

## بررسی موردی چینش قائم باد سطوح پایین در فرودگاه مهرآباد

محمد مرادی\*<sup>۱</sup>، پرویز رضازاده<sup>۲</sup>، احد وظیفه<sup>۳</sup>

۱- عضو هیئت علمی پژوهشکده هواشناسی

۲- کارشناس ارشد هواشناسی و مشاور پیش بینی، مرکز پیش بینی و هشدار سازمان هواشناسی

۳- کارشناس ارشد هواشناسی، مدیر مرکز پیش بینی و هشدار سازمان هواشناسی

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۲/۱۳

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۱/۶/۲۶

### چکیده

یکی از پدیده‌های هواشناسی که بویژه در هواشناسی هوانوردی مورد توجه پژوهشگران قرار می‌گیرد چینش قائم باد سطوح پایین است. این کمیت در نزدیکی سطح زمین در اثر اختلاف برداری باد افقی در یک لایه کم عمق در راستای افقی یا قائم ایجاد می‌شود. این اختلاف می‌تواند در اثر تغییر سمت یا سرعت یا تفاوت همزمان هر دو کمیت ایجاد گردد. در این پژوهش با بکارگیری داده‌های دو ثانیه‌ای ایستگاه کاوش جو فرودگاه مهرآباد تهران در ماه‌های ژانویه و ژولای سال ۲۰۱۰ میلادی، چینش قائم باد سطوح پایین در فرودگاه مهرآباد بررسی شد. این داده‌ها که برای اولین بار در ایران مورد استفاده قرار گرفت، از مرکز فن آوری اطلاعات سازمان هواشناسی گرفته شده است. برای محاسبه چینش قائم باد سطوح پایین در این پژوهش، ابتدا فاصله ۶۲۰ متری از سطح آنوموتر (سطح ۱۰ متری) به بازه‌های ۳۰ متری (۱۰۰ پائی) تقسیم شد و سپس داده‌های سمت و سرعت باد در لایه‌های ایجاد شده بدست آمد. در ادامه چینش قائم باد سطوح پایین محاسبه و بررسی شد. نتایج نشان داد که در ماه ژانویه چینش قائم باد سطوح پایین غیر همرفتی در اثر عبور جبهه‌های جوی و وارونگی دما ایجاد شده است. چینش قائم باد سطوح پایین در این ماه در ایستگاه مهرآباد، در لایه‌های مختلفی رخ داده است و فراوانی چینش قائم باد ضعیف در این ماه بیشتر می‌باشد. بیشترین مقدار این کمیت در این ماه به ساعت ۰۰:۰۰ گرینویچ مربوط می‌شود که در روزهای چهارم و بیست و سوم ژانویه در لایه ۷۱-۱۰ متری با مقداری به ترتیب ۱۴،۲ و ۱۲،۳ بر حسب  $10^{-2}$  بر ثانیه رخ داده است. از بررسی چینش قائم باد سطوح پایین در روزهای مختلف ماه ژولای دیده می‌شود که چینش قائم باد در این ماه در اثر وارونگی دما ایجاد شده است. در این ماه فراوانی چینش قائم باد در لایه ۷۱-۱۰ متری بیشتر است. بیشترین مقدار این کمیت در این ماه در ساعت ۱۲:۰۰ گرینویچ روز چهاردهم ژولای در لایه ۷۱-۱۰ متری با مقدار ۱۶،۷ بر حسب  $10^{-2}$  بر ثانیه برآورد شده است. بررسی چینش قائم باد در ماه ژولای این سال نشان می‌دهد که در ۳۵ درصد موارد، چینش قائم باد سطوح پایین رخ داده است که ۲۲ درصد آن از نوع ضعیف، ۱۱ درصد از نوع متوسط و ۲ درصد از نوع شدید بوده است. شایان ذکر است که فراوانی چینش قائم باد متوسط در ماه ژولای نسبت به ماه ژانویه بیشتر می‌باشد.

واژگان کلیدی : چینش قائم باد سطوح پایین، چینش سرعتی باد، چینش سمتی باد، فرودگاه مهرآباد، رادیو گمانه

\*. Email: moradim36@gmail.com

## مقدمه

یکی از مشکلات پیچیده‌ای که معمولاً در بحث هواشناسی هوانوردی و بررسی توفانهای حاره‌ای مورد توجه پژوهشگران قرار دارد، چینش قائم باد است که از اوایل دهه ۶۰ میلادی با توصیه سازمان جهانی هواشناسی به طور جدی به آن پرداخته شده است به گونه‌ای که نشریه شماره ۲۳۰ سازمان جهانی هواشناسی که در سال ۱۹۶۹ منتشر شده است، عمدتاً به نتیجه تحقیقات پژوهشگران کشورهای مختلف در مورد چینش قائم باد اختصاص یافته است. از جمله پژوهشگرانی که در این نشریه چینش قائم باد را در لایه سطحی و لایه مرزی بررسی کرده اند میتوان به کوسانو (Kosano و همکاران، ۱۹۶۹) رابرت (Rebert، ۱۹۶۹) و پتیت (Pettitt و همکاران، ۱۹۶۹) اشاره کرد. پس از انتشار نشریه فوق، مطالعات تخصصی زیادی در مورد چینش قائم باد ارائه شده است که می‌توان به چند نمونه از نتایج آخرین تحقیقات اشاره کرد.

بین و همکاران (Bin و همکاران، ۲۰۰۵) اثر چینش قائم باد بر روی توسعه چرخندهای حاره‌ای را به طور آماری بررسی کردند. آنها با بکارگیری داده‌های NCEP/NCAR در دوره آماری ۲۰۰۲-۱۹۹۹ نشان دادند که چینش قائم باد بین دو تراز ۵۰۰ و ۲۰۰ هکتوپاسکال نسبت به چینش قائم باد در ترازهای ۲۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال برای توسعه چرخندهای حاره‌ای از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد. فرانک و همکاران (Frank و همکاران، ۲۰۰۱) اثر چینش قائم باد روی توسعه چرخندهای حاره‌ای را به کمک مدل MMS5 شبیه سازی کردند و نشان دادند که چرخندهای حاره‌ای در اثر چینش ۵ و ۱۰ متر بر ثانیه به ترتیب در مدت ۳۶ و ۲۴ ساعت پس از شروع شبیه سازی تضعیف می‌شوند. کاربوسیرو و همکاران (Corbosiero و همکاران، ۲۰۰۲) در بررسی چینش قائم باد روی توسعه و شکل گیری چرخندهای حاره‌ای نشان دادند که عامل شکل گیری و توسعه این سامانه ها بیشتر در اثر چینش قائم باد در ترازهای پایین می‌باشد. راپین و همکاران (Rappin و

همکاران، ۲۰۱۲) اثر چینش قائم باد را در ۳۴۹ مورد چرخندزائی مطالعه کردند و نشان دادند که در بیشتر موارد این کمیت نقش عمده‌ای بر عهده دارد.

چینش قائم باد سطوح پایین در زمینه هوانوردی توسط پژوهشگران زیادی بررسی شده است. برخی از پژوهشگران هواشناسی هوانوردی چینش قائم باد که در اثر شرایط غیر همرفتی ایجاد می‌شود را بررسی کرده‌اند که می‌توان به سینکلیر و همکاران (Sinclair و همکاران، ۱۹۹۱) و آرکل (Arkell، ۲۰۰۰) اشاره کرد. سینکلیر و همکاران در مقاله‌ای چینش باد را در پروازهای سطوح پایین برای آشکار کردن این پدیده و اعلان هشدار بررسی کردند. آرکل اختلاف بین انواع چینش باد و نحوه پیش بینی آنها را از دیدگاه هواشناسی هوانوردی بررسی کرد.

