

بررسی پارامترهای برداری باد و نقش آن در طوفان‌های گردوغباری سیستان ایران

تقی طاوسی* - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان
محمد سلیقه - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت معلم تهران
نعمت‌ا. صفرزایی - کارشناس ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۰۹/۱۸ تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۰۲/۱۱

چکیده

منطقه‌ی سیستان یکی از مناطق بادخیز در شرق ایران است. در این پژوهش به بررسی پارامترهای باد برداری سیستان پرداخته شده است. برای انجام این کار از داده‌های روزانه، ماهانه و سالانه‌ی گردوغبار و سرعت و جهت باد ایستگاه هواشناسی همدید زابل (۲۰۰۸-۱۹۹۹) استفاده شده است. برای بررسی مسیر طوفان‌های گردوغباری، پنج روز از شدیدترین روزهای گردوغباری انتخاب شدند. پوشش مکانی داده‌های مورد بررسی ۵ تا ۵۵ شمالی و ۱۰ تا ۱۰۰ شرقی است. نتایج به‌دست آمده طی دوره‌ی آماری مورد مطالعه، نشان می‌دهد که بادهای شدید سیستان از دو سامانه‌ی گردشی فعال نشأت گرفته‌اند. از یک سو سامانه‌ی پُرازتفاه مستقر بر دریایچه‌ی خزر که در شمال غرب منطقه‌ی سیستان واقع شده و حرکت واچرخندی در این سامانه، موجب پراکنش هوا از مرکز به اطراف می‌شود. از سوی دیگر، سامانه‌ی کم‌ارتفاهی در جنوب شرق منطقه‌ی سیستان مستقر شده است که به صورت یک چرخند، موجب مکش هوای اطراف می‌شود. با توجه به اینکه این سامانه در شرق و جنوب شرق سیستان واقع شده است، پس در مسیر حرکت شمالی - جنوبی، هوای خارج شده از سامانه‌ی پُرازتفاه واقع بر دریایچه‌ی خزر تأثیر گذاشته و به حالت شمال غربی جنوب شرقی در آورده است.

کلیدواژه‌ها: بردار باد، سیستان، گردوغبار، جهت باد.

مقدمه

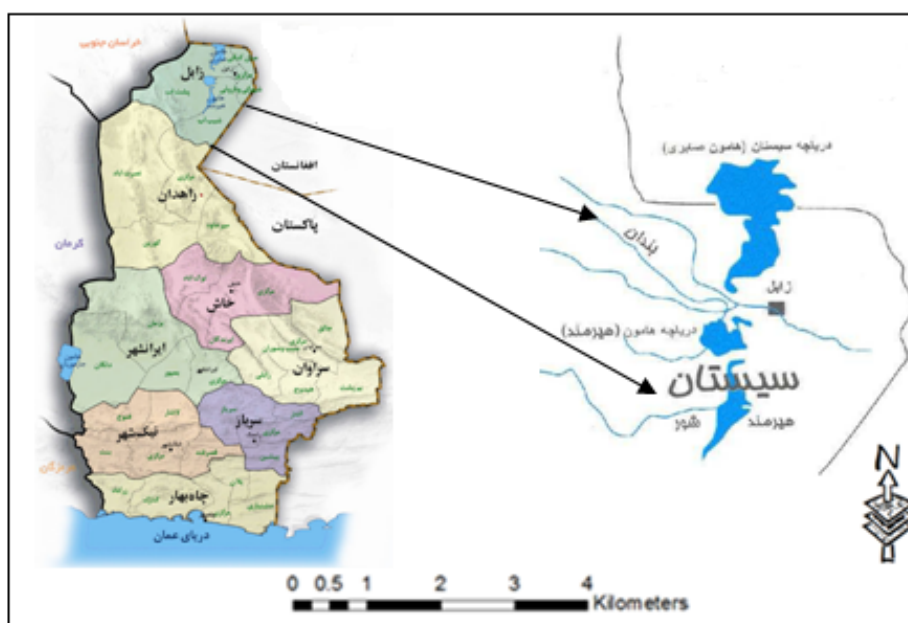
پدیده‌ی گردوغبار از زوایا و ابعاد مختلف مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

