

مطالعه ای بر بادهای گپ منطقه دشت لوت

عباسعلی علی اکبری بیدختی^۱، نرگس برومند^۲

۱- دانشیار موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران؛ ۲- کارشناسی ارشد هواشناسی، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

تاریخ وصول: ۸۳/۶/۱۱

چکیده

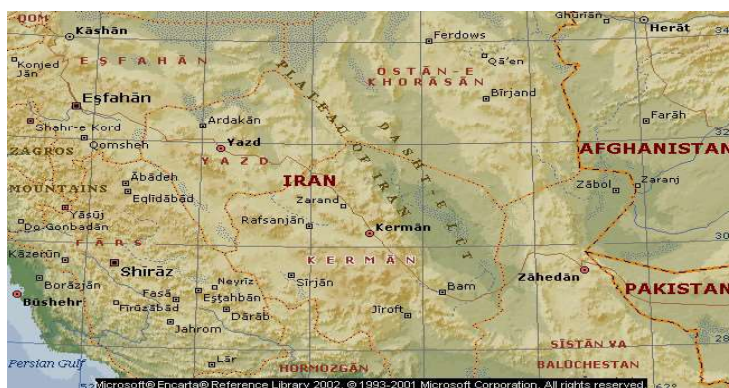
جریانهای محلی سطحی در نقاط مختلف تحت تاثیر ناهمواریها و توپوگرافی محل به اشکال مختلف دیده می‌شوند و در اثر مکانیسم‌های متفاوت شکل می‌گیرند. از آنجاییکه جریانهای سطحی بر کل فعالیتهای کشاورزی، اقتصادی، ایمنی حمل و نقل (جاده‌ای و هوایی)، انتقال شن و خاک و فرسایش خاک‌های سطحی تاثیرگذار می‌باشند، شناخت کافی از این جریانها و پیش‌بینی زمان رخداد بادهای شدید بسیار حائز اهمیت است. دره لوت در قسمت جنوب شرقی ایران با امتداد شمال غربی-جنوب شرقی واقع شده است و با توجه به موقعیت محلی آن و ارتباطی که از طریق دریاچه خشک جازموریان با نواحی ساحلی دریای عمان دارد، شناخت مکانیسم‌هایی که در پدید آمدن جریانهای سطحی در منطقه موثر هستند جالب توجه می‌باشد. در این مطالعه سعی شده است با توجه به داده‌های موجود، جریان‌های سطحی این منطقه از نظر دینامیکی مورد بررسی و تحلیل قرار بگیرند. به همین منظور مطالعه انجام شده شامل ۳ قسمت آماری، همدیدی و عددی بوده است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که با توجه به توپوگرافی محل و قرار گرفتن دره لوت در بین رشته کوههای موازی و مرتفع پیدایش بادهای شمالی در منطقه از الگوی بادهای گپ تبعیت می‌کند. از نظر آماری نیز همبستگی خوبی بین وقوع بادهای قوی شمالی و گرادیان فشار نصف‌النهار دیده می‌شود. فرارفت هوای سرد از عرض‌های شمالی و گرادیان فشار نصف‌النهار عواملی هستند که در پیدایش این جریانها نقش شایان توجهی دارند. همچنین نتایج حاصل از اجرای مدل MMS برای یک مورد خاص در فوریه سال ۲۰۰۴ که از نظر همدیدی موافق با شرایط ذکر شده است نیز شکل گیری این جریانها را تأیید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: باد گپ، گرادیان فشار همدیدی، فرسایش سطح، فرارفت سرد، دره لوت

مقدمه

است (شکل ۱). طول دره در حدود ۶۰۰ کیلومتر و پهنای آن تقریباً ۱۵۰ کیلومتر می باشد. در شمال منطقه دشت کویر در ارتفاعی بالاتر و در جنوب آن دریاچه خشک جازموریان قرار دارند. وجود کوههای مرتفع در دو طرف این منطقه و اثر فون این کوهها، همچنین قرار گرفتن کل کشور در منطقه‌ای از جهان که شدیداً تحت تاثیر مرکز جنب حاره ای است باعث حاکم شدن هوای گرم و خشک در منطقه مرکزی ایران است. وجود کوههای مرتفع در دو طرف دشت لوت باعث شده است این منطقه مانند کانال شیب داری در انتقال هوا عمل کند، بدین ترتیب که جریان هوایی که در ترازهای پایین به سمت شرق حرکت می کند در حصار بین کوهها مسدود می شود و با وجود شرایط همدیدی خاص در منطقه مانند یک نیروی گردایان فشار قوی رو به جنوب می تواند تغییر جهت دهد و در دامنه کوهستان به سمت جنوب جاری شود. در واقع بسیاری از بادهای شمالی و قوی به وجود آمده در دره لوت از الگوی یک باد گپ تبعیت می کنند (اورلند و والتر، ۱۹۸۱). باد گپ، بادی است که در ترازهای پایین، در نواحی پستی که با حصارهای مرتفع مسدود شده اند جریان دارد. بادهای گپ عموماً کم عمق هستند ولی از نظر پهنای وسیعی از چند متر تا چند صد کیلومتر را پوشش می دهند.

باد یکی از چند پارامتر اساسی و تعیین کننده هواشناسی است و از نظر کشاورزی، حمل شنهای روان، شهرسازی، محیط زیست و نظایر آن، مطالعه و شناخت جریانات جوی تراز پایین از اهمیت خاصی برخوردار است. در نواحی ناهموار و پیچیده، شارشهای محلی و جریانهای سطحی تحت تاثیر عوامل زیادی قرار دارند که از آن جمله می توان به شیب کوهستانها، دوری و نزدیکی به دریاها، گردشهای گرمایی، تاثیر سیستمهای همدیدی منطقه ای و جزیره گرمایی شهری اشاره کرد (اتکینسون، ۱۹۸۱). در خیلی از نقاط جهان ترکیب واداشتهای همدیدی بزرگ مقیاس و اثرات ناشی از توپوگرافی منطقه باعث پدید آمدن بادهای محلی منحصر به فرد می شود بطوریکه این موضوع همواره مورد توجه هواشناسان بوده است. در مناطق کویری، بادهای تراز پایین و جریانهای سطحی بدلیل نقش مهمی که در حرکت شنهای روان و به دنبال آن کاهش دید دارند، در ایمنی حمل و نقل جاده‌ای و هوایی و مسائل اقتصادی همچون استفاده بهینه از انرژی باد تاثیر گذار بوده و حائز اهمیت هستند. دشت لوت بصورت دره شیب داری در امتداد شمال، شمال غربی - جنوب، جنوب شرقی در دامنه شرقی رشته کوههای مرکزی و دامنه غربی ارتفاعات شرقی ایران واقع شده



شکل ۱: منطقه دشت لوت و توپوگرافی اطراف آن

منطقه به وجود آمد و سبب شکست عملیات آزادسازی گروگانهای آمریکایی شد نمونه ای آشکار از اهمیت این توفانها را نشان می دهد (توماس^{۱۲}، ۱۹۸۷). با توجه به تاثیر زیادی که این بادهای در منطقه دارند لزوم بررسی و مطالعه آنها آشکار است. در همین راستا مطالعه آماری باد برای چند شهر حاشیه کویر توسط بنی هاشم و صفدری (۱۳۶۲) انجام شده است. تحلیل گرادیان فشار متوسط دریا برای وقوع بادهای شدید تابستانه در شرق کشور هم توسط بابائیان و همکاران (۱۳۸۲) انجام شده است. لیو^{۱۳} و همکاران (۲۰۰۰) نیز یک مطالعه عددی برای یک حالت خاص از جریانهای دره لوت انجام داده اند و شرایط دینامیکی و همدیدی حاکم بر منطقه را در زمان وقوع جتهای تراز پایین مورد بررسی قرار داده اند. در این مطالعه سعی شده است به بررسی تغییرات زمانی و مکانی بادهای سطحی و بررسی تاثیر سامانه های جوی و وضعیت همدیدی منطقه بر این تغییرات و پیدا کردن حالاتی که منجر به پیدایش بادهای شمالی قوی در منطقه می شود، پرداخته شود. این نتایج می تواند سبب بهبود پیش بینی زمانهای توفانهای شن و خاک و بادهای شدید در منطقه شود.

