

پدیده برف دریاچه‌ای

ترجمه و تدوین: دکتر فرامرز خوش اخلاق، استادیار دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران
نیما فریدمجتهدی، کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، اداره کلی هواشناسی استان گیلان

چکیده

کلی آب‌وهوایی که دریاچه با آن مواجه است، تغییر می‌کند. بنابراین، دریاچه‌های بزرگ و عمیق، تغییرات بیشتری را، نسبت به دریاچه‌های کم‌عمق و کوچک، بر محیط اطراف خود اعمال می‌کنند.
آثار دریاچه‌ها در پیرایش^۱ هوای لایه مرزی از راه‌های زیر انجام می‌گیرد:

۱. تأخیر گرمایی سطح دریاچه در مقایسه با خشکی‌های مجاور؛
 ۲. اختلاف در ظرفیت‌های رطوبتی محیط دریاچه در مقایسه با نواحی اطراف؛
 ۳. پیرایش و تغییر رژیم بادهای توسط دریاچه در نتیجه تضاد با سطح ناصاف [۱].
- یکی از تأثیرات ویژه دریاچه‌ها بر شرایط جوی و آب‌وهوایی که در برخی از نواحی جهان در داخل خشکی‌ها دیده می‌شود، پدیده برف دریاچه‌ای (برف اثر دریاچه^۲) است که این نوشتار سعی در توضیح سازوکار آن دارد.

دریاچه‌های درون‌قاره‌ای موجود در عرض‌های جغرافیایی میانی تا قطبی همواره در شرایط جوی محلی مناطق حاشیه خود آثار گوناگونی را بر جای می‌گذارند. یکی از این آثار، پدیده برف دریاچه‌ای است که در فصول سرد سال سبب ریزش قابل توجه از برف در سواحل بادپناهی این دریاچه‌ها می‌شود. اختلاف دمای سطح گرم دریاچه و هوای سرد در حال گذر از روی آن و نیز طول مسیر گذر جریان هوا، از عوامل مهم و کلیدی در رخداد برف دریاچه‌ای است، به‌طوری‌که هر اندازه اختلاف دمای فوق بیشتر و هوا سردتر باشد، در اثر قائم ایجاد شده، شارش گرما و رطوبت شدیدتر و هرچه مسیر گذر طولانی‌تر باشد، احتمال ریزش برف سنگین نیز بیشتر خواهد شد. در برف‌های سنگین کرانه جنوبی دریای خزر، سازوکار پیش گفته همواره مشهود است.

کلیدواژه‌ها: برف دریاچه‌ای، دمای سطح دریاچه، فرارفت هوای سرد، طول مسیر گذر

مقدمه

۱. مفهوم برف دریاچه‌ای
در طول فصول پاییز و زمستان در بسیاری از نواحی شرق ایالات متحده و کانادا حجم عظیمی از برف ریزش می‌کند. این برف که به سبب تأثیر دریاچه‌ها به وجود می‌آید، از اختلاف دما بین هوای سرد قطبی عبورکننده از روی آب نسبتاً گرم پنج دریاچه بزرگ^۳ تولید می‌شود. برخلاف بیشتر توفان‌های برف، برف دریاچه‌ای در اثر کم‌فشارهای قوی ایجاد نمی‌شود، بلکه در اثر گذر هوای خشک قطبی (که مسبب ایجاد هوای صاف و پایدار روی قاره‌هاست) به وجود می‌آید. این هوای سرد (قطبی) هنگام عبور از روی دریاچه‌های بزرگ رطوبت را می‌گیرد و آن را به صورت برف در کرانه‌های جریان‌سوی^۴ باد

عوامل جغرافیایی نقش مهمی در شکل‌گیری آب‌وهوای مناطق مختلف دارند به‌طوری‌که آثار آن در تمام سیماهای زنده و غیرزنده محیط جغرافیایی مشهود است. عوامل جغرافیایی به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در افزایش یا کاهش شدت پدیده‌های آب‌وهوایی مؤثرند. یکی از این عوامل، دریاچه‌ها یا پهنه‌های بسته آبی کوچک تا متوسط درون قاره‌هاست که آثار گوناگونی بر شرایط جوی اطراف خود دارند و از دیرباز شناخته شده‌اند.