انگلس‌تادلر (۲۰۰۱) در رابطه با پهنه‌بندی مکانی فراوانی وقوع گردوغبارهای جهان، نقش بستر دریاچه‌ها و صحرای بزرگ آفریقا را به‌عنوان تولیدکنندگان اصلی گردوغبار مهم‌تر می‌داند و بر این باور است که صحرای شمال آفریقا، بیش از هر بیابان دیگری در دنیا گردوغبار تولید می‌کند. (Engelstadler, 2001: 56). هامیش و همکاران (۲۰۰۱) با بررسی گردوغبارهای استرالیا نتیجه گرفته‌اند که گردوغبارهای قاره‌ی استرالیا، همواره با فرودهای سطح بالا و جبهه‌های سرد سیکلون زمین است، به‌گونه‌ای که در صورت وجود شرایط مذکور، گردوغبارهای استرالیا می‌توانند تا هزاران کیلومتر فراتر از این قاره، در نیمکره‌ی جنوبی پخش شوند. (Hamish, 2001: 28). وای‌هانگ و شاوونشی (۲۰۰۱) عامل وقوع طوفان‌های گردوخاک و آثار آنها را بر کشور چین مطالعه کرده‌اند. آنها گرمایش زمین در بیابان مغولستان و سرماییش زمین در شمال کشور چین را عامل مؤثر در تشکیل گردوغبار بخش شمالی این کشور می‌دانند (Shaoyinshi, 2001, 15). کوتیل (۲۰۰۳) طوفان‌های گردوخاک خاورمیانه را مورد مطالعه قرار داد. وی چهار ناحیه‌ی اصلی بیشترین فراوانی گردوغبار خاورمیانه را مشخص کرد. عربستان سعودی، عراق و سوریه، سودان و منطقه‌ی خلیج فارس نواحی‌ای هستند که بیشترین رخداد طوفان‌های گردوخاک را دارند (Kutil, 2003: 419). وانگ (۲۰۰۵) به مطالعه‌ی روابط بین شکل‌گیری طوفان‌های گردوغبار و تحوّل سینوپتیک آنها در شمال شرق آسیا پرداخته و نتیجه گرفته است که طوفان گردوغبار هنگامی گسترش می‌یابد که یک سیستم به‌سمت ناحیه‌ی بیابانی حرکت می‌کند. (Wang, 2005: 13). گودی و میدلتون (۲۰۰۶) با مطالعه‌ی در ترکمنستان مشخص کردند که خشک‌شدن بستر دریاچه‌ی آرال، مشکلات عمده‌ی تنفسی را برای کودکان منطقه به‌وجود آورده است. کورن و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از مشاهدات ماهواره‌ای نشان دادند که سالانه، حدود ۲۰ میلیون تُن غبار از گودالی که کمابیش ۲ درصد صحرای آفریقا است، به حوزه‌ی رود آمازون جابه‌جا شده و مواد معدنی مورد نیاز جنگل‌های آمازون را تأمین می‌کند (Koren, 2006: 1). خسروی و همکاران (۱۳۸۴) در پژوهشی با عنوان "آثار اکولوژیکی و زیست‌محیطی بادهای ۱۲۰ روزه‌ی سیستان" بیان کردند، بررسی عوامل ژنتیکی بادهای ۱۲۰ روزه‌ی سیستان، نشان‌دهنده‌ی این است که طوفان‌های سریع با سرعت حدود ۸۰ نات در ثانیه، هنگامی رخ می‌دهند که منطقه‌ی چرخندگی مثبت بادهای غربی، در مجاورت زبانه‌ی کم‌فشار فرعی موسمی قرار گیرد (خسروی و سلیقه، ۱۳۸۴: ۱). ایرانمنش و همکاران (۱۳۸۵) در پژوهشی با عنوان "بررسی مناطق برداشت ذرات گردوغبار و ویژگی‌های انتشار آنها در طوفان‌های منطقه‌ی سیستان" مشخص کردند که اصلی‌ترین منطقه‌ی برداشت ذرات گردوغبار روی دریاچه‌ی هامون صابوری قرار دارد (ایرانمنش، ۱۳۸۴: ۲۹). راشکی و همکاران (۱۳۸۶) در مطالعه‌ی طوفان‌های گردوخاک منطقه‌ی سیستان را بررسی و نتیجه گرفته‌اند که با وقوع خشکسالی در منطقه‌ی سیستان و به‌تبع آن، کاهش پوشش گیاهی و خشک‌شدن دریاچه‌ی هامون و وجود بادهای ۱۲۰ روزه، شرایط مناسبی برای فرسایش بادی و وقوع طوفان‌های گردوخاک فراهم آمده است

(راشکی و همکاران، ۱۳۸۶: ۷۵). خسروی (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای با عنوان "توزیع عمودی گردوغبار ناشی از طوفان در سیستان" ثابت کرد که بادهای ۱۲۰ روزه‌ی سیستان تا سطوح بالای ۳۰۰ هکتوپاسکال را غبارآلود می‌کنند.

ویژگی‌های منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی سیستان با ۱۵۱۹۷ کیلومتر مربع مساحت در شمال استان سیستان و بلوچستان و شرق ایران واقع شده است (شکل شماره ۱). این منطقه از شمال و شرق با افغانستان، از غرب با استان خراسان جنوبی و از جنوب با شهرستان زاهدان مرز مشترک دارد (حیدری نسب، ۱۳۸۶: ۸). در پژوهش پیش رو، از داده‌های اقلیمی ایستگاه سینوپتیک هواشناسی زابل با مختصات عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲ دقیقه‌ی شمالی و طول جغرافیایی ۶۱ درجه و ۲۹ دقیقه‌ی شرقی و ارتفاع ۴۸۹ متر استفاده شده است. منطقه‌ی سیستان از نظر ژئومورفولوژی، کمابیش یک دشت هموار است و پدیده‌های طبیعی آن، افزون بر دشت، دلتا، رودخانه و دریاچه هستند. مهم‌ترین رودخانه‌ی این منطقه، رودخانه‌ی هیرمند است و هم‌اینک تنها شاه‌رگ حیاتی سیستان به‌شمار می‌آید. همچنین یکی از پدیده‌های ارزنده‌ی دیگر در سیستان، دریاچه‌های سه‌گانه‌ی هامون به‌نام‌های هامون پوزک، هامون صابوری و هامون هیرمند هستند که در تأمین رطوبت و حیات سیستان نقش مهمی دارند.



شکل ۱. موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

داده‌های آماری ایستگاه هواشناسی زابل، از سایت هواشناسی کشور دریافت شده است. برای ترسیم گلباد فصلی داده‌های سرعت و جهت باد، از آمار ایستگاه هواشناسی سینوپتیک زابل استفاده شده است. سپس گلباد مورد نظر ترسیم شد. گفتنی است برای انجام این کار بالاترین سرعت و جهت آن در نظر گرفته شده است.