داده ها و روش مطالعه

برای انجام این مطالعه، ابتدا با توجه به نقشه منطقه ایستگاههای سینوپتیکی مناسب انتخاب شده اند. بدلیل وجود نداشتن ایستگاه در قسمت مرکزی دره لوت به ناچار از داده های ایستگاههای حاشیه ای منطقه استفاده شده است. در انتخاب ایستگاهها غیر از موقعیت مکانی ایستگاه، وجود داشتن زمانهای اندازه گیری مشترک (شامل سال و ساعتهای اندازه گیری) هم در نظر گرفته شده است.

گرادیانهای فشاری که در امتداد گپ وجود دارند اغلب عامل بسیار مهمی در پیدایش این جریانها هستند. این گرادیانها ناشی از دو عامل اصلی هستند، گرادیانهای فشار وابسته به مقیاسهای همدیدی یا منطقه ای و گرادیان فشار در خود گپ بدلیل تغییرات سریع در عمق هوای سرد لایه های پایین. از جمله نمونه های جالب جریانهای گپ که در سایر نقاط جهان مورد بررسی قرار گرفته اند می توان به بادهای تنگه شلیکوف^۱ و کوک اینلت^۲ در آلاسکا^۳ (لکمن و اورلند^۴، ۱۹۸۹ و مک لین^۵ و دیگران، ۱۹۹۰)، همچنین بادهای تنگه جان دفوکا^۶ بین ایالت واشنگتن^۷ و بریتیش کلمبیا^۸ (اورلند و والتر، ۱۹۸۱ و مس^۹ و دیگران، ۱۹۹۵) و هوسوند^{۱۰} در بریتیش کلمبیا (جکسون و استین^{۱۱}، ۱۹۹۴) همچنین در ایران، می توان به گپ سفیدرود (مجبوریان، ۱۳۸۱) اشاره کرد. بطور کلی این مطالعات نشان می دهد وجود گرادیان فشار همدیدی قوی عامل موثری در شدت گرفتن بادهای گپ می باشد.

بادهای سطحی قوی که در دشت لوت و دریاچه خشک جازموریان پدید می آیند نقش مهمی در منطقه اطراف خود دارند، بطوریکه توفانهای شنی که همراه این بادهای در منطقه به وجود می آید می تواند تا سواحل خلیج فارس و دریای عمان نفوذ کند و سبب کاهش دید و بروز مشکلاتی در امر کشتیرانی شود. توفان شنی که در سال ۱۹۸۰ همراه با بادهای قوی و تلاطم شدید تحت شرایط همدیدی مشابه با آنچه ذکر شد در

- 1- Shelikof
- 2- Cook Inlet
- 3- Alaska
- 4- Lackman and Overland
- 5- Macklin
- 6- Juan de Fuca
- 7- Washington State
- 8- British Columbia
- 9- Mass
- 10- Howe Sound
- 11- Jackson and Steyn

12- Thomas

13- Liu

مطالعات انجام شده شامل سه قسمت است.

قسمت اول بیشتر بر پایه مطالعات آماری بوده است. بدین منظور بررسی بر روی تندی و جهت باد در ۴ ایستگاه سینوپتیک کشور (طبس، بزم، خورویبابانک، کاشمر) در فاصله سالهای ۲۰۰۰-۱۹۹۷ انجام شده است و با استفاده از نرم افزار WRPLOT View وب سایت Lakes Environmental و داده‌های سازمان هواشناسی کشور، نمودارهای گلباد^{۱۴} برای این ایستگاهها رسم شده است. در مرحله بعد، میزان همبستگی بین گرادیان فشار نصف‌النهاری و بادهای شمالی در چند ایستگاه بررسی شده است. با توجه به این که بهترین نتایج برای ایستگاه بزم بدست آمده است در قسمتهای بعدی از داده های بزم به عنوان ایستگاه مبنا استفاده شده است. دوره زمانی مورد مطالعه سالهای ۲۰۰۰-۱۹۹۶ بوده است. برای محاسبه گرادیان فشار در منطقه نیز دو ایستگاه سبزوار در شمال و چابهار در جنوب انتخاب شده‌اند.

در قسمت دوم چند مورد خاص از زمانهایی که جریانهای شدید شمالی گزارش شده بودند انتخاب شده است و شرایط همدیدی که منجر به پیدایش بادهای شمالی می شوند مورد بررسی قرار گرفته است. نقشه‌های همدیدی سطح زمین و سطوح فوقانی که در این قسمت از آنها استفاده شده است از مرکز فرایابی اقلیم CDC^{۱۵} وب سایت NOAA-CIRES گرفته شده است. تفکیک فضایی شبکه بکار رفته ۲/۵ درجه در راستاهای نصف‌النهاری و مداری بوده است. منطقه مورد مطالعه در این نقشه‌ها بین عرضهای ۶۰-۱۰ درجه شمالی و ۸۰-۳۰ درجه شرقی انتخاب شده است.

در قسمت آخر مدل میان مقیاس MM5 با استفاده از امکانات سازمان هواشناسی برای یک مورد انتخابی در زمستان سال ۲۰۰۴ اجرا و نتایج آن تحلیل شده است.