در ایران به سبب نبود داده‌های مناسب، این کمیت تا سال ۱۳۶۸ بررسی نشده است. طی سالهای ۱۳۶۸ و ۱۳۶۹ نصیرزاده (۱۹۸۹) و رزم زن (۱۹۹۰) با بکارگیری داده‌های برج هواشناسی سازمان انرژی اتمی که در امیرآباد تهران قرار داشت، چینش قائم باد را در تهران در لایه‌های مختلف ۱۰-۴۵، ۱۰-۸۰ و ۱۰-۱۰۰ متری و برای ماه‌های مختلف، بررسی کردند. این بررسی‌ها که در قالب پایان‌نامه دانشجویی کارشناسی ارشد رشته هواشناسی است، نشان داد که به علت وجود اثرات ناشی از مالش سطح زمین، چینش تندی باد در لایه ۱۰-۴۵ متری بیشتر از لایه‌های دیگر است. همچنین نتایج این پژوهشگران نشان داد که چینش قائم باد در برج هواشناسی امیرآباد به سبب ساختار ویژه توپوگرافی و قوی بودن نسیم کوه به دشت و دشت به کوه برای شهر تهران قابل تعمیم نمی‌باشد.

چینش باد می‌تواند افقی و قائم باشد. چینش افقی باد آهنگ تغییر باد افقی در راستای محورهای افقی است و چینش قائم باد آهنگ تغییر باد افقی در راستای قائم می‌باشد. چینش قائم باد در سطوح بالا و پایین بطور مجزا بررسی می‌شود. چینش قائم باد سطوح بالا برای بررسی

فوق وجود داشته باشد (UCAR, ۲۰۰۸). در رابطه (۱) مولفه‌های افقی باد از رابطه‌های زیر بدست می‌آیند:

$$u = -ff \sin(dd) \quad (۲)$$

$$v = -ff \cos(dd) \quad (۳)$$

در این روابط  $ff$  اندازه بردار سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه و  $dd$  جهت آن بر حسب درجه می‌باشد. با استفاده از این روابط چپش قائم باد به صورت زیر دسته بندی می‌شود (NWS, ۲۰۰۴):

$$5 \times 10^{-2} s^{-1} \leq LLVWS < 7.5 \times 10^{-2} s^{-1} \quad \text{ضعیف}$$

$$7.5 \times 10^{-2} s^{-1} \leq LLVWS < 9 \times 10^{-2} s^{-1} \quad \text{متوسط}$$

$$LLVWS \geq 10 \times 10^{-2} s^{-1} \quad \text{شدید}$$

از رابطه (۱) نمی‌توان تشخیص داد که چپش قائم در اثر تغییر سمت است و یا ناشی از تغییر سرعت و یا در اثر تغییر همزمان هر دو عامل جهت و سرعت ایجاد شده است. برای برطرف شدن این مسئله، در این پژوهش نحوه تغییرات سمت و سرعت باد با ارتفاع نیز بررسی می‌شود. برای محاسبه سرعت باد در لایه‌های مختلف با استفاده از سرعت باد در یک تراز، معمولاً روشهای متفاوتی وجود دارد که ساده ترین نوع آن استفاده از رابطه لگاریتمی مربوط به دیکن<sup>۲</sup> است که به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\frac{u_{za}}{u_{zb}} = \left(\frac{z_a}{z_b}\right)^\alpha \quad (۴)$$

در این رابطه  $u_{za}$  سرعت باد در ارتفاع  $z_a$ ،  $u_{zb}$  سرعت باد در ارتفاع  $z_b$  و  $\alpha$  عدد ثابتی است که مقدار آن برای حالت‌های مختلف جو متفاوت می‌باشد و به ناهمواری سطح زیرین و پایداری جو بستگی دارد. از این رابطه برای ارتفاع‌های بین ۱۰ تا ۳۰۰ متری استفاده می‌شود است و توصیه شده است که برای ارتفاعات بالاتر این معادله با احتیاط بکار برده شود (Brandon, ۲۰۰۸).

معمولاً از رابطه (۴) برای ارزیابی کیفی نحوه پخش آلودگی در تاسیسات آلوده کننده استفاده می‌شود. در این

نحوه تشکیل و رهگیری توفانهای حاره‌ای و چپش قائم باد سطوح پایین در امور هوانوردی بکار گرفته می‌شود.

چپش قائم باد سطوح بالا عموماً اختلاف برداری باد در دو تراز ۸۵۰ و ۲۰۰ هکتوپاسکال است و چپش قائم باد سطوح پایین در نزدیکی سطح زمین در اثر اختلاف برداری باد افقی در یک لایه کم عمق زیر ۲۰۰۰ پائی (حدود ۶۱۰ متر) بالای سطح زمین در راستای قائم ایجاد می‌شود (Arkell, ۲۰۰۰) و (Cole و همکاران, ۲۰۰۰). این کمیت هم در اثر عوامل همرفتی و هم در اثر غیر همرفتی ایجاد می‌شود. چپش قائم باد سطوح پایین که در اثر عوامل همرفتی مانند توفانها ایجاد می‌شوند، طول عمر کوتاهی دارند و فقط به کمک رادارهای هواشناسی آشکار می‌شوند (Bander, ۱۹۸۹). چپش قائم باد سطوح پایین که در اثر عوامل غیر همرفتی مانند عبور جبهه‌ها، وارونگی دما، جت سطح پایین و توپوگرافی ایجاد می‌شوند، طول عمرشان بیشتر از ساعت است و بوسیله راديو سوند، پروفایلر باد و رادار هواشناسی می‌توانند آشکار شوند (Rappin و همکاران, ۲۰۱۲). چپش قائم باد سطوح پایین بر اساس مستندات هوانوردی (NWS, ۲۰۰۵)، به صورت اختلاف برداری باد سطح زمین و ارتفاع ۲۰۰۰ پائی بالای سطح زمین تعریف می‌شود. اندازه این کمیت به صورت زیر نوشته می‌شود (Bin و همکاران, ۲۰۰۵):

$$LLVWS = \frac{1}{\delta z} \sqrt{(u_a - u_b)^2 + (v_a - v_b)^2} \quad (۱)$$

در این رابطه  $u$  و  $v$  به ترتیب نشانگر مولفه‌های مداری و نصف‌النهاری بردار باد،  $LLVWS$  چپش قائم باد سطوح پایین، اندیس‌های  $a$  و  $b$  به ترتیب ترازهای بالا و پایین اشاره می‌کنند.  $\delta z$  نیز اختلاف ارتفاع بر حسب متر می‌باشد. از دیدگاه پژوهشگران هواشناسی هوانوردی چپش قائم باد سطوح پایین هنگامی رخ می‌دهد که در لایه ۲۰۰۰ پائی بالای سطح زمین، اندازه سرعت باد بیش از ۵ متر بر ثانیه و یا جهت آن بیش از ۶۰ درجه تغییر کند (NWS, ۲۰۰۸) یا این شرایط در هر زیر لایه ۲۰۰ پائی درون لایه

۰۰۰۰ و ۱۲۰۰ گریجویچ در سال ۲۰۱۰ میلادی از گزارش رادیو گمانه این ایستگاه بدست آمده است، استفاده شد. نمونه‌ای از این داده‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. از آنجائی که برای تعیین چینش قائم باد سطوح پایین اختلاف سرعت باد در زیر ۲۰۰۰ پائی بالای سطح زمین و در لایه‌های ۱۰۰ پائی (۳۰،۵ متر) باید بیش از ۵ متر بر ثانیه باشد (NWS، ۲۰۰۸) و (UCAR، ۲۰۰۸) و نیز باد سطح زمین در ارتفاع ۱۰ متری (۳۰ پائی) اندازه گیری می‌شود، از این رو در این پژوهش برای محاسبه چینش قائم باد سطوح پایین، فاصله ۶۲۰ متری (۲۰۳۰ پائی) بالای سطح زمین به لایه‌های ۳۰ متری (۱۰۰ پائی) تقسیم می‌شود. سپس داده‌های باد ایستگاه رادیو گمانه جو مهرآباد بر اساس روشهای متداول هواشناسی به داده‌های کف و سقف این لایه‌های کم عمق تبدیل شد. نمونه‌ای از این داده‌ها در جدول ۳ نشان داده شده است. برای محاسبه چینش قائم باد، ابتدا مولفه‌های افقی باد محاسبه شدند و سپس با بکارگیری رابطه (۱) چینش قائم باد بدست آمد. در این پژوهش چینش قائم باد سطوح پایین هنگامی رخ می‌دهد که رابطه  $LLVWS \geq 5 \times 10^{-2} s^{-1}$  برقرار باشد.