جدول ۱. مشخصات برداری شدیدترین بادهای ایستگاه زابل (۲۰۰۸-۱۹۹۹)

سال	منغیر	۱۹۹۹	۲۰۰۰	۲۰۰۱	۲۰۰۲	۲۰۰۳	۲۰۰۴	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۰۷	۲۰۰۸
زمستان	جهت	۳۳۰	۳۳۰	۳۴۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۴۰	۳۴۰	۳۳۰
	سرعت	۲۵	۲۲	۱۷	۲۳	۲۰	۲۰	۲۰	۱۷	۲۲	۱۹
بهار	جهت	۳۳۰	۳۳۰	۳۲۰	۳۲۰	۳۱۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۵۰
	سرعت	۲۴	۲۲	۲۵	۲۵	۲۶	۲۸	۲۵	۲۰	۲۰	۲۸
تابستان	جهت	۳۴۰	۳۲۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۲۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۵۰
	سرعت	۲۴	۲۵	۲۵	۲۷	۲۶	۲۷	۲۲	۲۲	۲۴	۳۲
پاییز	جهت	۳۲۰	۳۲۰	۳۳۰	۳۴۰	۳۴۰	۳۲۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۶۰
	سرعت	۲۰	۱۸	۲۳	۱۹	۲۵	۲۲	۱۹	۱۷	۱۹	۱۹

با توجه به اینکه پژوهش مورد نظر به بررسی تحلیل بردارهای باد می‌پردازد و در مطالعات همدید، هدف کشف رابطه میان الگوهای گردشی با رویدادهای محیطی است (یارنال، ۱۹۹۳؛ برگردان مسعودیان، ۱۳۸۵)، بنابراین پنج روز از سامانه‌های گردوغباری شدید داده‌های اقلیمی ایستگاه هواشناسی سینوپتیک زابل، انتخاب شد (جدول شماره ۲). برای تحلیل، داده‌های جهت و سرعت باد از تارنمای www.cdc.noaa.gov برداشت شد. پوشش مکانی داده‌های جوّی بین ۱۰ تا ۱۰۰ درجه‌ی شرقی و ۵ تا ۵۵ درجه‌ی شمالی است.

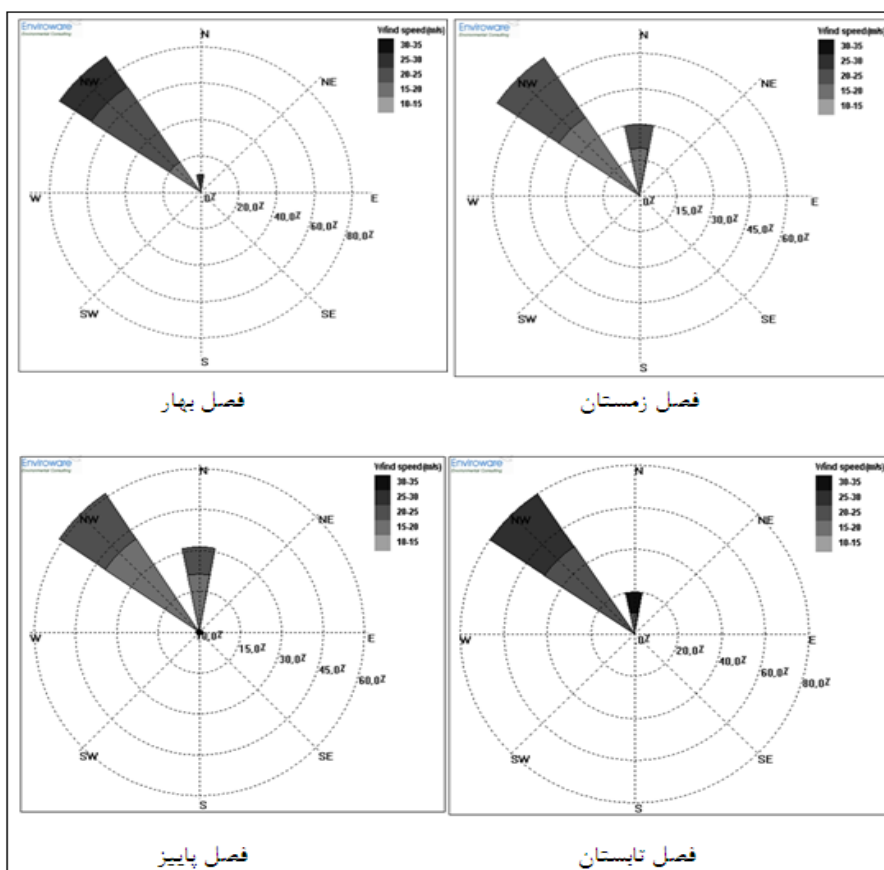
یافته‌های تحقیق

تجزیه و تحلیل نقشه‌های فشار و ارتفاع همدید و نقشه‌های خطوط جریان، نشان داد که دوره‌های بادهای شدید یا همان طوفان‌های گردوغباری، در پنج الگو قابل بررسی هستند که با کوتاه‌کردن این الگوها، می‌توان آنها را به دو الگوی اصلی دسته‌بندی کرد. مشخصات این دو الگو در جدول شماره ۲ آمده است.