اثر دریاچه بر آب‌وهوا، از مقیاس خرد تا هم‌دیدي را در بر می‌گیرد و با توجه به وسعت، عمق و شکل دریاچه، سرعت و جهت بادهای، وجود پوشش یخ زمستانی و شرایط

در طول فصول پاییز و زمستان در بسیاری از نواحی شرق ایالات متحده و کانادا حجم عظیمی از برف ریزش می‌کند. این برف که به سبب تأثیر دریاچه‌ها به وجود می‌آید، از اختلاف دما بین هوای سرد قطبی عبورکننده از روی آب نسبتاً گرم پنج دریاچه بزرگ تولید می‌شود

۳. وردش^۶ برف دریاچه‌ای

به عنوان یک قاعده کلی، برف دریاچه‌ای برحسب زمان، مکان و شدت، دچار وردش می‌شود که این وردایی^۷ برای امور ترابری به ویژه ترابری جاده‌ای مشکل ساز است. وردایی‌های برف دریاچه‌ای و پیامدهای آن ممکن است به صورت زیر دیده شوند:

الف. زمان: خیلی عجیب نیست که در یک جایگاه جغرافیایی^۸ معین، آسمان آفتابی در اثر بوران حاصل از برف دریاچه‌ای در فاصله زمانی کوتاهی تیره و تار شود.

ب. فضا: موقعیت اصلی ریزش برف، به جهت باد و نیز به مناطق مستقر در جریان‌سوی بزرگ‌ترین پهنه و امتداد دریاچه، که همواره با بیشترین برف مواجه‌اند، بستگی دارد. بنابراین برف دریاچه‌ای پدیده‌ای محلی و در برگیرنده موقعیت‌های اندکی است که از چندین اینچ تا بیش از یک فوت برف را دریافت می‌کنند.

ج. شدت: برف دریاچه‌ای می‌تواند از یک نوار برف شدید یا چندین نوار برف خفیف شکل گیرد. همچنین منطقه رگبار شدید برف سنگین ممکن است برای چندین ساعت در یک ناحیه کوچک تداوم داشته باشد و سپس با تغییر جهت باد جابه‌جا شود و برف بر روی نواحی دیگر نیز ریزش کند.

۴. متغیرهای سهم در برف دریاچه‌ای

توزیع برف دریاچه‌ای به عناصر و عوامل گوناگونی وابسته است که تعدادی از آنها با وضعیت‌های جوی غالب همراه‌اند، در حالی که موارد دیگر به عملکرد عوامل جغرافیایی در نواحی مجاور دریاچه بستگی دارند.

۱. عناصر و عوامل جوی

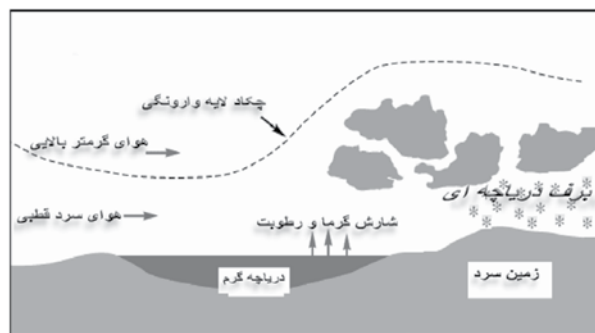
الف. اختلاف بین دمای سطح دریاچه و هوای روی آن:

این ویژگی سبب واداشت ناپایداری همرفتی می‌شود و چشمه اولیه انرژی برای تولید برف دریاچه‌ای است. دمای هوا باید ۱۵ تا ۲۵ درجه سلسیوس سردتر از سطح دریاچه و اختلاف دمای نقطه شبنم تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال با دمای تراز متوسط دریا باید حداقل ۱۳ درجه سلسیوس باشد. به طور کلی هرچه اختلاف دما بین هوا (فرارفت سرد) و آب (سطح گرم) بیشتر باشد، سبب ریزش برف سنگین‌تری خواهد شد. اگر اختلاف دما خیلی