بحث و نتایج

نتایج آماری

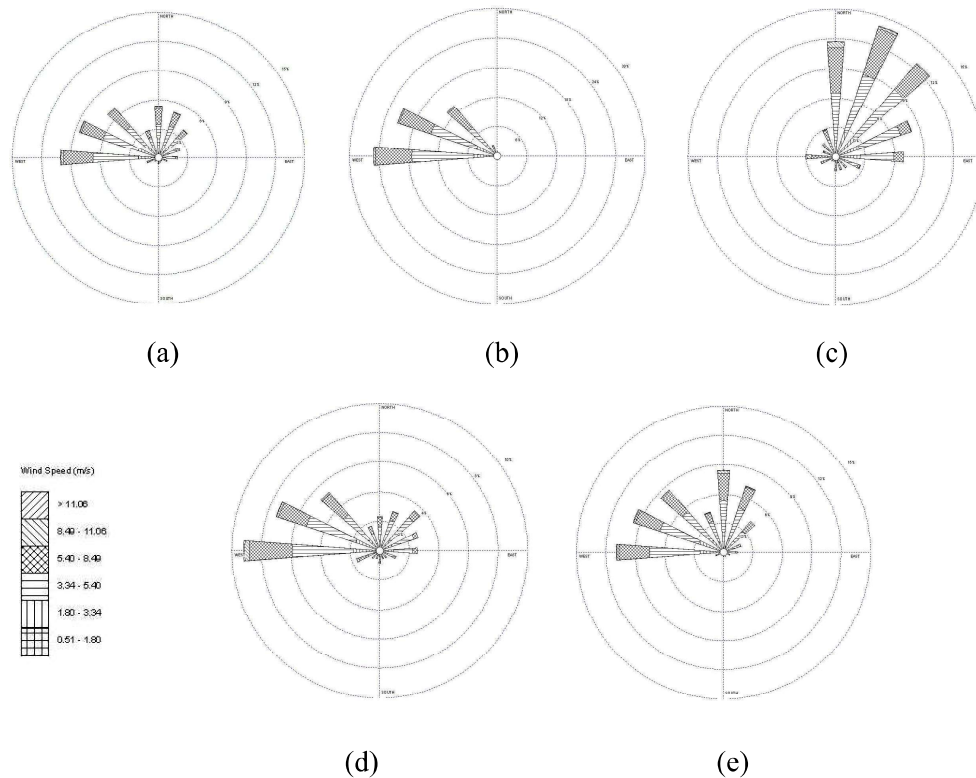
بررسی گلبادها

نتایج حاصل از بررسیهای نمودارهای گلباد بزم نشان می‌دهد که در ایستگاه بزم، باد غالب در طول دوره سال باد غربی و شمال غربی است (شکل a۲). میانگین تندی باد در این دوره $4/87 \text{ ms}^{-1}$ بوده است. بسامد رخداد بادهای شمالی و شمال شرقی کمتر از بادهای غربی و شمال غربی است ولی از نظر تندی مشابه هستند. بادهای شرقی و جنوبی خیلی ضعیف هستند و به ندرت دیده می شوند. برای بررسی تغییرات باد در طی ساعات شبانه روز، داده‌های ساعات UTC ۱۴-۱۱ بعنوان شاخص روز و داده های ساعات UTC ۰۳-۰۰ به عنوان شاخص شب انتخاب شده‌اند و نمودارهای گلباد آنها رسم شده است. کاملاً مشخص است که در نیمه شب، بادهای غربی و شمال غربی هستند و بادهای شمالی دیده نمی شوند، در صورتیکه در بین روز بادهای بیشتر شمالی و شمال شرقی هستند و بسامد رخداد بادهای غربی و شمال غربی کم شده است (شکل b, c۲). تغییر جهت باد در طی شبانه روز دلالت بر وجود شارشهای شیب کوه (بادهای کوه‌دشت و دشتکوه) دارد. همچنین انتخاب داده‌ها به تفکیک ماههای سال نشان می‌دهد که در ماههای سرد سال ژانویه، فوریه، مارس، اکتبر، نوامبر، دسامبر باد غالب همان باد غربی و شمال غربی است و تندی این بادهای کمی افزایش پیدا می کند. در ماههای گرم سال آوریل، می، ژوئن، ژوئیه، آگوست، سپتامبر بسامد رخداد بادهای غربی و شمال غربی بیشتر است، ولی بادهای شمالی نسبت به زمستان بیشتر شده‌اند (شکل d, e۲). مشابه این نمودارها برای ایستگاههای طبس، کاشمر و خورویبابانک نیز رسم شده است. بزم نسبت به سایر ایستگاهها کمترین بسامد رخداد هوای آرام را دارد، اما در کلیه

14- WindRose

15- Climate Diagnostics Center

ایستگاهها این بسامد رخداد در شب و در ماههای سرد سال افزایش چشمگیری پیدا می کند.



شکل ۲: نمودارهای گلباد باد (m/s) در شهر بم برای سالهای ۱۹۹۷-۲۰۰۰، (a) تمام ساعات روز و کل دوره سال، (b) شب ساعت ۰۳۰۰-۰۰۰۰ UTC برای کل دوره سال، (c) روز ساعت ۱۴۰۰-۱۱۰۰ UTC برای کل دوره سال، (d) برای ماههای سرد سال (e) برای ماههای گرم سال

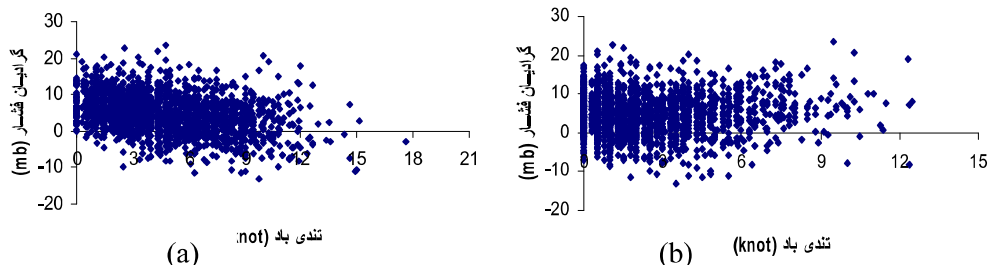
مورد استفاده قرار گرفته است. بدون تفکیک جهت باد رابطه ای معنا دار و مثبت بین این دو کمیت به دست نمی آید (شکل ۳) اما با در نظر گرفتن تنها بادهای شمالی (بادهایی با زاویه ۲۰-۰۰ و ۳۶۰-۳۴۰) و حذف بادهای در سایر جهات می توان به همبستگی معناداری بین تندی باد شمالی و گرادیان فشار شمال-جنوب رسید. مطالعه انجام شده نشان می دهد که در منطقه مورد نظر ایستگاه بم نسبت به سایر نقاط همبستگی قابل قبولی را ارائه می کند.

بررسی همبستگی جریانهای شمالی و گرادیان فشار نصف النهاری

در این قسمت به منظور بررسی تاثیر گرادیان فشار شمال-جنوب بر بادهای سطحی منطقه، ابتدا همبستگی بین باد میانگین روزانه و گرادیان فشار شمال-جنوب برای ایستگاه های بم و طبس محاسبه شده است. دوره زمانی مورد مطالعه سالهای ۱۹۹۶-۲۰۰۰ است و اختلاف فشار سطح دریا، بین ایستگاههای سبزوار در شمال و چابهار در جنوب برای محاسبه گرادیان فشار

نتایج نشان می‌دهد که اگر ضریب همبستگی برای بادهایی با تندی بیشتر از تندی باد میانگین محاسبه شود این ضریب افزایش پیدا می‌کند. بطوریکه ضریب همبستگی برای ۲۰٪ بالاترین تندی باد و گرادیان فشار در فصل گرم سال ۱۹۹۶، ۰/۶۱ در سطح معنی داری ۰/۰۱ بوده است. برای دوره ۵ ساله ۲۰۰۰-۱۹۹۶ میزان همبستگی بین باد در جهات مختلف و گرادیان فشار شمال-جنوب در ایستگاه طبس محاسبه شده است و مقدار آن ۰/۰۳ در سطح معنی داری ۰/۰۵ است. اما هیچ همبستگی معنا داری بین بادهای شمالی و گرادیان فشار نصف النهاری گزارش شده در کل سال و در فصول مختلف دیده نمی‌شود.

این ضرایب برای هر چهار سال محاسبه شده است و نتایج مشابهی را نشان می‌دهد. خلاصه‌ای از این نتایج برای سال ۱۹۹۶ در جدول ۱ آورده شده است. در سال ۱۹۹۶، ۹۱ مورد رخداد بادهای شمالی در بزم گزارش شده است و ضریب همبستگی بدست آمده ۰/۲۱ در سطح معنی داری ۰/۰۵ است. با توجه به اینکه در فصول مختلف سامانه‌هایی که منطقه را پوشش می‌دهند یکسان نیستند، مانند قسمت قبل طول دوره سال به ۲ زمان ماههای سرد و گرم تقسیم بندی شده است. در ۷۰ مورد بادهای در فصل گرم و ۱۷ مورد در فصل سرد وجود داشته اند و ضرایب همبستگی مربوط به ترتیب ۰/۳۸ و ۰/۶۱ در سطح معنی داری ۰/۰۱ بوده است.



شکل ۳: نمودار گرادیان فشار نصف النهاری (mb) و تندی باد میانگین روزانه (knot) در ایستگاههای (a) بم و (b) طبس

جدول ۱: مقادیر همبستگی بین گرادیان فشار (سبزوار-چابهار) و باد شمالی در بم

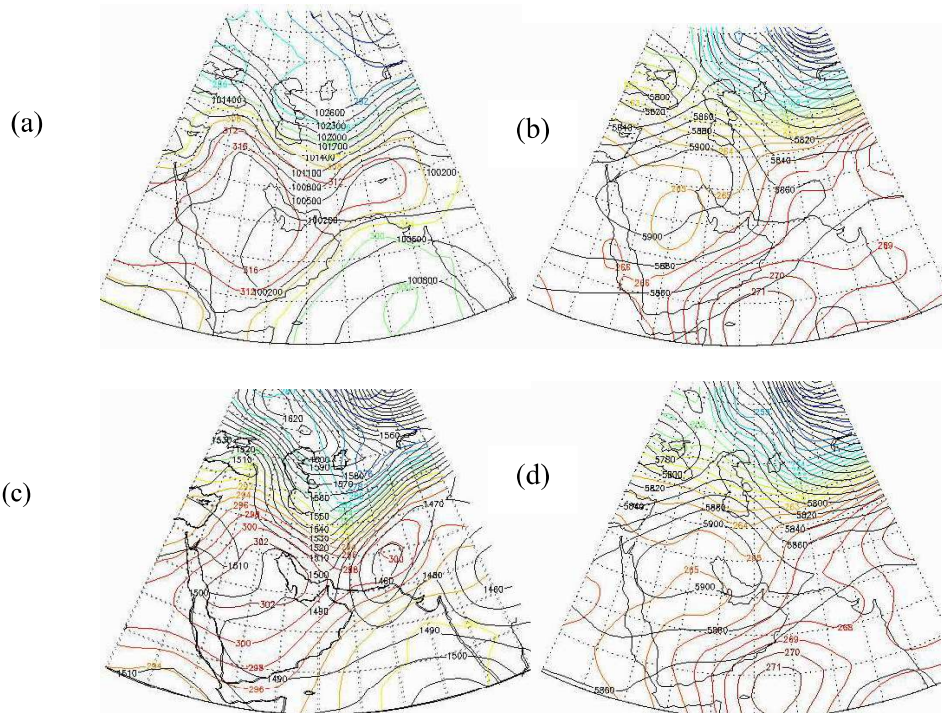
توضیحات	سطح معنی داری	میزان همبستگی	تعداد رخداد مورد نظر	دوره زمانی مورد مطالعه (ایستگاه بم)
باد در همه جهات	۰/۰۱	-۰/۳۴	۱۸۲۵	سالهای ۱۹۹۶-۲۰۰۰
باد شمالی	۰/۰۵	۰/۲۱	۹۱	سال ۱۹۹۶
باد شمالی	۰/۰۱	۰/۳۸	۷۰	فصل گرم سال ۱۹۹۶
۲۰٪ بالاترین تندی باد	۰/۰۱	۰/۶۱	۷۰	فصل گرم سال ۱۹۹۶