جدول ۲. دوره‌های گردوغباری انتخابی مورد استفاده در تحلیل همیدی (۲۰۰۸-۱۹۹۹)

دوره	روز اوج (میلادی)	روز اوج (شمسی)	سرعت (m/s)	تداوم
۱	۹ اوت ۲۰۰۸	۸۷/۵/۱۹	۲۹	۱۳ روز
۲	۶ سپتامبر ۲۰۰۸	۸۷/۶/۱۶	۳۲	۶ روزه

در فصل زمستان، ۷۰ درصد بادهای با سرعتی بین ۱۵ تا ۲۵ متر بر ثانیه از شمال غرب و ۳۰ درصد با همین سرعت از شمال به منطقه‌ی مورد مطالعه می‌وزند. باد غالب فصل زمستان در منطقه، شمال غربی است و بیشترین فراوانی سرعت، بین ۱۵ تا ۲۰ متر بر ثانیه است (شکل شماره ۲). گلباد فصل بهار مبین این است که حدود ۹۰ درصد بادهای با سرعتی بین ۱۰ تا ۳۰ متر بر ثانیه از شمال غرب می‌وزند و نشان‌دهنده‌ی بیشترین فراوانی سرعت بین ۲۰ تا ۲۵ متر بر ثانیه است. حدود ۱۰ درصد بادهای با فراوانی سرعت بین ۲۵ تا ۳۰ متر بر ثانیه و از جهت شمال می‌وزند. باد غالب فصل بهار این منطقه، شمال غربی است و بیشترین فراوانی سرعت در آن ۲۰ تا ۲۵ متر بر ثانیه است. در فصل تابستان کمابیش ۸۰ درصد بادهای با سرعتی بین ۲۰ تا ۳۰ متر بر ثانیه از شمال غرب و ۲۰ درصد باقیمانده با سرعت ۲۰ تا ۳۰ متر بر ثانیه از شمال می‌وزند. باد غالب فصل تابستان منطقه، شمال غربی است و بیشترین فراوانی سرعت در آن ۲۰ تا ۲۵ متر بر ثانیه است. در فصل پاییز افزون بر ۶۰ درصد بادهای با سرعتی بین ۱۵ تا ۲۵ متر بر ثانیه از شمال غرب و بیش از ۳۰ درصد باقیمانده با سرعت ۱۵ تا ۲۵ متر بر ثانیه از شمال می‌وزند و نشان‌دهنده‌ی بیشترین فراوانی سرعت بین ۱۵ تا ۲۰ متر بر ثانیه و از جهت شمال غرب است.

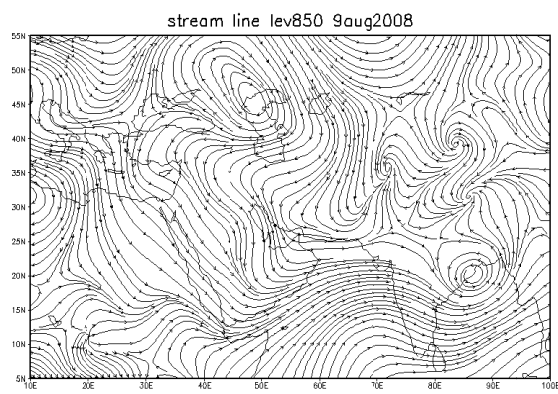


شکل ۲. گلباد فصلی ایستگاه زاہل (۲۰۰۸-۱۹۹۹)

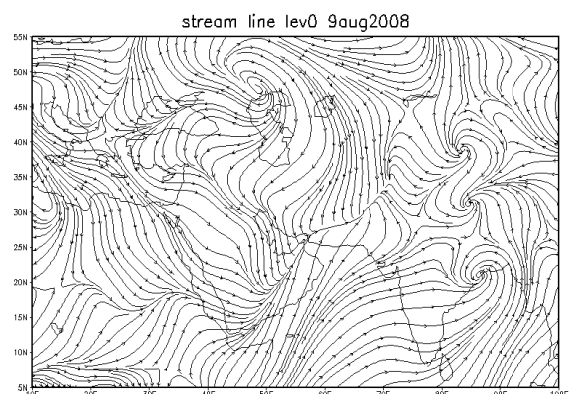
الگوهای همدیدی تشکیل بادهای سیستان

الگوی اول؛ توسعه‌ی زبان‌هی کم‌فشار موسمی

براساس نقشه‌ی سطح دریا (شکل شماره ۳- الف) جهت باد در منطقه‌ی مورد مطالعه حالت نصف‌النهاری دارد. سرعت باد هم در منطقه قابل توجه است. در الگوی مورد نظر، نقش سامانه‌ی پُراترفاع واقع بر دریاچه‌ی خزر، فعال و سبب پراکنش هوا می‌شود. هوای خارج شده، مسیر شمال شرق ایران و قسمتی از افغانستان را دور زده و با حالت شمالی - جنوبی به سمت جنوب حرکت کرده است. این هوای وارد شده با هوای گرم جنوب در جنوب شرق ایران، موجب ایجاد جبهه هوا شده‌اند. در نقشه‌ی مورد نظر، بیشترین سرعت باد مربوط به نواحی شرق و جنوب شرق کشور است. در منطقه‌ی سیستان، خطوط جریان همگرا شده و بر اثر همگرایی بر سرعت آنها افزوده می‌شود. در نقشه‌ی سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل شماره ۶- ب) نقش سامانه‌ی پُراترفاع شمال شرق و کم‌ارتفاع جنوب شرق منطقه‌ی سیستان در مسیر و سرعت بادهای چشمگیر است. در این الگو نیز جهت بادهای در شمال منطقه حالت شمالی - جنوبی دارند. به دلیل سامانه‌ی کم‌ارتفاعی که در شمال شرق منطقه واقع شده و به صورت یک چرخند، موجب مکش هوای اطراف می‌شود، جهت بادهای در منطقه به حالت شمال غربی - جنوب شرقی گرایش پیدا کرده و سرعت بادهای نیز افزایش یافته‌اند. آن همگرایی که در سطح زمین روی سیستان در خطوط جریان مشاهده می‌شد، در این سطح نیز دیده می‌شود. با توجه به اینکه در این سطح از میزان اصطکاک کاسته شده، سرعت جریان بادهای افزایش یافته است.