برجای می‌گذارد. بنابراین در حالی که دیگر قسمت‌های شمال شرق ایالات متحده بعد از عبور یک جبهه سرد دارای هوای صاف هستند، مردم حاشیه دریاچه‌های بزرگ فوق منتظرند تا سامانه تولید برف دریاچه‌ای به کار افتد. نوارهای ابری مربوط به برف دریاچه‌ای، به طور قابل ملاحظه‌ای ماندگارند و به عنوان عامل تداوم ریزش برف برای یک دوره ۴۸ ساعته و با حجمی که گاهی از یک توفان عادی زمستانه تجاوز می‌کند (زمانی که با یک کم‌فشار همراه می‌شود) شناخته می‌شوند. میزان بارش برف دریاچه‌ای تا حدود ۱۹۳ سانتی‌متر در ۲۴ ساعت با شدت بارشی بیش از ۱۵ سانتی‌متر در ساعت گزارش شده است. گذشته از این، چون بادهای همراه توده هوای قطبی عموماً از جهت جنوب غرب تا شمال غرب می‌وزند، برف دریاچه‌ای اغلب بر روی کرانه‌های شرقی تا جنوب شرقی دریاچه‌ها ریزش می‌کند. به طور کلی، برف دریاچه‌ای ۳۰ تا ۶۰ درصد ریزش برف سالانه روی سواحل شرقی و جنوب شرقی دریاچه‌های بزرگ ایالات متحده را تشکیل می‌دهد.

۲. سازوکارهای ایجاد برف دریاچه‌ای

در اواخر پاییز و اوایل زمستان، آب دریاچه‌های بزرگ پنج‌گانه آمریکای شمالی نسبت به هوای سرد و خشک قطبی که از شمال و شمال غرب جریان می‌یابد، همواره گرم‌تر است و هنگامی که این هوای سرد از روی دریاچه‌ها عبور می‌کند، از طریق سطح آب و لایه مرزی مجاور آن رطوبت و گرما را به دست می‌آورد و ناپایدار می‌شود. از این رو در ادامه مسیر روی دریاچه به صورت ناپایداری همرفتی فرازش^۹ می‌یابد. در خلال این فرازش، هوا سرد می‌شود و رطوبت آن به صورت ابر در قالب قطرات ریز آب یا بلورهای ریز یخ تراکم می‌یابد. بسته به درجه ناپایداری هوا که از میزان گرمای سطح دریاچه ناشی می‌شود، نوارهای ابرهای پوششی و فراز کومه‌ای یا کومه‌ای متراکم روی دریاچه شکل می‌گیرند و در جهت باد به سمت درون کرانه‌ها کشیده می‌شوند. وقتی که رطوبت به اندازه کافی متراکم شود، اغلب به شکل برف روی آب و کرانه بادگیر دریاچه‌ها ریزش می‌کند (شکل ۱).



شکل ۱: طرح ساده سازوکار برف دریاچه‌ای

زیاد باشد، هوای در حال فرازش نیروی شناوری و حرکت قائم^۹ لازم برای پایداری و تداوم توفان برف را خواهد داشت.

ب. سرعت و جهت باد: برای فرارفت دادن هوای قطبی روی دریاچه و انتقال مقدار لازم گرما و رطوبت به سوی ساحل، وجود سرعت مناسب باد ضروری است. افزایش سرعت باد همچنین، شارهای آمیختگی قائم مورد نیاز برای برف دریاچه‌ای را تشدید می‌کند. در کل، کمینه سرعت باد حدود ۵ متر در ثانیه برای شکل‌گیری برف دریاچه‌ای و گسترش آن روی خشکی مورد نیاز است که در غیر این صورت، برف حاصل روی دریاچه یا در امتداد خط ساحل ریزش می‌کند. جهت باد سطحی محلی، مکانی را که برف دریاچه‌ای آغاز به ریزش می‌کند و نیز سواحل بادپناه دریاچه را که بیشترین برف را دریافت می‌کند، تعیین خواهد کرد. جهت باد همچنین، مسیر گذر^{۱۰} هوا را نشان می‌دهد که در ادامه، بیشتر توضیح داده خواهد شد.

ج. پایداری: پایداری در عمقی که آمیختگی و همرفت رخ می‌دهد مؤثر است. آمیختگی ژرف‌تر به همرفت ژرف‌تر و شدیدتر منتهی می‌شود، که این حالت به افزایش برف دریاچه‌ای می‌انجامد. پایداری همچنین، نقش مهمی در تعیین ساختار نوارهای ابری دارد.

د. گرمای نهان: گرمای نهان آزاد شده از میعان (شکل‌گیری ابر) چشمه انرژی اضافی برای ناپایداری همرفتی و به دنبال آن رخداد برف دریاچه‌ای (که از ورودی‌های مهم گرما به لایه آمیخته به حساب می‌آید) است.

ه. نم نسبی: میزان نم نسبی هوای پادجریان سو^{۱۱} نقش اساسی در مقدار رطوبت مورد نیاز برای اشباع و تراکم هوا دارد. به‌طور کلی، توده‌های قطبی خشک که برف دریاچه‌ای را ایجاد می‌کنند برای اشباع به زمان استقرار بیشتری روی آب نیاز دارند و از این رو طول مسیر گذر جریان هوا از روی دریاچه در ازدیاد میزان رطوبت و افزایش احتمال برف دریاچه‌ای بسیار مؤثر است.

