN, 1981-86)
CATEGORICAL BY YEAR FREQUENCY OCCURRENCE
OF WIND SPEED AT 10 METER HEIGHT



WIND SPEED (ESPANAN, 1981-86)
CATEGORICAL BY YEAR FREQUENCY OCCURRENCE
OF WIND SPEED AT 10 METER HEIGHT



شکل ۱۱. فراوانی ماهانه رخدادهای نسبی و مطلق در ایستگاه اصفهان در طول سال ۱۳۶۵ (۱۹۸۶) و ۱۳۶۶ (۱۹۸۷)



نمودارهای A و B و C و D شکل ۵ برای بررسی سرعت بادهای فوقانی جو، در ساعات مختلف (00, 00 و 12, 00 UTC)، و ایجاد یک سیستم طبقه‌بندی تهیه و ترسیم گردیده‌اند. در این طبقه‌بندی تندی ۲۱ نات ($10/5$ متر بر ثانیه) را به عنوان مرز قرار داده، تندی بادها در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ کیلوهکتوپاسکال، در ساعات مذکور بر اساس آن طبقه‌بندی گردیده‌اند. لازم به توضیح است که سرعت ۲۱ نات بر اساس مقیاس بوفورت مرز بین بادهای شدید و ملایم محسوب می‌گردد (۴). بر اساس داده‌های موجود در یک دوره ۱۵ ساله (۱۹۸۱-۱۹۹۵)، درصد میانگین فراوانی سرعت بادهای جو فوقانی به صورت ماهیانه بر اساس مرز مذکور محاسبه و نمودارهای مربوطه نیز بر این اساس ترسیم گردیده‌اند.

چنانکه مشاهده می‌شود در ساعت 12 UTC تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (نمودار A) درصد وقوع بادهای شدید و ملایم در طول سال دارای نظم خاصی است، به طوری که وقوع بادهای شدید از ماه اکتبر آغاز شده، و کم و بیش تا اواخر ماه می ادامه می‌یابد و اوج رخداد آن در ماه‌های دسامبر و فوریه است. ماه‌های گرم تابستان زمان حداکثر رخداد بادهای ملایم می‌باشند.

در ساعات 00 UTC همین تراز (نمودار B) گرچه از نظر کلی تشابهاتی با ساعات 12 UTC دیده می‌شود، ولی در این ساعت بی‌نظمی‌هایی قابل تشخیص است. به طوری که رخداد بادهای شدید در ماه‌های سرد سال کاهش یافته، در ضمن افزایش ناگهانی فراوانی رخداد بادهای آرام در ماه ژانویه چشمگیر می‌باشد. نتیجه اینکه در ماه‌های سرد و بارانی سال، در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، سنگینی و سکون هوا که با وزش بادهای آرام مشخص می‌شود، در ساعت 00 UTC نسبت به ساعت 12 UTC تا حدی قابل طرح می‌باشد.

علت اینچنین وضعیت متفاوتی را تا حد زیادی می‌توان به ویژگی‌های دمایی و شرایط ناشی جو، نسبت داد. زیرا در روزهای کوتاه زمستان، در ساعات بعدازظهر فقط گرمایش جو در اثر تابش خورشید است که موجب انبساط و بروز اغتشاش و وزش بادهای شدید در جو می‌شود. در ساعت 12 UTC تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (نمودار C)، مشاهده می‌شود که همانند تراز ۵۰۰ در همین ساعت روند صعودی فراوانی رخداد بادهای شدید از ماه اکتبر شروع شده و کم و بیش این روند تا اواخر مارس ادامه می‌یابد. به جز جولای، در بقیه ماه‌های گرم سال، در این تراز در ساعت 12 UTC وزش بادهای شدید ناچیز است. نکته دیگر اینکه، فراوانی‌های رخداد بادهای شدید در ساعت 00 UTC تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال نسبت به تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ارقام کمتری را نشان می‌دهد.

در ساعت UTC 00 تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (نمودار D)، الگوی توزیع ماهیانه رخداد بادهای شدید و ملایم همانند ساعت UTC 12 همین تراز است، با این تفاوت که در این ساعت فراوانی رخداد بادهای شدید نسبت به ساعت 12 افزایش نشان می‌دهد. به هر صورت اگر نمودارهای A، B، C و D شکل ۵ در کنار هم مقایسه شوند، این نتیجه حاصل می‌شود که به طور کلی الگوی توزیع ماهیانه بادهای شدید در هر چهار مورد همانند است. یعنی بادهای شدید در فصول سرد و معتدل سال غلبه داشته و در ماه‌های گرم سال حاکمیت با بادهای آرام است. دوم اینکه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال عموماً بادهای شدید از فراوانی وقوع بیشتری نسبت به تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال برخوردارند که این فزونی در ساعات UTC 12 در تراز ۵۰۰ چشمگیرتر است.