صورت در کلاسهای پایداری مختلف (Pasquill، ۱۹۷۴) و برای مناطق شهری و غیر شهری مقادیر سرعت باد با ارتفاع متفاوت است. در مناطق شهری برای جو ناپایدار ۰/۱۵ تا ۰/۲، برای جو خنثی ۰/۲۵ و برای جو پایدار این کمیت ۰/۳ در نظر گرفته شده است. در مناطق غیر شهری برای جو ناپایدار ۰/۰۷ تا ۰/۱، برای جو خنثی ۰/۱۵ و برای جو پایدار این کمیت ۰/۳۵ تا ۰/۵۵ در نظر گرفته شده است. هدف از این تحقیق تعیین لایه‌های مختلف چینش قائم باد سطوح پایین در فرودگاه مهرآباد در ماه‌های ژانویه و ژولای به عنوان به ترتیب ماه سرد و ماه گرم برای تسهیل نشست و برخاست هواپیماهای مختلف می‌باشد.

## مواد و روشها

ایستگاه مهرآباد تهران با موقعیت ۵۱/۳۱ درجه طول جغرافیائی شرقی، ۳۵/۶۹ درجه عرض جغرافیائی شمالی و ارتفاع ۱۱۹۱ متر از سطح متوسط دریا یکی از ایستگاه‌های فرودگاهی است که روزانه در دو نوبت عمل رادیوگمانه جو را انجام می‌دهد. برای بررسی چینش باد در ایستگاه مهرآباد از داده‌های دو ثانیه‌ای میدان باد که بطور روزانه در ساعت‌های

جدول ۲- نمونه‌ای از فایل‌های ۲ ثانیه‌ای ایستگاه رادیو گمانه جو مهرآباد تهران در روز یکم مارس ۲۰۱۰ در ساعت ۰۰۰۰ گریجویچ.

زمان		فشار (هکتوپاسکال)	ارتفاع (متر)	سمت و سرعت باد	
دقیقه	ثانیه			سرعت (متر بر ثانیه)	سمت (درجه)
۰	۰	۸۷۹/۹	۱۱۹۱	۲	۳۱
۰	۲	۸۷۸/۹	۱۲۰۰	۲	۲۷
۰	۴	۸۷۷/۷	۱۲۱۲	۲	۲۳
۰	۶	۸۷۶/۴	۱۲۲۴	۲	۱۹
۰	۸	۸۷۵/۲	۱۲۳۵	۲	۱۴
۰	۱۰	۸۷۴/۳	۱۲۴۴	۲	۱۰
۰	۱۲	۸۷۳/۲	۱۲۵۴	۲	۶
۰	۱۴	۸۷۲/۰	۱۲۶۶	۲	۲
۰	۱۶	۸۷۰/۷	۱۲۷۸	۲	۳۵۸
۰	۱۸	۸۶۹/۵	۱۲۹۰	۲	۳۵۴
۰	۲۰	۸۶۸/۳	۱۳۰۱	۲	۳۵۰
۰	۲۲	۸۶۷/۱	۱۳۱۳	۲	۳۴۷
۰	۲۴	۸۶۵/۶	۱۳۲۷	۲	۳۴۳

.	۲۶	۸۶۴/۴	۱۳۳۸	۲	۳۳۹
.	۲۸	۸۶۳/۵	۱۳۴۷	۲	۳۳۵
.	۳۰	۸۶۲/۸	۱۳۵۴	۲	۳۳۲
.	۳۲	۸۶۱/۸	۱۳۶۳	۲	۳۲۸
.	۳۴	۸۶۰/۸	۱۳۷۳	۲	۳۲۵
.	۳۶	۸۵۹/۷	۱۳۸۳	۲	۳۲۱
.	۳۶	۸۵۸/۶	۱۳۹۴	۲	۳۱۸
.	۴۰	۸۵۷/۶	۱۴۰۴	۲/۱	۳۱۵
.	۴۲	۸۵۶/۷	۱۴۱۳	۲/۱	۳۱۲
.	۴۴	۸۵۵/۸	۱۴۲۱	۲/۱	۳۰۹
.	۴۶	۸۵۴/۸	۱۴۳۱	۲/۱	۳۰۶
.	۴۸	۸۵۳/۷	۱۴۴۱	۲/۱	۳۰۳
.	۵۰	۸۵۲/۷	۱۴۵۲	۲/۲	۳۰۰
.	۵۲	۸۵۱/۴	۱۴۶۴	۲/۲	۲۹۸
.	۵۴	۸۵۰/۰	۱۴۷۷	۲/۲	۲۹۵
.	۵۶	۸۴۸/۷	۱۴۹۰	۲/۳	۲۹۳
.	۵۸	۸۴۷/۶	۱۵۰۱	۲/۳	۲۹۱
۱	.	۸۴۶/۴	۱۵۱۳	۲/۳	۲۸۹

جدول ۳- میدان باد در ارتفاعهای مختلف در ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ مورخ دوم ژانویه ۲۰۱۰ در ایستگاه مهرآباد.

سرعت (متر بر ثانیه)	سمت باد (درجه)	ارتفاع از سطح زمین	
		پا	متر
۲/۳	۲۷۴	۳۰	۱۰/۰
۳/۲	۲۸۷	۱۳۰	۴۰/۵
۴/۱	۲۹۹	۲۳۰	۷۱/۰
۵/۰	۳۱۲	۳۳۰	۱۰۱/۵
۵/۹	۳۲۴	۴۳۰	۱۳۲/۰
۶/۷	۳۳۶	۵۳۰	۱۶۲/۵
۷/۶	۳۴۸	۶۳۰	۱۹۳/۰
۸/۳	۳۵۹	۷۳۰	۲۲۳/۵
۹/۱	۹	۸۳۰	۲۵۴/۰
۹/۸	۱۹	۹۳۰	۲۸۴/۵
۱۰/۵	۲۹	۱۰۳۰	۳۱۵/۰
۱۱/۱	۳۸	۱۱۳۰	۳۴۵/۵
۱۱/۷	۴۶	۱۲۳۰	۳۷۶/۰
۱۲/۳	۵۵	۱۳۳۰	۴۰۶/۵
۱۲/۶	۵۹	۱۴۳۰	۴۳۷/۰
۱۳/۰	۶۴	۱۵۳۰	۴۶۷/۵
۱۳/۲	۶۹	۱۶۳۰	۴۹۸/۰
۱۳/۴	۷۲	۱۷۳۰	۵۲۸/۵
۱۳/۵	۷۴	۱۸۳۰	۵۵۹/۰
۱۳/۶	۷۵	۱۹۳۰	۵۸۹/۵
۱۳/۵	۷۴	۲۰۳۰	۶۲۰/۰