۴.۲. شرایط محیط جغرافیایی

الف. گستره پوشش یخ: برای شکل‌گیری برف دریاچه‌ای، سطح دریاچه باید بدون یخ و دمای کمینه آن صفر درجه سلسیوس باشد. وقتی که سطح زیادی از دریاچه پوشیده از یخ باشد، کاهش‌های قابل توجهی در میزان تبخیر و انتقال گرما و رطوبت به هوا رخ می‌دهد. از آنجا که دریاچه‌های بزرگ آمریکا از جمله بزرگ‌ترین پیکره‌های آبی غیراقیانوسی در جهان هستند، دمای سطح آن‌ها در تمام پاییز و حتی اوایل زمستان، بالای نقطه انجماد باقی می‌ماند.

ب. مسیر گذر: قبل از شکل‌گیری برف دریاچه‌ای، باد باید حداقل از مسیری حدود ۸۰ کیلومتر از روی سطح دریاچه عبور کرده باشد. در صورتی که این مسیر طولانی‌تر باشد، احتمال بیشتری برای رخداد برف دریاچه‌ای وجود خواهد داشت.

۴.۳. ویژگی‌های خط ساحلی

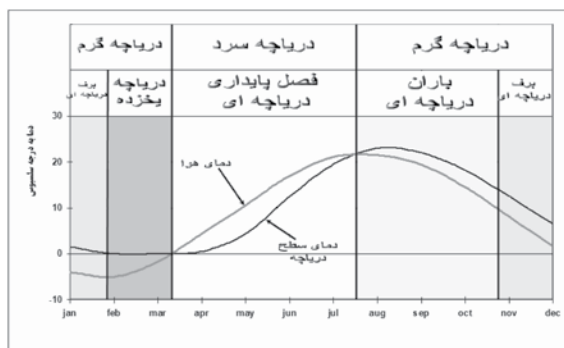
الف. درجه ناهمواری (زبری و اصطکاک): افزایش درجه ناهمواری سطحی در خشکی، سرعت جریانی را که از دریاچه می‌وزد خواهد کاست و هم‌گرایی و فرازش قائم مؤثر هوا را که در رخداد برف دریاچه‌ای ضروری است، افزایش خواهد داد.

ب. فرازش واداشته^{۱۲} (اجباری): اگر در جریان‌سوی دریاچه کوهستان و پستی و بلندی وجود داشته باشد، شارش فراشیب، اثر دریاچه را افزایش می‌دهد و از طریق فرازش واداشته، هوای گرم و مرطوب را به‌سرعت وادار به فرازش، چگالش و شکل‌گیری برف می‌کند.

۵. دریاچه: نمونه نوعی از تأثیرگذاری دریاچه‌ای

دریاچه ابری از دریاچه‌های پنج‌گانه ایالات متحده، تقریباً در همه فصول سال در شرایط جوی مناطق اطراف تأثیر دارد، ولی اصولاً دو فصل مشخص اثر دریاچه‌ای به شرح زیر در آن مشاهده می‌شود:

الف. فصل پایدار: به‌عنوان دوره‌ای از سال که دمای دریاچه سردتر از دمای هوای روی آن است شناخته می‌شود و همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده، این دوره تقریباً از اوایل مارس تا اواخر ژوئیه طول می‌کشد. در این دوره، آب سردتر دریاچه به‌عنوان عامل پایدارکننده از رشد ابرها جلوگیری می‌کند و از شدت سامانه‌های همرفتی مثل توفان‌های تندری می‌کاهد.



شکل ۲: نمودار تغییرات میانگین دمای آب دریاچه و دمای هوا در منطقه بوفالو در طول سال [۴]

ب. فصل ناپایدار: فصل ناپایدار بخشی از سال است که به‌عنوان دوره "اثر دریاچه" شناخته می‌شود. در اواخر تابستان دمای دریاچه گرم‌تر از دمای هوای روی آن به‌ویژه در شب است. در اواخر ماه اوت اغلب بارش‌های شبانه به علت تأثیر دریاچه است. چنانچه سرد شدن دمای هوا در اوایل پاییز ادامه یابد، پدیده رگبار دریاچه‌ای^{۱۳} رخ خواهد داد که سازوکار آن مشابه برف دریاچه‌ای است و حجم زیادی از بارش‌های محلی