باد شمالی	۰/۰۵	۰/۴۶	۲۱	فصل سرد سال ۱۹۹۶
-----------	------	------	----	------------------

مشاهدات همدیدی موردی

با توجه به آمار تندی و جهت باد در ایستگاه بسم و داده‌های مربوط به گرادیان نصف‌النهاری فشار در فاصله زمانی سالهای ۱۹۹۶-۲۰۰۰، چند مورد از زمانهایی که بادهای شمالی گزارش شده بوده‌اند انتخاب شده است، سپس نقشه‌های هم فشارهای سطح تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیلی آنها تهیه شده است و مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است که در اینجا یک مورد از این زمانها بررسی می شود. در شکل ۴ نقشه‌های هم فشارهای سطح زمین، پربندهای دما و ارتفاع ژئوپتانسیلی ترازهای ۸۵۰ mb و ۵۰۰ mb مربوط به ساعت ۱۲ UTC، روز ۳۰ آگوست سال ۱۹۹۶ آورده شده است. در این زمان تندی باد گزارش شده در ایستگاه بسم ۱۹ نات و جهت آن ۳۶۰ درجه

(شمالی) بوده است. همچنین اختلاف فشار تراز دریا شمال- جنوب بر مبنای مقادیر ایستگاهی گزارش شده ۱۲/۳ mb است. در نقشه سطح ۵۰۰ mb در ساعت ۰۶ UTC عبور یک ناوه با جهت محوری جنوب غربی از قسمتهای شمال شرقی ایران و نزدیک شدن یک مرکز ارتفاع زیاد به قسمتهای مرکزی دیده می‌شود (شکل ۴-d). همچنین مرکز هوای سردی که پشت ناوه در عرضهای شمالی وجود دارد توسط این پریشیدگیها می‌تواند به قسمتهای مرکزی ایران منتقل شود. در ساعت ۱۲ UTC نیز وضعیت سامانه‌های همدیدی به همین ترتیب است با این تفاوت که ناوه عرضهای بالایی بر روی قسمتهای شمال شرقی ایران تقویت شده است و به تدریج از منطقه خارج می‌شود.



شکل ۴: (a) نقشه پربندهای هم فشار (پاسکال) و هم دماهای سطح زمین (کلوین) برای ساعت ۱۲:۰۰ UTC روز ۳۰ آگوست سال ۱۹۹۶، (b) پربندهای هم ارتفاع (ژئوپتانسیل متر) و هم دماها (کلوین) در تراز ۵۰۰ mb برای ساعت ۱۲:۰۰ UTC روز ۳۰ آگوست سال

۱۹۹۶، (c) پربندهای هم‌ارتفاع (ژئوپتانسیل متر) و هم‌دماها (کلوین) در تراز ۸۵۰ mb برای ساعت UTC ۱۲۰۰ روز ۳۰ آگوست سال ۱۹۹۶، (d) پربندهای هم‌ارتفاع (ژئوپتانسیل متر) و هم‌دماها (کلوین) در تراز ۵۰۰ mb برای ساعت UTC ۰۶۰۰ روز ۳۰ آگوست

سال ۱۹۹۶

است، این مدل اجرا شده است و نتایج آن در ذیل آورده شده است.

امروزه تفکیک مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا تا اندازه‌ای است که می‌تواند ساختار و تحول سامانه‌های میان‌مقیاس با واداشت توپوگرافی یا گرمایی را شبیه‌سازی کند و در نتیجه دید و درک بهتری از ساختار سامانه‌های سیستم‌های میان‌مقیاس در مقیاس‌های بسیار کوچکتر از آنچه در مقیاس شبکه ایستگاه‌های دیدبانی قابل درک است فراهم شود. توانایی استفاده از چند شبکه لانه‌ای تودرتو و خوراندن چهاربعدهی داده‌ها از ویژگی‌های مهم مدل MM5 می‌باشند.

در مطالعه حاضر، داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل از وب سایت NOAA تهیه شده‌اند. این داده‌ها دارای تفکیک یک درجه در راستای طول و عرض جغرافیایی هستند و شامل داده‌های واقعی و پیش‌بینی می‌باشند. گام شبکه‌ای مورد استفاده ۲۰ کیلومتر و مرکز شبکه در میانه دشت لوت به مختصات $31^{\circ} N$ و $59^{\circ} E$ انتخاب شده است. از خروجی پیش‌بینی‌های ۱۲ ساعته مدل برای روزهای ۱۸ و ۱۹ فوریه سال ۲۰۰۴ استفاده شده است.

بررسی شرایط همدیدی منطقه نشان می‌دهد که در روز ۱۸ فوریه در نقشه سطح زمین یک مرکز پرفشار ۱۰۲۱ mb در شرق دریای خزر و یک مرکز کم‌فشار ۱۰۰۶ mb که زبان‌های آن بر روی نواحی جنوبی ایران نیز کشیده شده است بر روی پاکستان مستقر بوده است.

وجود این مراکز فشاری باعث پدید آمدن گرادیان فشار شمال-جنوب در منطقه شده است، بطوریکه اختلاف فشار تراز دریا بر پایه مقادیر گزارش شده ایستگاه‌های سبزووار و چابهار در ساعت UTC ۱۲، روز ۱۸ فوریه ۷ mb است. با حرکت مرکز پرفشار