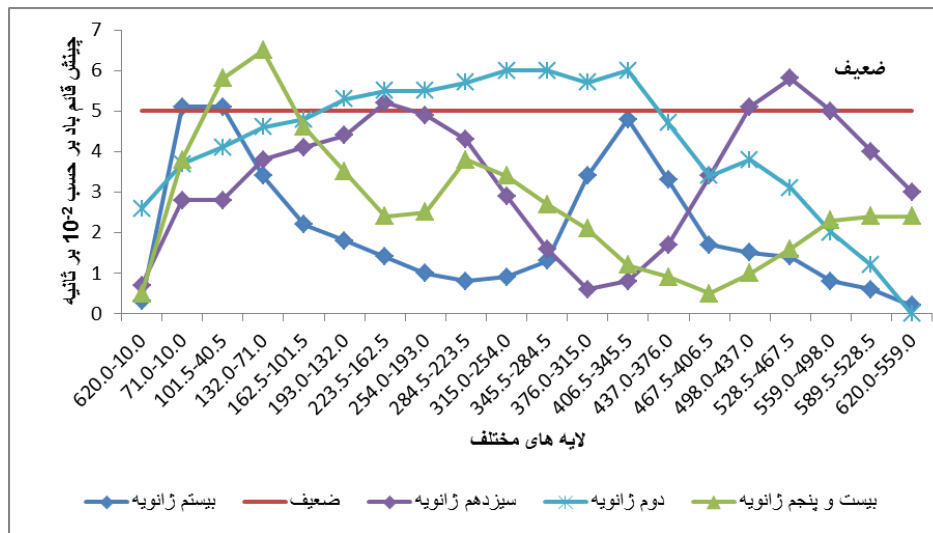
## نتایج و بحث

بررسی نتایج محاسبات نشان می‌دهد که از ۴۷ مورد دیدبانی در ماه ژانویه سال ۲۰۱۰، در ۷ مورد چینش قائم باد سطوح پایین در لایه‌های مختلف رخ داده است. این موردها در جدول ۴ نشان داده شده است. در این جدول مقادیر چینش قائم باد سطوح پایین بر حسب  $10^{-2} s^{-1}$  آورده شده است. از این جدول دیده می‌شود که در روز دوم ژانویه در ساعت ۰۰:۰۰ گرینویچ، در هشت لایه متفاوت چینش قائم باد سطوح پایین رخ داده است که بر اساس دسته بندی شدت، همگی از نوع ضعیف می‌باشند این شرایط در شکل ۱ نشان داده شده است. از جدول ۴ همچنین دیده می‌شود که در ساعت ۰۰:۰۰ گرینویچ روز چهارم در لایه ۱۰ تا ۷۱ متری از سطح زمین، چینش قائم باد سطوح پایین بسیار شدید است. شکل ۲ چینش قائم باد سطوح پایین را در این روز نشان می‌دهد. از این جدول دیده می‌شود که در ساعت

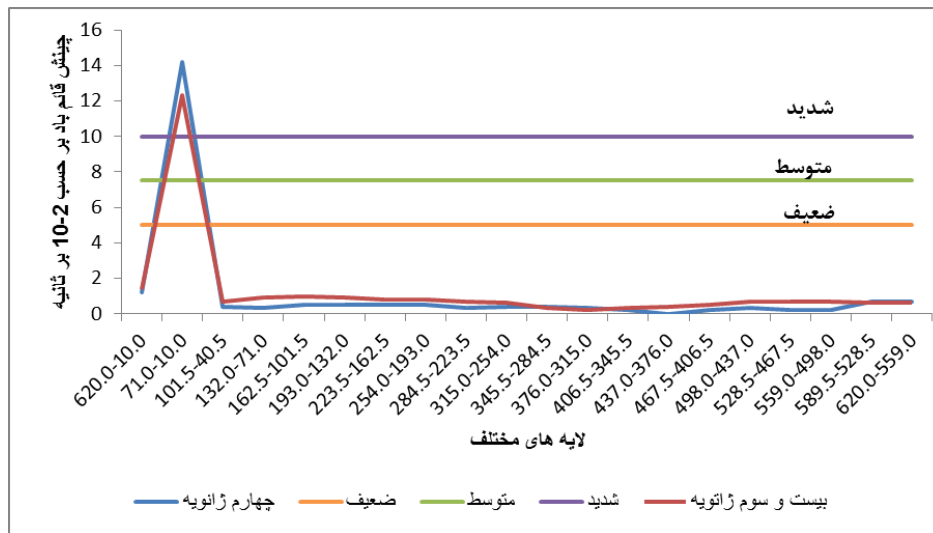
۰۰:۰۰ گرینویچ روز سیزدهم ژانویه در چند لایه مختلف چینش قائم باد ضعیف برآورد شده است. در ساعت ۱۲:۰۰ گرینویچ روز هیجده ام، بیستم و پنجم نیز چینش باد ضعیف است ولی در ساعت ۰۰:۰۰ گرینویچ روز بیست و سوم چینش قائم باد شدید برآورد شده است. این کمیت در لایه ۱۰ تا ۷۱ متری رخ داده است. از بررسی سمت و سرعت باد در ساعت ۰۰:۰۰ گرینویچ روز چهارم ژانویه دیده می‌شود که در لایه ۱۰-۷۱، سرعت باد از ۱٫۵ متر بر ثانیه به ۸٫۷ متر بر ثانیه افزایش یافته است. جهت باد نیز از ۳۵۰ درجه به ۲۶۶ درجه پسرگرد کرده است. در این مورد اختلاف جهت با ارتفاع ۸۴ درجه است. در ساعت ۰۰:۰۰ گرینویچ روز بیست و سوم ژانویه دیده میشود که در لایه ۱۰-۷۱، سرعت باد از ۲ متر بر ثانیه به ۹٫۵ متر بر ثانیه افزایش یافته است. جهت باد نیز از ۳۰۰ درجه به ۲۹۱ درجه پسرگرد کرده است.

جدول ۴- چینش قائم باد سطوح پایین بر حسب  $10^{-2} s^{-1}$  در روزهای مختلف ماه ژانویه ۲۰۱۰ در ایستگاه مهرآباد.

ساعت ۱۲:۰۰ روز بیست و پنجم	ساعت ۰۰:۰۰ روز بیست و سوم	ساعت ۱۲:۰۰ روز بیستم	ساعت ۱۲:۰۰ روز هیجده ام	ساعت ۰۰:۰۰ روز سیزدهم	ساعت ۰۰:۰۰ روز چهارم	ساعت ۰۰:۰۰ روز دوم	لایه زیر ۶۲۰ متری
۰/۵	۱/۴	۰/۳	۰/۵	۰/۷	۱/۲	۲/۶	۱۰/۰-۶۲۰/۰
۳/۸	۱۲/۳	۵/۱	۱/۳	۲/۸	۱۴/۲	۳/۷	۱۰/۰-۷۱/۰
۵/۸	۰/۷	۵/۱	۱/۸	۲/۸	۰/۴	۴/۱	۴۰/۵-۱۰۱/۵
۶/۵	۰/۹	۳/۴	۱/۴	۳/۸	۰/۳	۴/۶	۷۱/۰-۱۳۲/۰
۴/۶	۱/۰	۲/۲	۱/۹	۴/۱	۰/۵	۴/۸	۱۰۱/۵-۱۶۲/۵
۳/۵	۰/۹	۱/۸	۲/۴	۴/۴	۰/۵	۵/۳	۱۳۲/۰-۱۹۳/۰
۲/۴	۰/۸	۱/۴	۲/۶	۵/۲	۰/۵	۵/۵	۱۶۲/۵-۲۲۳/۵
۲/۵	۰/۸	۱/۰	۳/۳	۴/۹	۰/۵	۵/۵	۱۹۳/۰-۲۵۴/۰
۳/۸	۰/۷	۰/۸	۴/۴	۴/۳	۰/۳	۵/۷	۲۲۳/۵-۲۸۴/۵
۳/۴	۰/۶	۰/۹	۴/۹	۲/۹	۰/۴	۶/۰	۲۵۴/۰-۳۱۵/۰
۲/۷	۰/۳	۱/۳	۴/۴	۱/۶	۰/۴	۶/۰	۲۸۴/۵-۳۴۵/۵
۲/۱	۰/۲	۳/۴	۲/۰	۰/۶	۰/۳	۵/۷	۳۱۵/۰-۳۷۶/۰
۱/۲	۰/۳	۴/۸	۱/۰	۰/۸	۰/۲	۶/۰	۳۴۵/۵-۴۰۶/۵
۰/۹	۰/۴	۳/۳	۳/۶	۱/۷	۰/۰	۴/۷	۳۷۶/۰-۴۳۷/۰
۰/۵	۰/۵	۱/۷	۵/۳	۳/۴	۰/۲	۳/۴	۴۰۶/۵-۴۶۷/۵
۱/۰	۰/۷	۱/۵	۴/۴	۵/۱	۰/۳	۳/۸	۴۳۷/۰-۴۹۸/۰
۱/۶	۰/۷	۱/۴	۲/۲	۵/۸	۰/۲	۳/۱	۴۶۷/۵-۵۲۸/۵
۲/۳	۰/۷	۰/۸	۱/۴	۵/۰	۰/۲	۲/۰	۴۹۸/۰-۵۵۹/۰
۲/۴	۰/۶	۰/۶	۱/۸	۴/۰	۰/۷	۱/۲	۵۲۸/۵-۵۸۹/۵
۲/۴	۰/۶	۰/۲	۱/۴	۳/۰	۰/۷	۰/۰	۵۵۹/۰-۶۲۰/۰



شکل ۱- چینش قائم باد سطوح پایین (۱۰<sup>-۲</sup> بر ثانیه) در ساعت ۰۰۰۰ گریجوی روزهای دوم و سیزدهم و ساعت ۱۲۰۰ گریجوی روزهای بیستم و بیست و پنجم ژانویه ۲۰۱۰ در مهرآباد تهران.