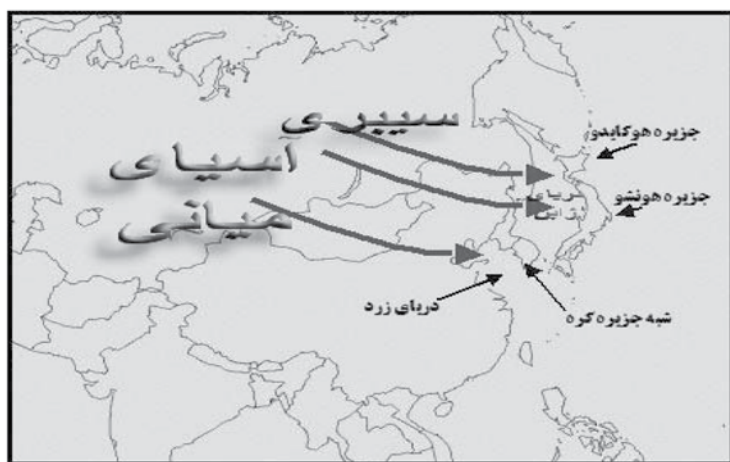
سواحل شرقی خلیج هودسون^{۳۱} خلیج سنت لورنس^{۳۲} نیز رخ می‌دهد (شکل ۵). در حقیقت هر دریاچه بزرگ در عرض‌های میانی و کناره شمالی منطقه جنوب‌حاره و نیز عرض‌های جنوب‌قطبی می‌تواند برف دریاچه‌ای را تولید کند، به شرطی که سطح آن لزوماً بدون یخ باقی بماند و شارش هوای سرد در مسافت زیادی روی آب نسبتاً گرم آن برقرار شود. با توجه به این موضوع، شواهدی از وقوع این پدیده در دریای سیاه^{۳۳} و دریای خزر نیز وجود دارد که سبب رخداد برف‌های سنگین در مناطق جنوبی این دریاها می‌شود. برای مثال، بارش برف‌های سنگین رخ داده در فوریه ۲۰۰۵ و ژانویه ۲۰۰۸ در سواحل

را موجب می‌شود. در نهایت، در اواخر اکتبر، سرمایش کافی هوا به آغاز فصل برف دریاچه‌ای می‌انجامد. روی دریاچه‌های نسبتاً کم‌عمق مثل دریاچه ابری که پوشش عمده‌ای از یخ با آغاز و پیشروی زمستان در آن گسترش می‌یابد، در انتهای ژانویه یخ‌زدن سطح دریاچه از شدت رخداد برف دریاچه‌ای می‌کاهد، در صورتی که در دریاچه ژرف‌تر مثل اونتاریو^{۳۴}، یکی دیگر از این دریاچه‌ها در مرز کانادا و ایالات متحده، که پوشش وسیع یخ به‌ندرت در آن دیده می‌شود، معمولاً برف دریاچه‌ای در سراسر زمستان مشاهده می‌شود (شکل ۲).

۶. توزیع جغرافیایی پدیده برف دریاچه‌ای

برف دریاچه‌ای در ناحیه دریاچه‌های پنج‌گانه ایالات متحده
بسیار مشاهده می‌شود، زیرا این دریاچه‌ها بزرگ‌ترین پهنه آبی هستند که می‌توانند گرمای تابستانه‌شان را تقریباً در تمام فصل زمستان نگه دارند. همچنین نبود یخ در سطح آن‌ها، اجازه می‌دهد جریان هوا، مسیر گذر طولانی برای به‌دست آوردن گرما و رطوبت مورد نیاز برای تولید رگبار برف را داشته باشد. هرچند برف دریاچه‌ای به سواحل دریاچه‌های بزرگ برای مثال سواحل بوفالو^{۳۵}، سیراکیوز^{۳۶}، روچستر^{۳۷}، ایری، ماسکه گون^{۳۸}، ساث بند^{۳۹} محدود نمی‌شود، اما بیشترین فراوانی رخداد و سنگین‌ترین آن‌ها مربوط به این مناطق است [۱۳]، [۱۱]، [۳]، [۲] و [۱۲].