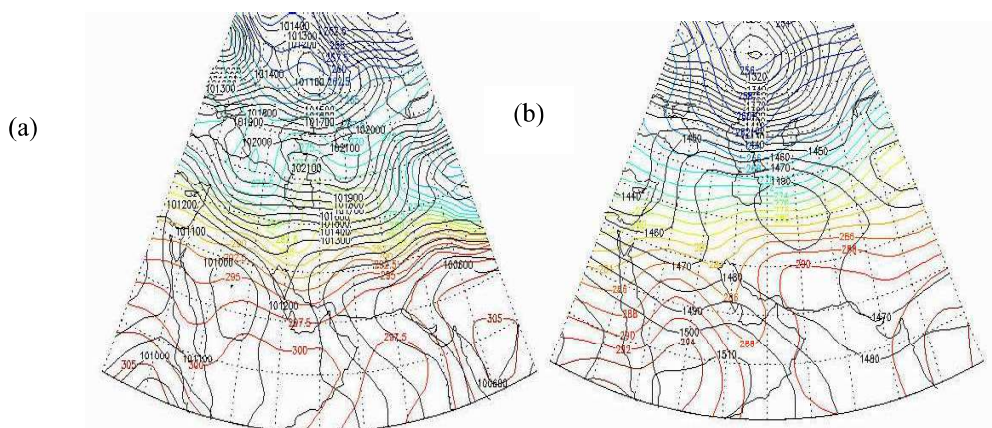
در تراز ۸۵۰ mb در روز ۲۹ آگوست یک مرکز ارتفاع زیاد در قسمتهای شمالی و شمال شرقی دریای خزر دیده می‌شود که به خوبی نفوذ زبان‌های هوای خنکتر عرضهای بالایی را نشان می‌دهد. در روز بعد به تدریج در شرق ایران ناوه عمیقی با امتداد جنوب غربی به سمت خلیج فارس شکل گرفته است. این ناوه با امتداد شمال غربی نسبت به مرکز کم‌فشار سطح زمین قرار گرفته است و موجب تقویت آن می‌شود. در تابستان بدلیل تابش شدید خورشید در ناحیه مرکزی و جنوب شرقی ایران و پوشش این ناحیه که بیشتر کویری است و دارای رسانیابی گرمایی ضعیف می‌باشد، دما افزایش پیدا می‌کند و در لایه‌های پایین چگالی هوا بشدت کم می‌شود و امکان تشکیل کم‌فشارهای گرمایی فراهم می‌شود. همچنین موقعیت کوه‌های مکران که به صورت موازی با خط دریا واقع شده است و آب‌های گرم خلیج فارس و دریای عمان به عنوان منبع انرژی نیز می‌توانند در به وجود آمدن ناوه سطح زمین موثر باشند. مجموع این شرایط باعث شده است که در نقشه سطح زمین شاهد به وجود آمدن گرادیان فشار سطح تراز دریا باشیم و همانطور که گفته شد شارش هوای غربی بلوکه شده بین کوهستان تحت تاثیر این گرادیان فشار می‌تواند تغییر جهت داده و به سمت جنوب شتاب بگیرد. وضعیت همدیدی در سایر زمانهای مورد مطالعه نیز از الگوی مشابهی پیروی می‌کند (برومند، ۱۳۸۳).

مطالعه عددی موردی

به منظور بررسی بیشتر جریانهای سطحی به ویژه در منطقه مرکزی دشت لوت از مدل عددی MMS (آزادی، ۱۳۸۰) استفاده شده است و برای یک مورد خاص در زمستان سال ۲۰۰۴ که گرادیان نصف‌النهاری فشار چشمگیر وجود داشته

۸۵۰ mb نفوذ هوای سرد عرضهای شمالی و مستقر شدن یک مرکز پرفشار در نواحی شرقی و مرکزی ایران دیده می‌شود. وجود این مرکز به فرارفت هوای سرد به قسمتهای مرکزی‌تر ایران کمک می‌کند (شکل ۵).

شرق دریای خزر به سمت شرق و عبور آن از ایران گرادیان فشار نصف‌النهاری کاهش می‌یابد. در روز ۱۹ فوریه اختلاف فشار تراز دریای گزارش شده توسط ایستگاهها حدود ۳ mb بوده است. شکل ۵ نقشه‌های سطح زمین و تراز ۸۵۰ mb مربوط به روز ۱۸ فوریه سال ۲۰۰۴ را نشان می‌دهد. در نقشه تراز



شکل ۵: (a) نقشه پربندهای هم‌فشار (پاسکال) و هم‌دماهای سطح زمین (کلوین) برای ساعت UTC ۱۲۰۰ روز ۱۸ فوریه سال ۲۰۰۴، (b) نقشه پربندهای ارتفاع (ژئوپتانسیل متر) و دما (کلوین) برای ساعت UTC ۱۲۰۰ روز ۱۸ فوریه سال ۲۰۰۴

شمالی بوده‌اند، از نفوذ این جریانها تا سواحل جنوبی جلوگیری کرده‌اند و بادهای شمالی در این منطقه ضعیف بوده و جریانهای جنوب غربی غالب هستند.

در ساعات UTC ۱۵۰۰ و ۱۸۰۰ روز ۱۸ با وجود ضعیف شدن جریانهای شمالی در دشت لوت، اما از آنجا که جریانهای جنوب غربی سواحل عمان نیز کاهش پیدا کرده‌اند، نفوذ جریانهای شمالی که با عبور از ارتفاعهای جدا کننده دره لوت و دریاچه جازموریان به قسمتهای جنوبی‌تر رسیده‌اند دیده می‌شود.

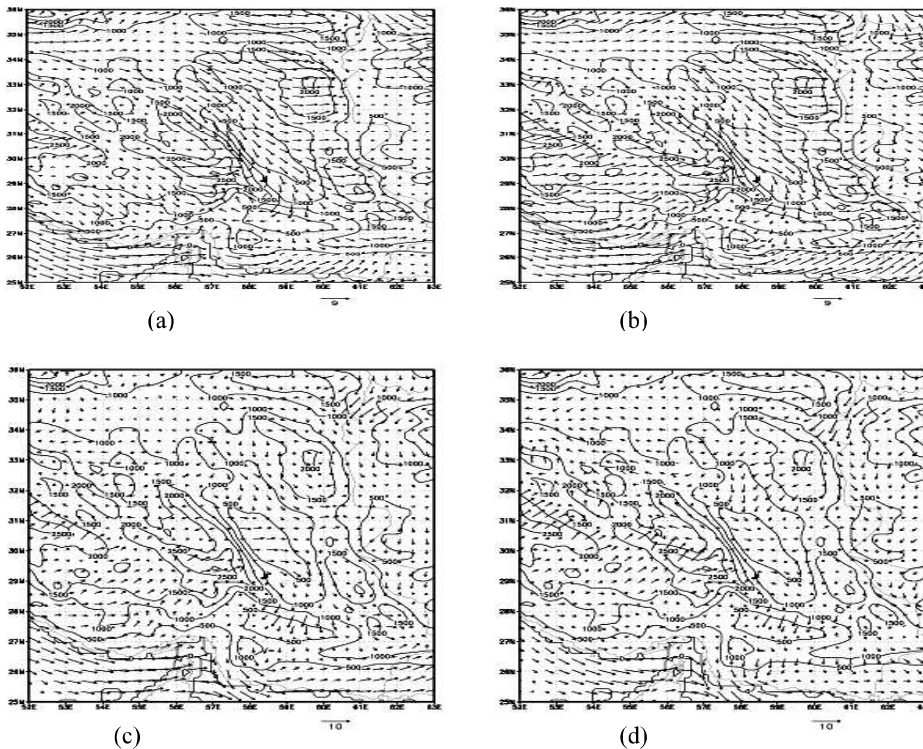
به تدریج با کاهش گرادیان فشار شمال- جنوب، الگوی بادهای گپ دیگر دیده نمی‌شود بطوریکه در روز بعد، ۱۹ فوریه

با استفاده از خروجی مدل MMS، پربندهای ارتفاع و بردارهای باد در ۱۰ متری سطح زمین رسم شده است.

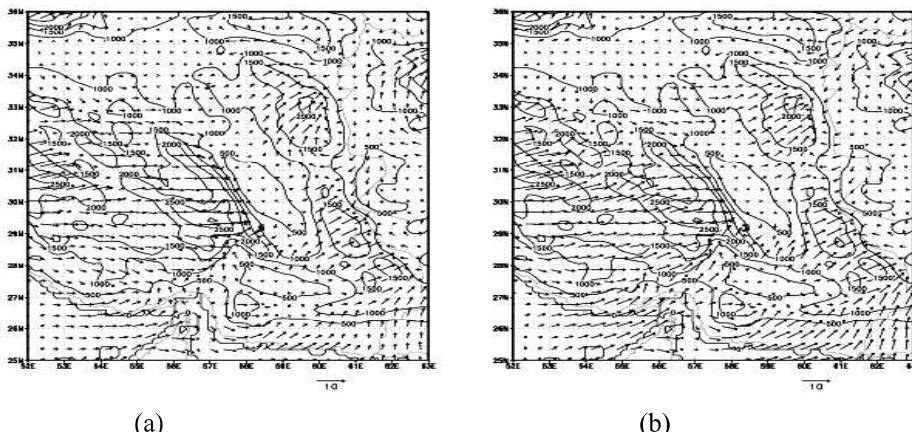
این نقشه‌ها محدوده $25-36^{\circ} N$ و $52-63^{\circ} E$ را پوشش می‌دهد و شامل قسمتهای مرکزی و شرقی ایران نیز می‌باشد. نقشه‌ها برای روزهای ۱۸ و ۱۹ فوریه سال ۲۰۰۴ برای ساعات UTC ۰۳-۲۴-۲۱-۱۸-۱۵-۱۲-۰۹-۰۶ رسم شده است. شکل ۶ مربوط به ساعات UTC ۱۸-۱۵-۱۲-۰۹ کانالیزه شدن جریان هوا در دشت لوت و شدت گرفتن بادهای گپ، به خصوص در ساعات UTC ۰۹ و ۱۲ به خوبی دیده می‌شود.