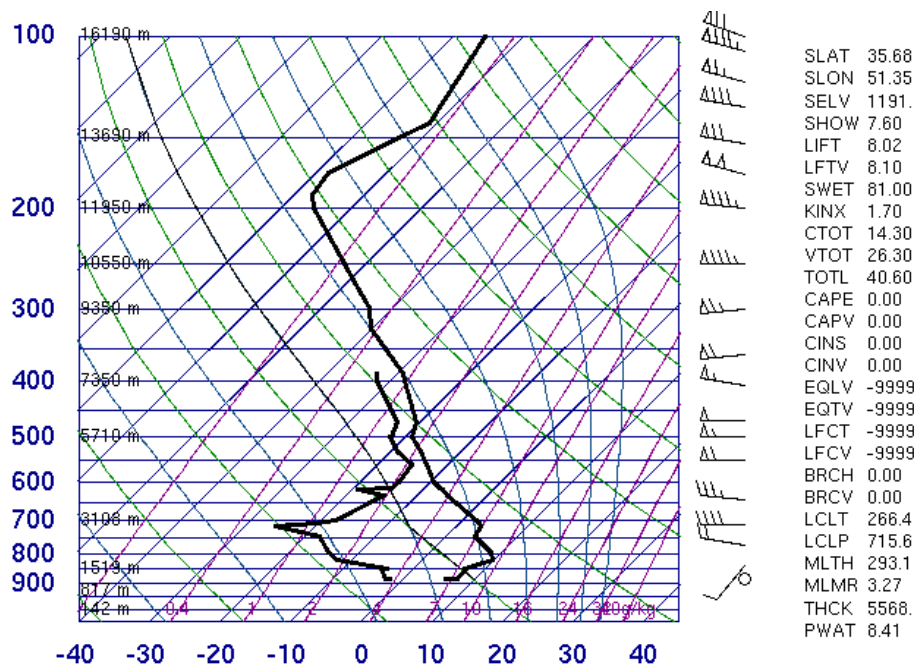
شکل ۲- چینش قائم باد سطوح پایین (۱۰<sup>-۲</sup> بر ثانیه) در ساعت ۰۰۰۰ گریجوی روزهای چهارم و بیست و سوم ژانویه ۲۰۱۰ در مهرآباد تهران.

فشار هماهنگ با پراارتفاع تراز میانی بر ایران حاکم است. این شرایط نشان می‌دهد که چینش قائم باد سطوح پایین از نوع غیر همرفتی است که عامل ایجاد آن وارونگی دمای شبانه بوده است.

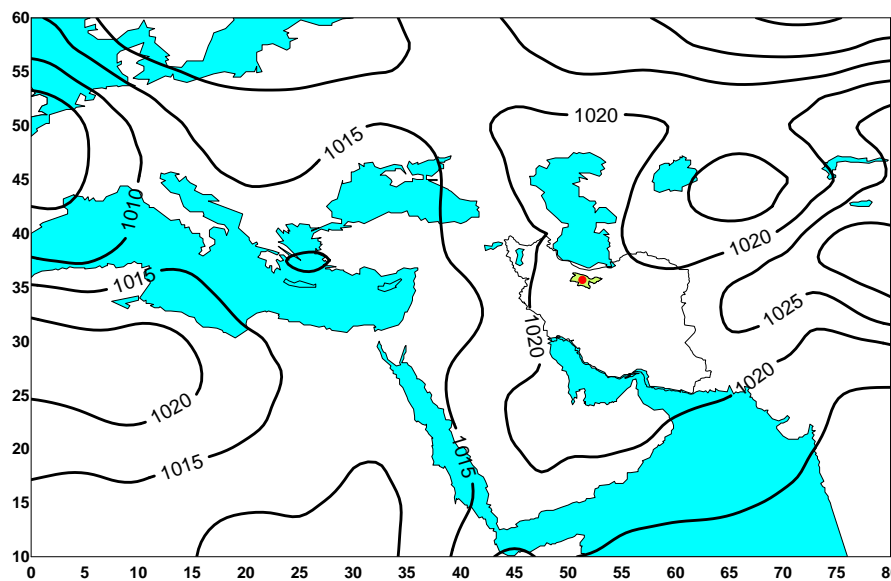
در روزهای هیجدهم، بیستم و بیست و سوم ژانویه نیز پشته فشاری به همراه پشته ارتفاع تراز میانی، منطقه

شکل ۳ نمودار ترمودینامیکی اسکیتوتی را در ایستگاه مهرآباد برای ساعت ۰۰۰۰ گریجوی روز سیزدهم ژانویه ۲۰۱۰ نشان می‌دهد. از این شکل دیده میشود که در این روز وارونگی دما در لایه‌های زیرین ایجاد شده است. در این روز گرته میدان فشار سطح متوسط دریا (شکل ۴) و میدان ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۵) نشان می‌دهد که پر

مطالعاتی را تحت تاثیر قرار داده‌اند. در این حالت موردی نیز مشابه روز سیزدهم ژانویه، وارونگی شبانه سبب ایجاد چینش قائم باد سطوح پایین شده‌اند. برای کاستن از حجم مطالب از آوردن الگوهای همدیدی اجتناب شده است.

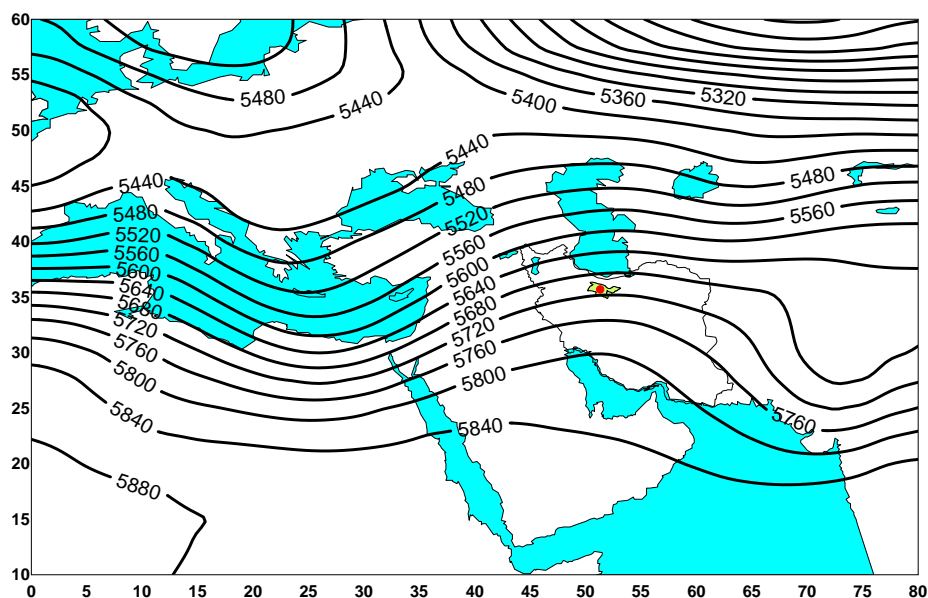


شکل ۳- نمودار ترمودینامیکی اسکیتی در ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ روز سیزدهم ژانویه ۲۰۱۰ در ایستگاه مهرآباد تهران.