(ب)

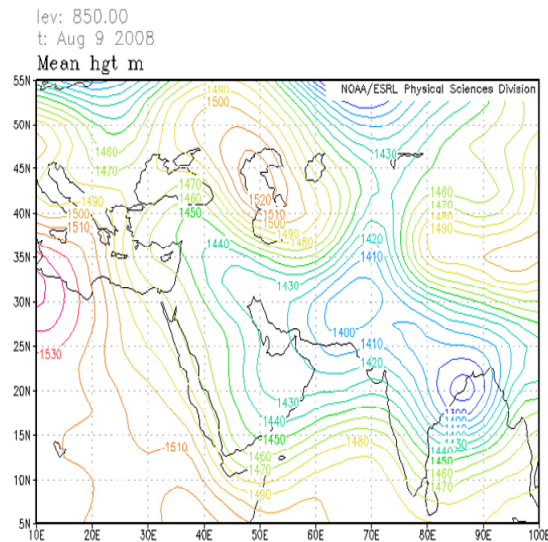


(الف)

شکل ۳. نقشه‌های استریم‌لاین الگوی اول سطح دریا و ۸۵۰ هکتوپاسکال (۹ اوت ۲۰۰۸)

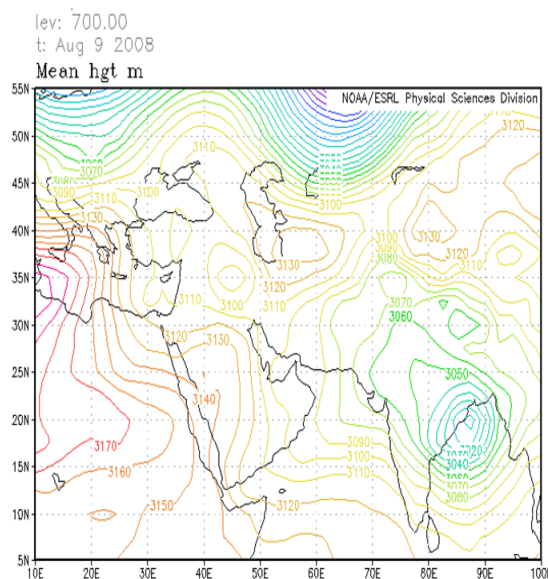
شکل شماره ۴ نقشه‌ی هم‌ارتفاع سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال الگوی اول را نشان می‌دهد. مرکز کم‌ارتفاع با ارتفاع مرکزی ۱۴۰۰ متر روی سیستان بسته شده است. این سیستم زبان‌هی از مرکز کم‌فشار موسمی است که با گسترش به سمت غرب با کم‌ارتفاع سیستان که یک کم‌ارتفاع حرارتی است، یکی شده و مجموعه‌ی

وسیع کم‌فشاری را به‌وجود آورده است. حرکت هوا در این سطح، عکس حرکت عقربه‌های ساعت انجام می‌شود و باد از جهت شمال در سیستان ایران می‌وزد.



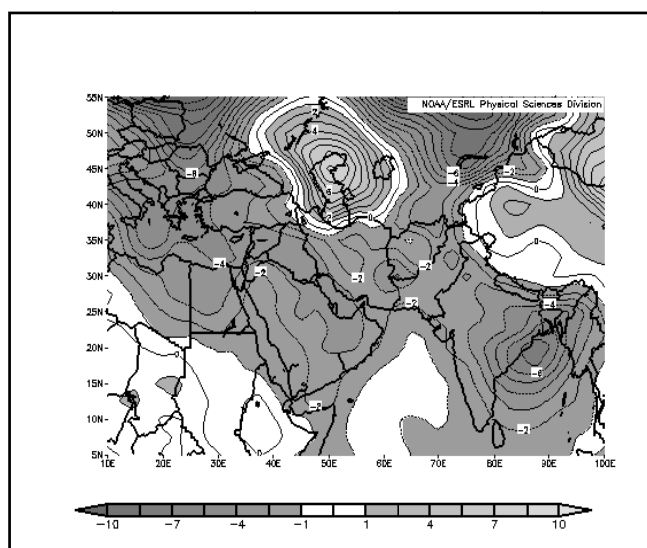
شکل ۴. نقشه‌ی هم‌ارتفاع سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال الگوی اول

شکل شماره‌ی ۵ نقشه‌ی هم‌ارتفاع سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال الگوی اول را نشان می‌دهد. مرکز کم‌ارتفاعی که در سطح ۸۵۰ گسترش داشت، در این سطح دیده نمی‌شود. این امر حاکی از آن است که کم‌فشار تشکیل شده یک کم‌فشار حرارتی است. در این سطح زبان‌های کم‌فشار موسمی گسترش زیادی به سمت غرب ندارد، اما بر اساس روند خطوط هم‌ارتفاع، در این سطح نیز باد از شمال به جنوب می‌وزد و اختلاف افقی تغییرات سطوح کم‌ارتفاع کاهش یافته است.