با توجه به این نکته که در این زمانها جریانهای جنوب غربی که از سمت ساحل دریای عمان وجود داشته‌اند قویتر از بادهای

جریانهای شمالی در دشت لوت بسیار ضعیف می‌باشند (شکل ۷).



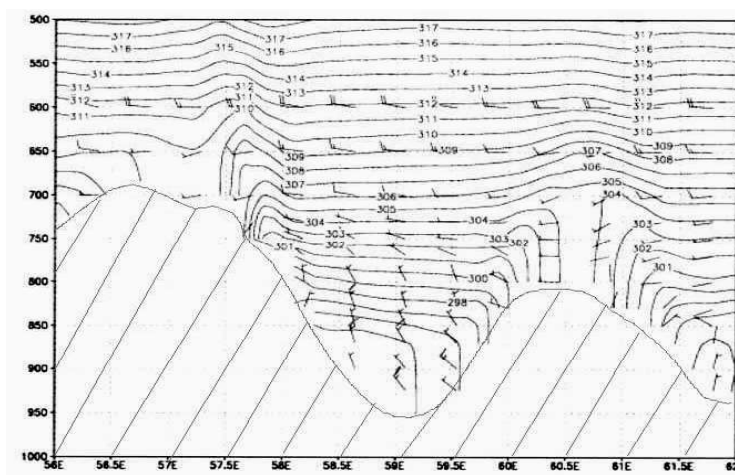
شکل ۶: بردارهای باد در ۱۰ متری سطح زمین بر اساس نتایج پیش بینی مدل MMS برای روز ۱۸ فوریه سال ۲۰۰۴
 (a) ساعت ۰۹:۰۰ UTC (b) ساعت ۱۲:۰۰ UTC (c) ساعت ۱۵:۰۰ UTC (d) ساعت ۱۸:۰۰ UTC. پریندهای مشکی ارتفاع را نشان می دهند. بردارها بر حسب m/s است



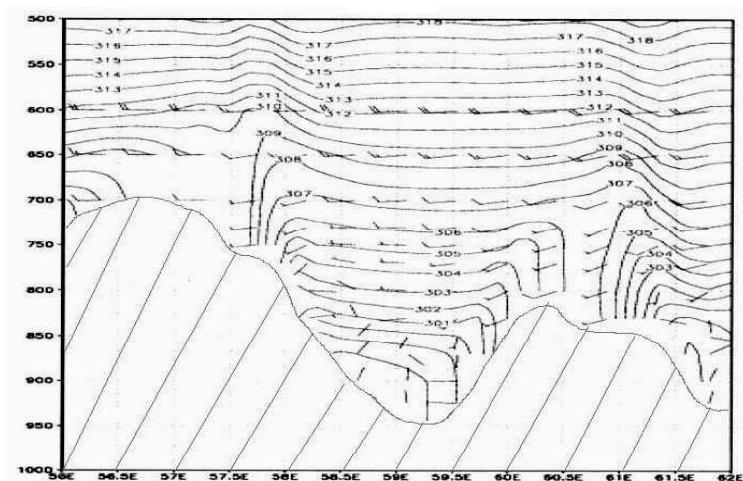
شکل ۷: بردارهای باد در ۱۰ متری سطح زمین بر اساس نتایج پیش بینی مدل MM5 برای روز ۱۹ فوریه سال ۲۰۰۴ (a) ساعت ۰۹:۰۰ UTC (b) ساعت ۱۲:۰۰ UTC

روز ۱۸ فوریه است. جریانهای شمالی که در میانه دره شدت گرفته‌اند، در این شکل دیده می‌شوند. همچنین مقایسه این شکل با همانند آن در روز ۱۹ فوریه، قویتر بودن جریانهای شمالی در روز ۱۸ را به خوبی نشان می‌دهد.

برای بررسی بیشتر ساختار قائم جریانهای شمالی، سطح مقطع قائم پیکانهای باد و دمای پتانسیل طی این دو روز، با دوره تناوب سه ساعت برای صفحه مداری گذرنده از میانه دره لوت یعنی عرض جغرافیایی $30^{\circ}N$ ، طول های جغرافیایی $^{\circ}E$ ۵۶-۶۲ رسم شده است. شکل ۸ مربوط به ساعت ۱۲:۰۰ UTC



(a)



(b)

شکل ۸: سطح مقطع پیکانهای باد و دمای پتانسیل در میانه دشت لوت عرض جغرافیایی $30.5^{\circ} N$ و طول های جغرافیایی E°

۵۶-۶۲ (a) ساعت UTC ۱۲۰۰ روز ۱۸ فوریه و (b) ساعت UTC ۱۲۰۰ روز ۱۹ فوریه سال ۲۰۰۴

در سمت راست معادله (۱) جمله اول گرادیان فشار کل در امتداد طول گپ را نشان می دهد که همانطور که لیو وهمکاران (۲۰۰۰) نشان داده اند این جمله به ۳ مولفه تجزیه پذیر است:

$$PG_{total} = PG_{large} - g(\Delta\theta/\theta)\sin\alpha - g(\Delta\theta/\theta)\cos\alpha(\partial h/\partial y)$$

جمله اول گرادیان فشار در مقیاس همدیدی است که بر اثر استقرار سامانه های پرفشار در شمال و مراکز کم فشار در جنوب شکل می گیرد. جمله دوم بدلیل جریان هوای چینه بندی شده و پایدار تحت شیب دره لوت به وجود می آید و جمله سوم بدلیل تغییرات در عمق لایه شارش درون گپ در امتداد محور گپ شکل می گیرد. مطالعات لیو نشان می دهد که این سه جمله مرتبه بزرگی یکسانی دارند و با توجه به شرایط همدیدی و محلی منطقه در ساعات مختلف نقشهای متفاوت در گرادیان فشار کل دارند بطور مثال در زمانهایی که هوای سرد در قسمتهای شمالی تر دره مستقر شده است جمله سوم موثرتر است و در ساعات بعد بدلیل اختلاط تلاطمی این نقش ضعیف می شود، همچنین در طول شب جمله دوم بدلیل حضور شارش چینه بندی شده و پایدار در دره، مقادیر بزرگتری نسبت به روز که اختلاط تلاطمی پایداری ایستایی را کم می کند دارا است. نتایج بدست آمده در مطالعه لیو نیز این موضوع را تصدیق می کند و بادهای در طول شب نسبت به روز در دره شدیدتر شده اند و عمق آنها در دره کمتر شده است، در صورتیکه در مطالعه حاضر (روز ۱۸ فوریه) در طول روز جریانهای شمالی شدیدتر بوده اند.

هر یک از جمله های گرادیان فشار در روز ۱۸ فوریه تحلیل مقیاس شده است. با جایگزینی مقادیر مربوط بزرگی گرادیان فشار همدیدی به این ترتیب محاسبه می شود:

شکل ۹ سطح مقطع پیکانهای باد و خطوط همدمای پتانسیل را در طول جغرافیایی $59^{\circ} E$ و عرض جغرافیایی $26-31^{\circ} N$ نشان می دهد که این عرض جغرافیایی از اواسط دره لوت تا جنوب دریاچه خشک جازموریان را پوشش می دهد. شکل ۹ مربوط به ساعت UTC ۱۸۰۰ روز ۱۸ و ۱۹ فوریه است و با وجود این که در بعد از ظهر بدلیل اختلاط تلاطمی لایه مرزی انتظار پایداری ایستایی کمی داریم، پربندهای دمای پتانسیل لایه هوای مستقر در دره لوت پایداری ایستایی را نشان می دهد. با نزدیک شدن به کوه خطوط دمای پتانسیل فشرده تر شده اند و به احتمال خیلی زیاد بر روی کوه یک جهش هیدرولیکی و گذر شارش از حالت زیر بحرانی به فوق بحرانی روی می دهد.