شکل ۴- میدان فشار سطح زمین بر حسب هکتوپاسکال در ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ روز سیزدهم ماه ژانویه سال ۲۰۱۰. محورهای مختصات، طول و عرض جغرافیایی بر حسب درجه می‌باشد. خطوط هم فشار با فاصله ۵ هکتوپاسکال رسم شده است. منطقه رنگی در روی ایران استان تهران و دایره قرمز رنگ ایستگاه مهرآباد تهران را نشان می‌دهد.



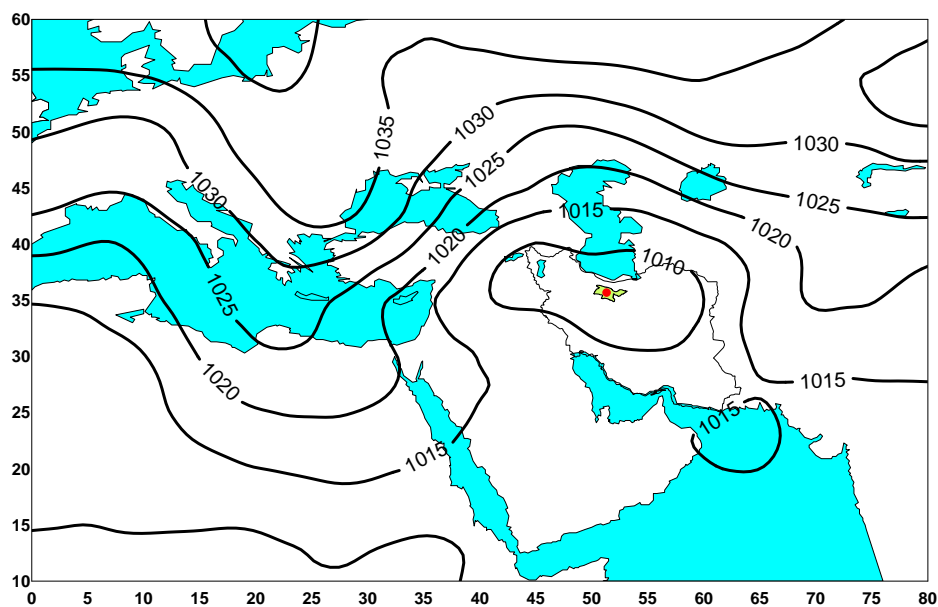


شکل ۵: میدان ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر حسب متر در ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ روز سیزدهم ماه ژانویه سال ۲۰۱۰. محورهای مختصات، طول و عرض جغرافیایی بر حسب درجه می‌باشد. خطوط هم ارتفاع به فاصله ۴۰ متر رسم شده اند. منطقه رنگی در روی ایران استان تهران و دایره قرمز رنگ ایستگاه مهرآباد تهران را نشان می‌دهد.

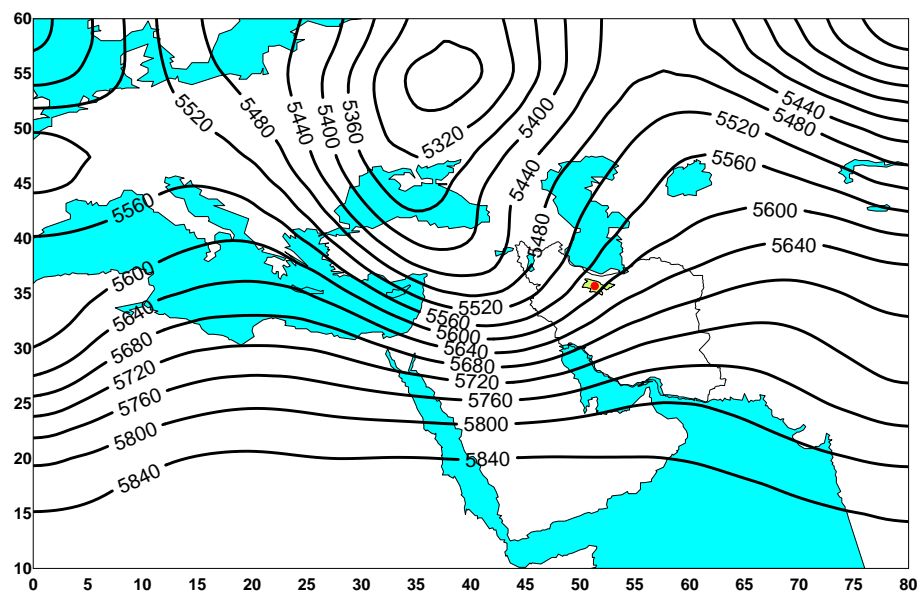
هوای گرم در شمال شرق ایران وجود جبهه‌های مختلف جوی در منطقه را نشان می‌دهد. با رسم جبهه گرم و سرد، مشخص شد که جبهه سرد در این ساعت منطقه مطالعاتی را تحت تاثیر قرار داده است. این بررسی نشان می‌دهد که عبور جبهه‌های جوی عامل ایجاد چینش قائم باد سطوح پایینی در این تراز می‌باشد.

بررسی چینش قائم باد سطوح پایین در حالت موردی دوم و چهارم ژانویه نیز نشان می‌دهد که یک جبهه سرد ناشی از عبور یک سامانه بارشی از روی تهران عبور کرده است. در این دو حالت موردی نیز جبهه‌های جوی سبب ایجاد چینش قائم باد سطوح پایین شده است.

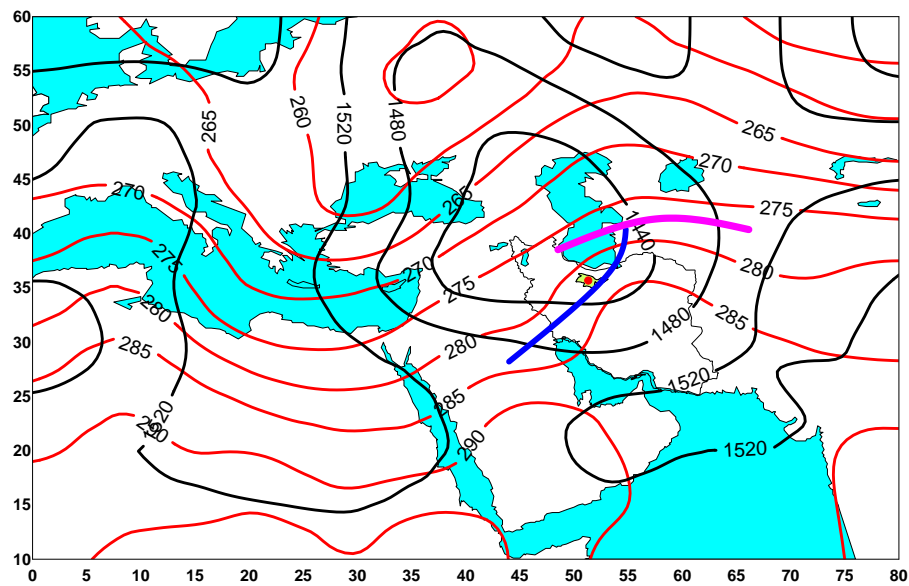
شکل ۶ میدان فشار را در ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ روز بیست و پنجم ژانویه ۲۰۱۰ نشان می‌دهد. از این شکل دیده می‌شود که کم فشار سراسر ایران را تحت تاثیر قرار داده است و مرکز کم فشار با خط هم فشار ۱۰۱۰ هکتوپاسکال استان تهران را در بر گرفته است. با بررسی میدان ارتفاع تراز میانی مربوط به این ساعت، دیده می‌شود که بیشتر نقاط نیمه غربی ایران از جمله تهران در جلو ناوه ارتفاع قرار گرفته است که مرکز آن به طور بسته در شمال دریای سیاه می‌باشد (شکل ۷). شکل ۸ میدان دما و ارتفاع را در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد. از این شکل دیده می‌شود که فرارفت هوای سرد در جنوب غرب به همراه فرارفت



شکل ۶- میدان فشار سطح زمین بر حسب هکتوپاسکال در ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ روز بیست و پنجم ماه ژانویه سال ۲۰۱۰. محورهای مختصات، طول و عرض جغرافیایی بر حسب درجه می‌باشد. خطوط هم فشار با فاصله ۵ هکتوپاسکال رسم شده است. منطقه رنگی در روی ایران استان تهران و دایره قرمز رنگ ایستگاه مهرآباد تهران را نشان می‌دهد.