شکل ۵. نقشه‌ی هم‌ارتفاع سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال الگوی اول

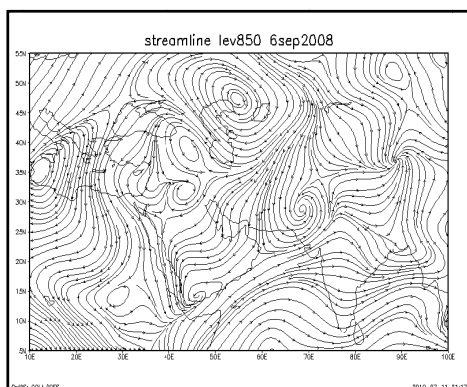
شکل شماره ۶ نقشه‌ی آنومالی فشار در سطح زمین را نشان می‌دهد. این شکل نیز روی منطقه‌ی سیستان، خطوط هم‌آنومالی بسته‌ای را با ۴- میلی‌بار نشان می‌دهد. در منطقه‌ی سیستان مقدار فشار نسبت به دوره‌ی بلندمدت، حدود ۴ میلی‌بار کمتر است. همین کاهش فشار، جریان‌های شمالی را در منطقه سبب شده است.



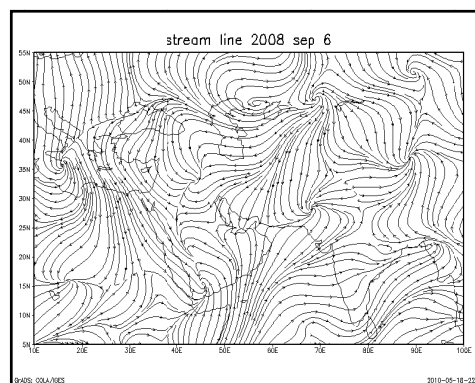
شکل ۶. نقشه‌ی آنومالی فشار (۵۰۰-۱۰۰۰) دوره‌ی چهارم روز اوج طوفان (۱۹ اوت ۲۰۰۸)

الگوی دوم؛ الگوی توسعه‌ی پُرفشار تبت

شکل شماره ۷ نقشه‌های استریم‌لاین (جهت و سرعت باد) الگوی دوم را نشان می‌دهد. در نقشه‌ی سطح دریا (شکل ۷- الف)، مرکز سامانه‌ی پُرافتخا شرق افغانستان، در منطقه‌ی تبت واقع است و کاملاً از ایران خارج است. مرکز این سامانه در شمال شرق سیستان مستقر است و می‌توان گفت که با مرکز کم‌ارتفاع جنوب شرق سیستان، در یک راستا قرار گرفته است. هوا با جهت غربی از سامانه‌ی واگرا در شمال خارج شده و در منطقه‌ی سیستان، به دلیل مکش هوا توسط سامانه‌ی جنوب شرق به حالت شمالی - جنوبی درآمد است. در سطح دریا بیشترین سرعت باد مربوط به نواحی شرق و جنوب شرقی ایران است. در نقشه‌ی سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۷- ب) به وضوح دو سامانه‌ی پُرافتخا شمال غرب و کم‌ارتفاع جنوب شرق سیستان قابل مشاهده هستند. منطقه‌ی سیستان بیشترین سرعت باد را دارد و سرعت بادهای نسبت به سطح دریا افزایش یافته‌اند. در این الگو نیز جهت باد پیش از رسیدن به منطقه، حالت شمالی - جنوبی داشته و هنگام رسیدن به منطقه‌ی مطالعاتی، به دلیل سامانه‌ی کم‌ارتفاعی که در شرق منطقه‌ی مورد مطالعه واقع شده، جهت بادهای بیشتر به حالت شمال غربی - جنوب شرقی گرایش پیدا کرده است.



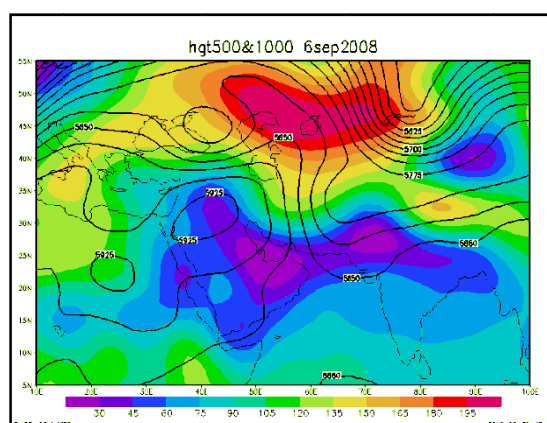
ب



الف

شکل ۷. نقشه‌های استریم لاین الگوی دوم سطح دریا و ۸۵۰ هکتوپاسکال (۶ سپتامبر ۲۰۰۸)

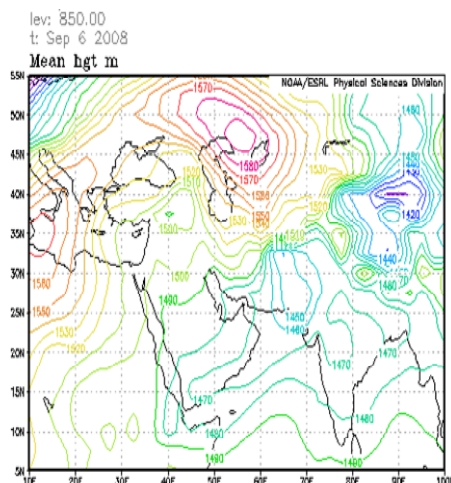
شکل شماره ۸ نقشه‌ی توزیع مراکز فشار را در سطح ۱۰۰۰ و سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۶ سپتامبر ۲۰۰۸ نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، مرکز پُرا ارتفاع با ارتفاع ۱۶۵ ژئوپتانسیل‌متر در شمال هند روی منطقه‌ی تبت واقع شده است. این در حالی است که در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکالی، زبانه‌ای از کم‌ارتفاع به سمت جنوب‌غرب و به سمت سیستان ایران گسترش یافته است. ارتفاع سطح ۵۰۰ هکتوپاسکالی در منطقه‌ی مطالعاتی، ۵۸۵۰ ژئوپتانسیل‌متر است. ایجاد چنین الگویی و ایجاد کم‌فشار در سطوح میانی تروپوسفر، شرایط ناپایدار محلی را تشدید کرده است.