تحلیل مقیاس جملات پایستگی تکانه

در این قسمت به بررسی، معرفی و تحلیل مقیاس تقریبی جملات موثر در معادلات پایستگی تکانه در امتداد طول گپ خواهیم پرداخت. گرایش محلی سرعت، فرارفت شارش، نیروی کوریولیس، گرادیان فشار و نیروی اصطکاک جملات موثر در معادله پایستگی تکانه هستند. اگر معادله پایستگی تکانه در امتداد طول گپ را به این صورت بنویسیم:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = \frac{-1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + K \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} - f u \quad (1)$$

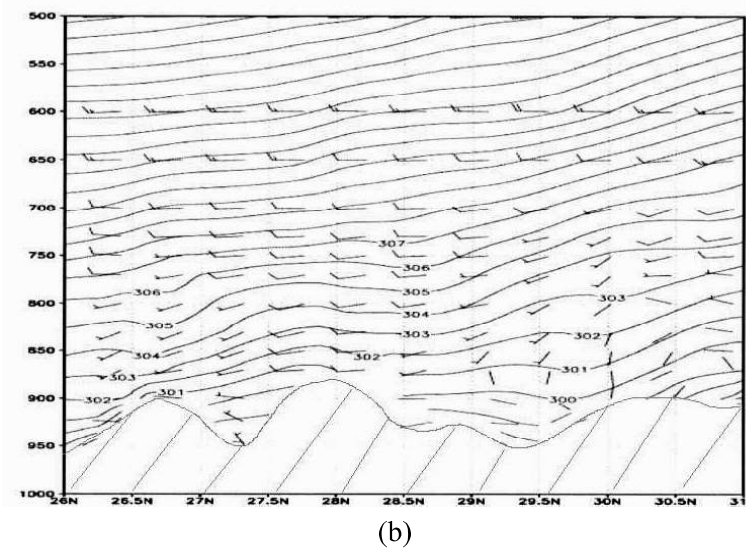
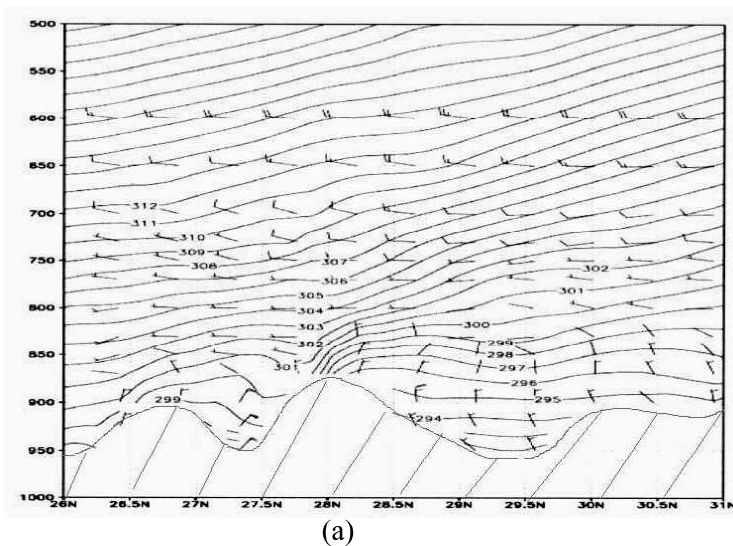
جملات سمت چپ، گرایش محلی سرعت باد گپ و فرارفت شارش در امتداد گپ می باشد. معمولاً بدلیل کوچک بودن مولفه های شارش در جهت های عرضی گپ و قائم می توان از آنها صرف نظر کرد و فرارفت را فقط در جهت محور طولی گپ در نظر گرفت.

$$g \left(\frac{\Delta\theta}{\theta} \right) \sin \alpha \approx 10 \times \frac{10^0}{10^2} \times 10^{-3} \approx 10^{-4} \text{ ms}^{-2}$$

$$\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial P}{\partial y} \right) \approx \frac{1}{\rho} \frac{\Delta P}{L} \approx \frac{1}{1} \times \frac{10 \times 10^2}{10^5} \approx 10^{-2} \text{ ms}^{-2}$$

$$g \left(\frac{\Delta\theta}{\theta} \right) \cos \alpha \left(\frac{\partial h}{\partial y} \right) \approx 10 \times \frac{10^0}{10^2} \times 1 \times \frac{10^2}{10^5} \approx 10^{-4} \text{ ms}^{-2}$$

(واحد فشار بر حسب میلی بار به پاسکال تبدیل شده است).
برای جملات بعدی:



شکل ۹: سطح مقطع قائم پیکانهای باد و دمای پتانسیل در طول جغرافیایی $59^\circ E$ و عرض جغرافیایی $26-31^\circ N$

(a) روز ۱۸ فوریه ساعت ۱۸۰۰ UTC (b) روز ۱۹ فوریه ساعت ۱۸۰۰ UTC

باشد، این جملات موثرتر می‌باشند. شاید در بررسی آماری انجام شده زمانهایی که گرادیان شدید فشار همدیدی وجود نداشته است ولی بادهای شمالی دیده شده‌اند این حالت وجود داشته است. نیروی کوریولیس نیز در اینجا نسبت به جملات دیگر از مرتبه کوچکتری است و نشان دهنده تاثیر کم چرخش در راستای طول دره است. اگر عدد راسبی، نسبت فرارفت سرعت به نیروی کوریولیس، برای طول دره محاسبه شود

اصطکاک تلاطمی نیز نسبت به سایر جملات بزرگی کمی دارد. ضریب وشکسانی جنبش شناختی تلاطمی k به تغییرات دما حساس است و مقدار آن تغییر می‌کند.

با وجود اینکه در یک محاسبه دقیق برای شارشهای گپ باید تاثیر همه این جملات در نظر گرفته شوند ولی اگر از جملات کوچکتر در معادله (۱) چشم پوشی شود توازن نیرو بین گرادیان فشار، اینرسی و فرارفت باید برقرار باشد. تاثیر نیروی اینرسی در زمان شروع شتاب گرفتن شارشهای گپ بیشتر است و بعد از آن جملات فرارفت و گرادیان فشار غالب می‌باشند که توازن آنها منجر به معادله ساده برنولی می‌شود.

عدد راسبی محاسبه شده در راستای عرض گپ همانند آنچه اورلند و والتر (۱۹۸۱) و لیو و همکاران (۲۰۰۰) محاسبه کرده‌اند از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$R_0 = \frac{v l}{f L^2}$$

با در نظر گرفتن $l=150$ کیلومتر برای پهنای دره و $L=600$ کیلومتر طول دره و $f=10^{-5} s^{-1}$ عدد کوریولیس و $v=3 m/s$ ، $R_0=0/1$ به دست می‌آید و تقریباً نشان دهنده تقریب زمینگرد بین نیروی گرادیان فشار و نیروی کوریولیس در راستای مولفه عرضی گپ است.

نتیجه گیری

با توجه به شکل دره، $\frac{\partial h}{\partial y}$ تغییرات عمق دره به طول دره از مرتبه 10^{-3} و $\alpha=0/05^\circ$ شیب دره (در میان دره) در نظر گرفته شده است. بنابراین به نظر می‌رسد در اینجا (روز ۱۸

فوریه) تاثیر گرادیان فشار همدیدی بیشتر از دو جمله دیگر بوده است. عدم وجود این جریانها در روز بعد (۱۹ فوریه) که گرادیان فشار همدیدی وجود نداشته است نیز این موضوع را تأیید می‌کند.