شکل ۷- میدان ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر حسب متر در ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ روز بیست و پنجم ماه ژانویه سال ۲۰۱۰. محورهای مختصات، طول و عرض جغرافیایی بر حسب درجه می‌باشد. خطوط هم ارتفاع به فاصله ۴۰ متر رسم شده اند. منطقه رنگی در روی ایران استان تهران و دایره قرمز رنگ ایستگاه مهرآباد تهران را نشان می‌دهد.



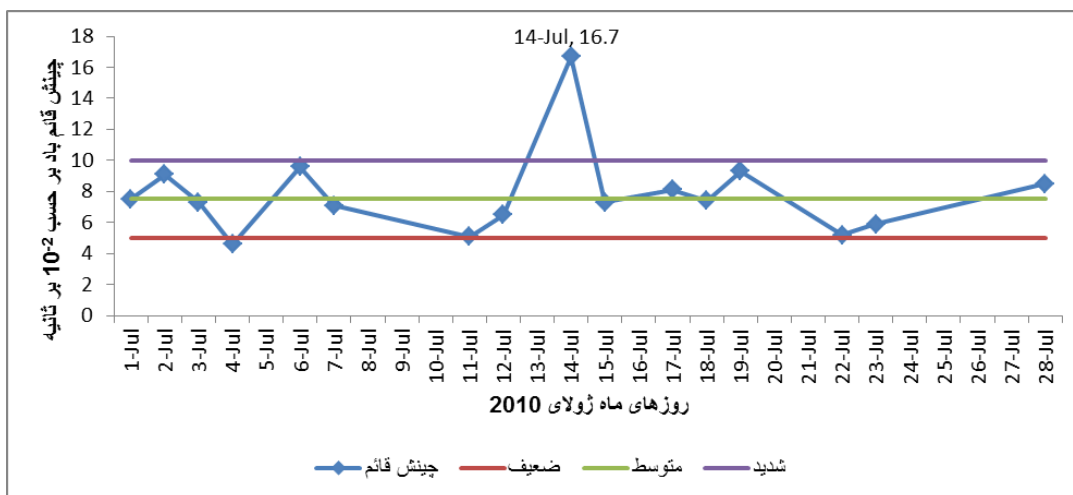
شکل ۸- میدان دما ( بر حسب درجه کلونین) و ارتفاع ( بر حسب متر) در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ روز بیست و پنجم ماه ژانویه سال ۲۰۱۰. محورهای مختصات، طول و عرض جغرافیایی بر حسب درجه می‌باشد. خطوط هم ارتفاع به فاصله ۴۰ متر رسم شده اند. منطقه رنگی در روی ایران استان تهران و دایره قرمز رنگ ایستگاه مهرآباد تهران را نشان می‌دهد. جبهه سرد با خط پر رنگ آبی و جبهه گرم با رنگ صورتی مشخص شده است.

شدید، شش مورد متوسط و یازده مورد ضعیف برآورد شده است. این شرایط در شکل ۹ نشان داده شده است. از این شکل دیده می‌شود که در ساعت ۱۲۰۰ روز چهاردهم ماه ژولای چینش قائم باد سطوح پایین به ۱۶٫۷ واحد رسیده است که بیشینه مقدار در طول این ماه می‌باشد. در این روز سرعت باد با ارتفاع ۲ متر بر ثانیه افزایش و جهت باد با ارتفاع نیز ۱۰۰ درجه افزایش پیشگردی یافته است.

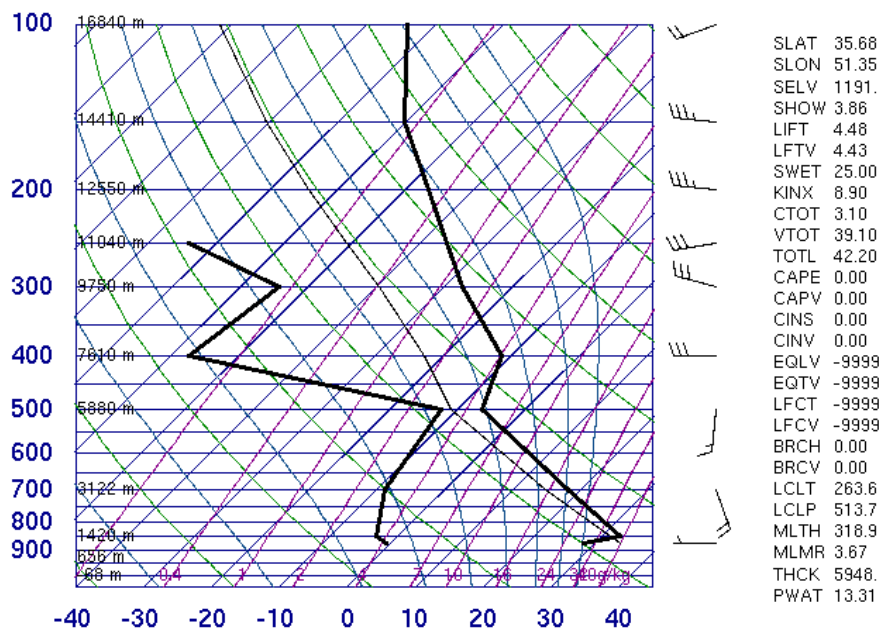
شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نیمرخ قائم دما، نم نسبی و باد در ترازهای مختلف فشاری در ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ روزهای دوم و نوزدهم ژولای ۲۰۱۰ را نشان می‌دهد. این شکل‌ها به عنوان نمونه‌ای از وارونگی دما در این ماه ارائه شده است.

از این بررسی دیده می‌شود که در ماه ژانویه به سبب عبور متناوب سامانه‌های همدیدی و جبهه‌های جوی مختلف و نیز وارونگی شبانه دما در نزدیکی سطح زمین، چینش قائم باد سطوح پایین در ایستگاه مهرآباد تهران، در لایه‌های مختلفی ایجاد شده است.

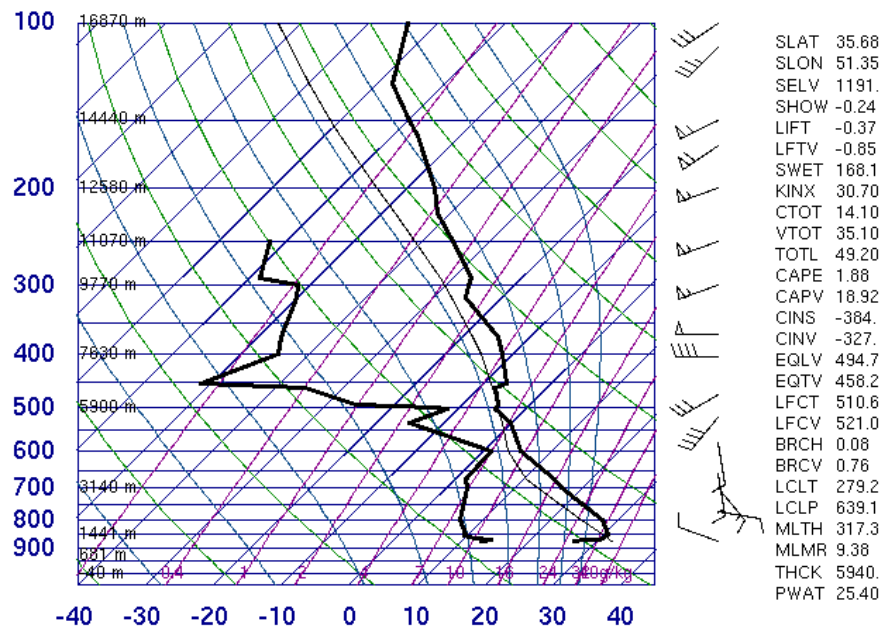
از بررسی چینش قائم باد سطوح پایین در روزهای مختلف ماه ژولای دیده می‌شود که در این ماه از ۵۴ مورد دیدبانی در ۱۹ مورد چینش قائم باد سطوح پایین با شدت‌های مختلف رخ داده است که در برخی روزها در ساعت‌های ۰۰۰۰ و ۱۲۰۰ گرینویچ آشکار شده است. از این تعداد ۱۴ مورد در لایه کم عمق ۱۰-۷۱ متر برآورد شده است. دسته بندی چینش قائم باد سطوح پایین در این ماه یک مورد



شکل ۹- چینش قائم باد سطوح پایینتر حسب ۲-۱۰ بر ثانیه در روزهای مختلف ماه ژوئای ۲۰۱۰ در ایستگاه مهرآباد تهران.