شکل ۸. نقشه‌های ترکیبی الگوی دوم در سطوح ۱۰۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال (۶ سپتامبر ۲۰۰۸)

شکل شماره ۹ نقشه‌ی هم‌ارتفاع سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال الگوی دوم را نشان می‌دهد. مرکز کم‌ارتفاع با ارتفاع مرکزی ۱۴۵۰ ژئوپتانسیل‌متر، روی سیستان بسته شده و به سمت جنوب کشیده شده است. این سیستم، سیستمی کاملاً مستقل است که عوامل حرارتی ناشی از سطح زمین آن را به وجود آورده است.

هسته‌ی پُراتفاح قوی در شمال شرق دریای خزر و گسترش زبانه‌ی آن به سمت جنوب، اختلاف فشار شدیدی را در این منطقه به وجود آورده است. در این حالت شیب تغییرات فشار افزایش یافته و جهت بادهای متأثر از این شیب، شمالی - جنوبی شده است.



شکل ۹. نقشه‌ی هم‌ارتفاع سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال الگوی دوم

بحث و نتیجه‌گیری

در الگوی اول نقش سامانه‌ی پُراتفاح واقع بر دریاچه‌ی خزر فعال شده و سبب پراکنش هوا می‌شود. هوای خارج‌شده، مسیر شمال شرق ایران و قسمتی از افغانستان را دور زده و با حالت شمالی - جنوبی به سمت جنوب حرکت کرده است. در این الگو بیشترین سرعت باد مربوط به نواحی شرق و جنوب شرق کشور است. در منطقه‌ی سیستان، خطوط جریان همگرا شده و بر اثر همگرایی، بر سرعت آنها افزوده می‌شود. در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال این الگو، نقش سامانه‌ی پُراتفاح شمال شرق و کم‌ارتفاع جنوب شرق منطقه‌ی سیستان، در مسیر و سرعت بادهای چشمگیر است. همگرایی که در سطح زمین روی سیستان در خطوط جریان مشاهده می‌شود، در این سطح نیز دیده می‌شود. با توجه به اینکه در این سطح از میزان اصطکاک کاسته شده، سرعت جریان بادهای افزایش یافته است. حرکت هوا در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال این الگو، عکس حرکت عقربه‌های ساعت انجام می‌شود و باد از جهت شمال در سیستان ایران می‌وزد.

در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال الگوی اول، مرکز کم‌ارتفاع دیده نمی‌شود که حاکی از آن است که کم‌فشار تشکیل شده، کم‌فشاری حرارتی است. نقشه‌ی آنومالی فشار در سطح زمین این الگو، نشان داد که روی منطقه‌ی سیستان خطوط هم‌آنومالی بسته‌ای با ۴- میلی‌بار قرار دارد که نشانه‌ی وضعی کم‌فشاری است.

خطوط جریان الگوی دوم نشان داد که مرکز سامانه‌ی پُراتفاح در شرق افغانستان، در منطقه‌ی تبت واقع شده و با مرکز کم‌ارتفاع جنوب شرق سیستان در یک راستا قرار گرفته است. با پراکنش هوا از سامانه‌ی پُراتفاح، در شمال پُراتفاح جهت بادهای حالت غربی داشته و در منطقه‌ی سیستان، به دلیل مکش هوا توسط

سامانه‌ی جنوب‌شرق، به حالت شمالی - جنوبی درآمده است. در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، به‌وضوح دو سامانه‌ی پُراتفَاع شمال‌غرب و کم‌ارتفَاع جنوب‌شرق سیستان قابل مشاهده هستند. در این الگو نیز، جهت باد پیش از رسیدن به منطقه، حالت شمالی - جنوبی داشته و هنگام رسیدن به منطقه‌ی مطالعاتی، به‌دلیل سامانه‌ی کم‌ارتفَاعی که در شرق منطقه‌ی مورد مطالعه واقع شده، جهت بادهای بیشتر به حالت شمال‌غربی - جنوب‌شرقی گرایش پیدا کرده است.

توزیع مراکز فشار در سطح ۱۰۰۰ و سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در الگوی دوم نشان داد، مرکز پُراتفَاع با ارتفاع ۱۶۵ ژئوپتانسیل‌متر در شمال هند روی منطقه‌ی تبت واقع شده و در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکالی، زبانه‌ای از کم‌ارتفَاع به سمت جنوب‌غرب و به سمت سیستان ایران گسترش یافته است. ایجاد چنین الگویی و ایجاد کم‌فشار در سطوح میانی تروپوسفر، شرایط ناپایدار محلی را تشدید کرده است. در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، مرکز کم‌ارتفَاع با ارتفاع مرکزی ۱۴۵۰ ژئوپتانسیل‌متر روی سیستان بسته شده و به سمت جنوب کشیده شده است. این سیستم، سیستمی کاملاً مستقل است که عوامل حرارتی ناشی از سطح زمین آن را به‌وجود آورده است. هسته‌ی پُراتفَاع قوی در شمال‌شرق دریای خزر و گسترش زبانه‌ی آن به سمت جنوب، اختلاف فشار شدیدی را در این منطقه به‌وجود آورده است. در این حالت شیب تغییرات فشار افزایش یافته و جهت بادهای متأثر از این شیب، شمالی - جنوبی شده است.