جمله اول سمت چپ معادله (۱) نشان دهنده تغییرات محلی سرعت است و برای تحلیل مقیاس آن در زمان وقوع بادهای گپ می‌توان بزرگی شارش در امتداد دره را از مرتبه ۱۰ و

مقیاس زمانی $\frac{\partial v}{\partial t} \approx \frac{v}{L}$ را از مرتبه 10^4 در نظر گرفت:

$$\frac{\partial v}{\partial t} \approx \frac{v}{t} \approx \frac{v^2}{L} \approx \frac{10}{10^4} \approx 10^{-3} ms^{-2}$$

جمله دوم سمت چپ معادله (۱) فرارفت سرعت در امتداد گپ است. برای تحلیل مقیاس آن با توجه به طول گپ (۶۰۰ کیلومتر) می‌توان نوشت:

$$v \frac{\partial v}{\partial y} \approx \frac{v^2}{L} \approx \frac{10^2}{10^5} \approx 10^{-3} ms^{-2}$$

در مورد جمله اصطکاک تلاطمی می‌توان نوشت:

$$k \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \approx k \frac{v}{l^2} = 10 \times \frac{10}{10^6} \approx 10^{-4} ms^{-2}$$

و برای نیروی کوریولیس با توجه به کوچک بودن تندی باد در راستای عرض دره:

$$f u \approx 10^{-4}$$

با توجه به نتایج بدست آمده بنظر می‌رسد بزرگترین جملات در معادله (۱)، گرادیان فشار همدیدی، فرارفت و تغییرات محلی سرعت باشد جملات مربوط به گرادیان فشار ناشی از شیب دره و تغییر عمق هوای سرد از مرتبه کوچکتری هستند ولی در زمانهایی که $\Delta\theta$ زیاد شود یعنی چینش شدید هوا وجود داشته

اجرای مدل MM5 در این مورد خاص (روز ۱۸ فوریه) به خوبی شدت گرفتن جریان های گپ تحت تاثیر گرادیان فشار سطحی در منطقه را نشان می دهد. بردارهای باد به دست آمده در اینجا مشابه با نتایج مطالعات مشابه شارشهای گپ در سایر نقاط مانند مطالعه شارپ و مس (۲۰۰۲) برای تنگه رودخانه کلمبیا می باشد و به خوبی کانالیزه شدن و شدت گرفتن جریانها در مسیر گپ را نشان می دهد. گام شبکه ای انتخاب شده برای اجرای مدل MM5 در روز ۱۸ و ۱۹ فوریه، ۲۰ کیلومتر انتخاب شده است. این گام شبکه ای با توجه به پهنای دره انتخاب شده است، اما پیشنهاد می شود در مطالعات بعدی با انتخاب گامهای شبکه ای مختلف مناسبترین گام بدست آید و از آن استفاده شود. همچنین با مطالعات موردی بیشتر می توان امکان استفاده از این مدل در پیش بینی زمان وقوع توفان های شدید را سنجید.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از همکاری و مساعدت آقای دکتر رنجبر و آقای مهندس میرزایی در اجرای مدل MM5 تشکر و قدردانی می نمایند.

کلیه نتایج بدست آمده در این مطالعه را می توان به ترتیب زیر خلاصه نمود:
در ایستگاه بم که به عنوان ایستگاه نمونه انتخاب شده است جهت جریانها در طی ساعات روز بیشتر شمالی و شمال شرقی می باشد در صورتیکه طی شب جهت جریانها غربی و شمال غربی می باشند که بدلیل واقع شدن منطقه در دامنه کوه تاثیر شارشهای شیب کوه به خوبی نمایان است. همچنین در ماههای گرم سال، بسامد رخداد جریانهای شمالی نسبت به ماههای سرد افزایش چشمگیری داشته است که با توجه به گرم شدن هوا و رشد لایه مرزی در طی ساعات بعد از ظهر و درگیر شدن آن با جریانهای ترازهای بالا تکانه بیشتری دریافت می کند و بر سرعت جریانها افزوده می شود.

با توجه به ضرایب همبستگی بین جریانهای شمالی (۰/۲۰) بالاترین تندی باد شمالی) و گرادیان نصف النهاری فشار در ایستگاه بم، همچنین بررسی نقشه های همدیدی در زمان وقوع این بادها و نتایج بدست آمده از اجرای مدل MM5، گرادیان فشار نصف النهاری و فرارفت هوای سرد از عرضهای بالایی نقش عمده ای در پیدایش این جریانها در منطقه دره لوت دارند بطوریکه با در نظر گرفتن توپوگرافی محل این جریانها را می توان در دسته بندی شارشهای گپ قرار داد.

منابع

- ۱- آزادی، م. ۱۳۸۰: مروری بر فرآیند پیش بینی عددی وضع هوا
- ۲- بابائیان، ا.، بذاق جمالی، ج.، کاظمی، ع.، محمدی، م.، احمدی، م.، علی آبادی، م.، ۱۳۸۲: تحلیل گرادیان فشار متوسط دریا برای وقوع بادهای شدید تابستانه در شرق کشور، مجموعه مقالات همایش پیش بینی عددی وضع هوا.
- ۳- برومند، ن.، ۱۳۸۳: پایان نامه کارشناسی ارشد موسسه ژئوفیزیک بررسی تغییرات جریانهای سطحی مناطق کویری ایران در چند دوره همدیدی
- ۴- بنی هاشم، ت.، و صفدری، ا.، ۱۳۶۲: مطالعه آماری باد در حاشیه مناطق کویری ایران، نشریه فیزیک زمین و فضا، جلد ۱۲، شماره ۱-۲.
- ۵- مجبوریان، ع.، ۱۳۸۱: پایان نامه کارشناسی ارشد موسسه ژئوفیزیک، مطالعه بادهای گپ سپیدرود
- 6- Atkinson, B. W., 1981: Meso-scale Atmospheric Circulations, AP, 495 pp.

- 7- Jackson, P. L., and D. G. Steyn, 1994: Gap wind in a fjord. Part: observations and numerical simulation. *Mon. Wea. Rev.*, 122, 2645-2676.
- 8- Lackman, G. M., and J. E. Overland, 1989: Atmospheric structure and momentum balance during a gap wind event in Shelinkof Strait, Alaska. *Mon. Wea. Rev.*, 117, 1817-1833.
- 9- Liu, M., and D. I. Westphal and T.R. Holt and Q. Xu., 2000: Numerical simulation of a lee level jet over complex terrain in southern Iran. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 1309-1327.
- 10- Macklin, S. A., N. A. Bond, and J. P. Walker, 1990: structure of a lee-level jet over lower Cook Inlet, Alaska. *Mon. Wea. Rev.*, 113, 2568-2578.
- 11- Mass, C. F., M. D. Albright, and Z. A. Tucker, 1995: A windstorm in the lee of a gap in a coastal mountain barrier. *Mon. Wea. Rev.*, 123, 315-331.
- 12- Overland, J. E., and B. A. Walter Jr., 1981: Gap winds in the Strait of Jean de Fuca. *Mon. Wea. Rev.*, 109, 2221-2233.
- 13- Sharp, J. and C. F. Mass, 2002: Columbia Gorge Gap Flow: Insights from Observational Analysis and Ultra-High Resolution Simulation. *Bulletin of the American Meteorological Society*: 83, 1757-1762.
- 14- Thomas, C. S., 1987: The Iranian hostage rescue attempt. DTIC SELECTED, AD-A183, 22 pp [Available from U.S Army War College, Carlisle Barracks, PA 17013-5008.]

STUDY OF GAP WINDS IN THE LUT PLATEAU

A. A. Bidokhti¹, N. Boroumand²

1- Associate professor, Geophysics Institute, University of Tehran, 2- MSc of Meteorology, Geophysics Institute, University of Tehran

Received : 02/09/2004

ABSTRACT

Local surface winds are affected by different features of such as surface roughness and local topography. As surface winds affects the human activities such as agricultural, economical and safety of transportation, their investigations from the point of view of forecasting is important. In desert area such as Lut, strong surface wind is a major factor in surface erosion and sands transport. Lut valley in the south east of Iran with north- south direction and its continuation to the Jazmorian dry lake towards the Coast of Oman Sea can affect the surface winds (i.e. channeling). In this study using surface wind data the dynamic properties of these surface winds have been investigated. It includes statistical, synoptical and numerical methods. Statistically, there is a good correlation between the strong northerly surface winds and latitudinal pressure gradient. Cold air advection from the north and the latitudinal pressure gradient are the two major factors enhancing the northerly surface wind. A numerical case study for February 2004 also indicates that these are the two important factors intensifying the surface winds, while the mountain ranges on both sides of the Lut valley are important in channeling the surface winds and generating gap winds which are observed in other part of the world.

Key word: Gap Wind, Cold Advection, Lut Valley, Synoptic pressure gradient, surface erosion