شکل ۱۰- نمودار ترمودینامیکی اسکیتی در ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ روز دوم ژوئای ۲۰۱۰ در ایستگاه مهرآباد تهران.



شکل ۱۱- نمودار ترمودینامیکی اسکیتی در ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ روز نوزدهم ژولای ۲۰۱۰ در ایستگاه مهرآباد تهران.

بررسی داده‌های کاوش جو مربوط به ژانویه ۲۰۱۰ در ایستگاه مهرآباد تهران نشان داد که در ماه ژانویه چینش قائم باد غیر همرفتی در اثر عبور جبهه‌های جوی و وارونگی دما رخ داده است. چینش قائم باد سطوح پایین در این ماه در ایستگاه مهرآباد، در لایه‌های مختلفی رخ داده است و فراوانی چینش قائم باد سطوح پایین ضعیف در این ماه بیشتر می‌باشد. بیشترین مقدار این کمیت در این ماه به ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ مربوط می‌شود که در روزهای چهارم و بیست و سوم ژانویه رخ داده است. از بررسی چینش قائم باد سطوح پایین در روزهای مختلف ماه ژولای دیده می‌شود که چینش قائم باد در این ماه در اثر وارونگی دما ایجاد می‌شود. در این ماه فراوانی رخداد چینش قائم باد در لایه ۱۰-۷۱ متری بیشتر است و این کمیت با شدت‌های مختلفی رخ داده است. بررسی چینش قائم باد در ماه ژولای این سال نشان می‌دهد که در ۳۵ درصد موارد، چینش قائم باد سطوح پایین رخ داده است که ۲۲ درصد آن از نوع ضعیف، ۱۱ درصد از نوع متوسط و ۲ درصد از نوع شدید بوده است. از آنجائی که در فصل گرم در ایران کم فشار

این بررسی نشان می‌دهد که چون در ماه‌های گرم سال سامانه‌های همدیدی همراه با جبهه‌های جوی مختلف از روی تهران عبور نمی‌کنند، از این رو جبهه‌های جوی نمی‌توانند عامل ایجاد چینش قائم باد سطوح پایین باشند و این پدیده غیر همرفتی بیشتر در اثر وارونگی دما پدید می‌آید. چون در این ماه طول عمر وارونگی شبانه دما در نزدیکی سطح زمین بسیار کوتاه می‌باشد، بنابراین در ماه ژولای رخداد چینش قائم باد در لایه‌های نزدیک زمین از فراوانی بیشتری برخوردار می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در بیشتر موارد رخداد چینش قائم باد در ماه ژولای، جهت باد از شمال‌شرقی به جنوب‌شرقی تغییر یافته است.

### نتیجه گیری

بر اساس بررسی‌های بعمل آمده در بندهای پیش، نتایج موردی این پژوهش که برای اولین بار در ایران از داده‌های ۲ ثانیه‌ای ایستگاه کاوش جو استفاده شده است، به شرح زیر بیان می‌شود:

- convection in tropical cyclones. *Mon. Wea. Rev.*, 134, 2111-2123.
8. Cole, R. E., S. S. Allan, and D. W. Miller, 2000, Vertical Wind Shear Near Airports as an Aviation Hazard, 9th Conference on Aviation Range and Aerospace, Sept 11-15, Orlando, FL, Amer. Meteor. Soc.
  9. Frank, W.M., and E.A. Ritchie, 2001, Effects of vertical wind shear on intensity and structure of numerically simulated Hurricanes. *Mon. Wea. Rev.*, 129, 2249-2269.
  10. Kosano, K., Suzuki, Y. and H. Takei. 1969, Vertical wind shear in the lower layers at Tokyo. WMO-NO. 230, 169-183.
  11. National Weather Service, 2008, National Weather Service Instruction 10-813. Available at <http://www.weather.gov/directives/sym/pd01008013curr.pdf>.
  12. Operations and Services, Aviation Weather Services, NWSPD, 10-8, 2004, NWS Instruction 10-813, Terminal Aerodrome Forecasts, Feb. 1, 2004
  13. Pettitt, R.B. and R.G. Root, 1969, Vertical wind shear in the boundary. WMO-NO. 230, 1-30.
  14. Pasquill, F., 1974, Atmospheric Diffusion, 2nd Edition. Ellis Horwood Limited, Chichester. ISBN 0 85312 015 3.
  15. Rappin, E. D., and D. S. Nolan, 2012, The effect of vertical shear orientation on tropical 349 cyclogenesis. *Q. J. Roy. Meteorol. Soc.*, DOI: 10.1002/qj.977.
  17. Reberts, C. F., 1969, A preliminary analysis of some observations of wind shear in the lower 100 feet of the atmosphere. WMO-NO. 230, 203-218.
  18. Sinclair, P. and Kuhn, P., 1991, Aircraft Low Altitude Wind Shear Detection and Warning System. *J. Appl. Meteor.*, 30, 3-16.
  19. university Corporation for Atmospheric Research, 2008, Writing TAFs for Winds and Low-Level Wind Shear. Available at <http://www.meted.ucar.edu/dlac2/mod3/index.htm>.
- گرمائی ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ تقریباً محو و در عصر تا ساعت ۱۸۰۰ گرینویچ به اوج خود می‌رسد، از این رو جریانهای شرقی در مناطق کویری شرق تهران، در بعد از ظهر شدیدتر می‌شود و نفوذ آن به مناطق غربی بیشتر می‌شود و سبب می‌شود تا هوای گرم از مناطق کویری به سمت فرودگاه مهرآباد انتقال یابد. این مکانیسم سبب افزایش همرفت سطحی در ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ در فرودگاه مهرآباد می‌گردد. از این رو در ماه ژولای در ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ چینش قائم باد نسبت به ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ از شدت بیشتری برخوردار می‌باشد. به طوریکه بیشترین مقدار این کمیت در ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ در روز چهاردهم ژولای برآورد شده است.
- ### منابع
1. Razmzan, M.H. 1990, A study on Vertical wind shear in Tehran and its estimation from surface data. For thesis of M.Sc degree. Geophysics Institute of Tehran University.
  2. Nasirzadeh, M. 1989, Vertical wind shear over Tehran. For Final thesis of M.Sc degree. Geophysics institute of Tehran University.
  3. Arkell, R. 2000, Differentiating Between Types of Wind Shear in Aviation Forecasting. *Natl. Wea. Dig.*, 24:3, 39-51.
  4. Bander, Julius 1989, Low-Level Wind Shear: a Critical Review, NOAA Tech. Memo. NWS FCST-23, Apr 1979, reprinted Feb 1989.
  5. Bin, Z., Yihoung, D., Hui, Y. and Du Bingyu, 2005, A Statistical analysis on the effect of vertical wind shear on tropical cyclone development. *Acta Meteorologica Sinica*. Vol 20, NO 3, 383-388.
  6. Brandon A. Storm, August 2008, Texas Tech University, Modeling of Low-Level Jets over the Great Plains: Implications for Wind Energy.
  7. Corbosiero, K.L., and J. Molonari, 2002, The effect of vertical wind shear on distribution of