با بررسی جهت بادهای در منطقه‌ی سیستان مشخص شد که جهت باد غالب در تمام فصول سال، شمال‌غربی است و بیشترین درصد آن مربوط به فصل بهار (۹۰ درصد) و کمترین درصد در فصل پاییز (۶۰ درصد) است. همچنین باد غالب فصل تابستان ۸۰ درصد و شمال‌غربی است. افزون‌بر این، به جز فصل تابستان، در فصول دیگر سال، بیشترین فراوانی سرعت ۲۰ تا ۲۵ متر بر ثانیه است.

نقشه‌های خطوط جریان سطح دریا مبین این نکته هستند که طوفان‌های گردوغباری سیستان، نشأت گرفته از دو سامانه‌ی گردشی فعال فوق است. جهت بادهای در شمال منطقه‌ی مورد مطالعه به حالت نصف‌النهاری است که پیش از رسیدن به منطقه، حالت شمالی - جنوبی داشته و هنگام رسیدن به منطقه‌ی مطالعاتی، به‌دلیل تقویت و جابه‌جا شدن سامانه‌ی کم‌ارتفَاع جنوب‌شرق منطقه‌ی مورد مطالعه به طرف شرق، جهت بادهای بیشتر به حالت شمال‌غربی به جنوب‌شرقی گرایش پیدا کرده و سرعت بادهای نیز افزایش می‌یابند.

منابع

- ایرانمنش ف. و همکاران، ۱۳۸۵، بررسی مناطق برداشت ذرات گردوغبار در استان سیستان و بلوچستان، فصلنامه‌ی پژوهش و سازندگی، شماره‌ی ۶۷، صص. ۳۳-۲۵.
- حسین‌زاده س. ر. ۱۳۷۲، بادهای ۱۲۰ روزه‌ی سیستان، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره‌ی ۴۶، صص. ۱۰۳-۱۲۷.

- حیدری نسب م. ۱۳۸۶، نقش باد در ایجاد لندفرم‌های بادی منطقه‌ی سیستان، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- خسروی م. ۱۳۸۹، بررسی توزیع عمودی گردوغبار ناشی از طوفان در خاورمیانه با استفاده از مدل NAAPS، کنگره‌ی بین‌المللی جغرافی‌دانان جهان اسلام، فروردین ۱۳۸۹، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- خسروی م. و سلیقه م. ۱۳۸۴، اثرات اکولوژیکی و زیست‌محیطی بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، پژوهشکده‌ی علوم زمین و جغرافیا، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- راشکی ع. ر. و زرین ه. ۱۳۸۶، پیامدهای بادهای ۱۲۰ روزه در خشکسالی‌های اخیر دشت سیستان، باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بیرجند.
- سایت اینترنتی www.cdc.noaa.gov نقشه‌های هوا از ۲۰۰۸-۱۹۹۹.
- سلیقه م. ۱۳۸۲، توجه به باد در ساخت کالبد فیزیکی شهر زابل، مجله‌ی جغرافیا و توسعه، شماره ۲، صص. ۱۰۹-۱۲۱.
- هادربادی غ. ۱۳۷۹، پیش‌بینی سرعت و جهت بادهای فرساینده (مطالعه موردی: زابل)، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.
- یارنال ب. ۱۳۸۵، اقلیم‌شناسی همدید و کاربرد آن در مطالعات محیطی، ترجمه‌ی سید ابوالفضل مسعودیان، انتشارات دانشگاه اصفهان.
- Dayan U., Koch J., 2007, **A Synoptic Analysis of the Meteorological Conditions Affecting Dispersion of Pollutants Emitted from Tallstacksin the Coastal Plain of Israel**, Atmospheric Environment, Part A., General Topics, Vol. 26, No. 14, PP. 2537-2543.
- Engelstadler S., 2001, **Dust Storm Frequencies and Their Relationships to Hand Surface Conditions**, Freidrich- Schiller University, Press Jena, Germany.
- Goudie A.S., Middleton N.J., 2006, **Desert Dust in the Global System**, Springer, Germany.
- Hamish A., Grant M., Tanish A., 2001, **Interregional Transport of Australian Dust Storms**, Soil Erosion Research for the 21th Century.
- Kutiel H., Alpert P., 2003, **Synoptics of Dust Transportation Days from Africa toward Their Temporal Characteristics**, University of Haifa.
- NOAA, National Center for Environmental Prediction (NCEP)- National Center for Atmospheric Research (NCAR), 2012, Available: www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.pressure.html.
- Orlovsky L., 1962, **Dust storm in Turkmenistan**, Journal of Arid Environments, Vol. 1, PP. 83-97.
- Saronni H., Ziv B., Bitan A & Alpert P., 1998, **Easterly Wind Storms Over Israel**, Theoretical and Applied Climatology, Vol. 59, PP. 57-61.
- Wang W., 2005, **A Synoptic Model on East Asian Dust Emission and Transport**, Atmospheric Science and Air Quality Conferences Beijing, China, P. 13.
- Weihong Q and Shaoyinshi, 2001, **Variations of the Dust Storm in China and its Climate Control**, Journal of Climate, Vol. 15, PP. 12-16.