از تلفیق بررسی‌های فوق که برای اولین بار در کشور ما صورت می‌گیرد، می‌توان به این نتیجه دست یافت که بادهای سطح زمین و جریان‌های ترازهای برین جو بخصوص در ماه‌های بارشی، یعنی از نوامبر تا می، دارای مؤلفه غربی بوده و به ویژه بنابر مطالعات سینوپتیکی (۵)، مشاهده می‌شود که در این ماه‌ها جریان‌های مذکور، رطوبت و انرژی لازم برای تشکیل ابرهای یارور شونده و رخداد بارش را تأمین می‌نمایند. علاوه بر این بررسی‌های ترمودینامیکی (۵) نیز بیانگر آن است که در دوره‌های مختلف بارشی جهت بادهای غالب از سطح زمین تا تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال عموماً بین 170° تا 330° در نوسان بوده و همین جریان‌ها هستند که تأمین‌کننده رطوبت و انرژی لازم برای ورود به حوضه آبی مورد بحث از عرض‌های پایین‌تر می‌باشند (۵). از نظر سرعت چنانکه مشاهده شد، در ماه‌های بارشی تندی باد و جریان‌های هوا در کلیه ترازهای جوی فزونی یافته و بررسی‌های دقیق‌تر نشان می‌دهند که از این نظر در ترازهای مختلف هوا با نوعی چینش باد (Wind Shearing) مواجه می‌شویم که این خود نوعی شرایط ناپایداری را در لایه‌های جوی ایجاد می‌کند (۳).

بنابراین مجموعه شرایط مذکور را می‌توان به عنوان امتیازی مثبت در رابطه با ارزیابی پهنه آبی زاینده‌رود جهت امکان‌پذیری اجرای طرح‌های افزایش بارش تلقی نمود، که البته مشاهدات مستقیم راداری و رادیومتری در حین اجرای آزمایشی این طرح‌ها می‌تواند با ارائه جزئیات دقیق‌تر، نتایج این پژوهش را تکمیل نماید.

منابع

- ۱- سازمان هواشناسی کشور، اداره کل خدمات ماشینی و کاربرد کامپیوتر، آمار مربوط به باد در سطح زمین و ترازهای فوقانی جو در ایستگاه‌های هواشناسی حوضه آبی زاینده‌رود (۱۳۷۷).
- ۲- فرهنگ هواشناسی، شاخه واژه‌گزینی ژئوفیزیک و هواشناسی، مرکز نشر دانشگاهی، چاپ اول، تهران ۱۳۷۰.
- ۳- قائمی، هوشنگ و محمود عدل، ناپایداری و طوفان‌های رعد و برق، سازمان هواشناسی کشور، تهران ۱۳۷۱.
- ۴- کاویانی، محمدرضا و بهلول علیجانی، مبانی آب و هواشناسی، انتشارات سمت، تهران ۱۳۷۵.
- ۵- مبین، محمدحسین، بررسی وضعیت بارش و امکان افزایش آن در زاینده‌رود، رساله دکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه اصفهان، ۱۳۷۸.
- ۶- وزارت نیرو، سازمان مدیریت منابع آب، مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها، گزارش شماره ۲، یزد، ۱۳۷۷.
- 7- Ali, A. and Mustafa, a. 1999, Syrian Rain Enhancement Project, 1991-1998, presented at 7th. WMO conference, Thailand, 1999.
- 8- Akgün, A., 1999, An Assessment of Prediction Enhancement Operations Over Water Supply Area in Ankara, 1992, Presented at 7th. WMO conference, Thailand, 1999.
- 9- Austin, G. and Massambani, 1982, Preliminary assessment report of the Site - Selection Phase - 3 of P. E. P., report No. 28.
- 10- Boris P., Koloskov, Yuri, V. Melnichuk, Ali, Abass, 1999, Statistical Estimation of Cloud Seeding in Syria (1991-96), presented at 7th. WMO Conference, thailand, 1999.
- 11- Baddour Omar, 1995, Morocco's Precipitation Enhancement Project (Al Ghait), Summaries of paper presented to P. E. workshop, Terrigal. Australia, 37-40.

- 12- Bollay, E. 1987, WMO.'s Weather Modification Programme., PEP Design Document, report No. 9, 13-20.
- 13- Clicom: Climate Computing software, WMO, Nov. 1992.
- 14- Daniel, R. and Z. levin. 1995, Rain Enhancement in Israel A Status Report, Summaries of paper presented to P. E. workshop, Terrigal, Australia, 43-47.
- 15- Gagin A. 1978, Present state of knowledge in field of P. E. chapt. 2, PEP Design Document, P21.
- 16- Hafiz A., 1999, Wind Element as the best Resultant Parameter for Weather Modification at 700 HPA for 20th and 21ST century, presented at 7th WMO conference, Thailand, 1999.
- 17- Sami, A., 1999 - Data Analysis of Iragi cloud Seeding Project, presented at 7th WMO conference, Thailand, 1999.
- 18- Taghizaded, H. and A. Semsar Yazdi, 1999, the Meteorology of location and Setting up of Flares to Sublimate Silver Iodide for Optimal Cloud Seeding in central Iran Plateau, presented at 7th WMO conference, Thailand, 1999.
- 19- Tohboub, I. 1997. A study on 10 years period of cloud seeding over Jordan. Amman, 20-15.
- 20- WMO., Statement of the status of Weather Modification, Approved July 1992, 1-20.
- 21- WMO, 1978, PEP Design Document, Report No. 10.