هواشناسان ژاپنی مطالعات زیادی روی برف‌های همرفتی که روی دریای ژاپن گسترش یافته و سواحل غربی جزایر هونشو^{۴۰} و هوکایدو^{۴۱} را متأثر کرده، داشته‌اند (شکل ۳). سه عامل عمده‌ای که مسبب این نوع برف‌ها هستند عبارت‌اند از: هوای قطبی که از روی نواحی قاره‌ای سیبری می‌وزد، آب گرم دریای ژاپن و ارتفاعات بلند سواحل غربی و جزایر آن. نکته جالب توجه این است که حالت مشابهی از این رخداد از روی دریای زرد در سراسر بخش‌هایی از شبه جزیره کره گزارش شده است (شکل ۳). هوای سرد قطبی که از پرفشار وسیع سیبری می‌وزد، برف دریاچه‌ای را در آن جایگاه تولید می‌کند (شکل ۴). در ایالات متحده برف دریاچه‌ای تنها در دریاچه‌های بزرگ رخ نمی‌دهد، بلکه در دیگر نواحی این کشور برای مثال سراسر کیپ‌کاد^{۴۲} در سواحل نیوانگلند نیز رایج است که طی آن، یک پرفشار گرمایی وسیع که روی ایالت کبک کانادا قرار گرفته، در مسیری از شمال‌شرق به شرق، هوای سرد قطبی را از روی اقیانوس و نیز از روی آب‌های گرم گلف استریم به منطقه مذکور فرارفت می‌دهد. اگرچه کاملاً عمومیت ندارد، ولی به همین شیوه وقتی که بادهای شرقی به‌طرف لانگ آیلند^{۴۳} یا بادهای جنوب‌شرقی به‌طرف خلیج چسپیک^{۴۴} همسو می‌شوند همین گونه برف ریزش می‌کند. در نهایت، برف دریاچه‌ای اغلب روی دریاچه بزرگ نمک^{۴۵} در ایالت یوتا،



شکل ۳: جایگاه و سازوکار ساده‌شده رخداد برف دریاچه‌ای در منطقه کره و ژاپن [۱۳]



شکل ۴: جایگاه و سازوکار ساده‌شده برف دریاچه‌ای در اسکاتلندی و خلیج فنلاند [۲]

10. Fetch
11. Upstream
12. Mechanical Ascending
13. Lake effect shower (Storm)
14. Ontario
15. Buffalo
16. Syracuse
17. Rochester
18. Muskegon
19. South Bend
25. Honshu
26. Hokkaido
27. Cape Cod
28. Long island sound
29. Chesapeake bay
30. Great Salt Lake
31. Hudson bay
32. Gulf of St. Lawrence



شکل ۵: جایگاه و سازوکار ساده شده برف دریاچه‌ای در مناطق مختلف آمریکای شمالی [۲]

منابع

۱. محمدی، حسین (۱۳۸۴)، مفاهیم و اصطلاحات آب‌وهواشناسی، تهران: دانشگاه تهران.
2. Blosenga, S.J. and et al, (1992), "Maximum Snowfall at Long-Term Stations in the U.S/Canadian Great Lakes", Natural Hazard, vol 5, Number 3, pp: 221-232.
3. Ellis, Andrew and et al, (1996), "A Synoptic Climatological Approach to the Analysis of Lake-Effect Snowfall: Potential Forecasting Applications", Weather Forecasting, Vol 11, Issue 2, pp: 216-229.
4. <http://www.erh.noaa.gov/er/buf/lakeeffect/indexlk.html>
5. http://en.wikipedia.org/wiki/Lake_effect
6. <http://nsidc.org/snow/faq.html>
7. <http://www.magazine.noaa.gov/stories/mag222.htm>
8. <http://www.NOAA Home Page - Question of the Month.htm>
9. Kidnap, T and et al, (2006), "The Black Sea Impact on the Serve Snow Episode over the City of Istanbul", Geophysical Research Abstracts, vol 8, European Geosciences Union.
10. L. Eichenlaub, Val, (1970), "Lake Effect Snowfall to the Lee of the Great Lakes, Its Role in Michigan", vol 51, Issue 5, Bulletin of the American Meteorology Society, pp: 403-412.
11. Peaace JR., R.L. and et al, (1986), "Mesoscale Study of a Lake Effect Snow Storm", Monthly Weather Review, vol 99, Number8, pp: 495-507.
12. Pretty, B and Konrad, Charles E, (2005), "The Influence of the Great Lakes on Snowfall Patterns in the Southern Appalachians", 62nd Eastern Snow Conference, Waterloo on Canada.
13. Richards, T.L. and et al, (1963), "The Role of Lake Effect Storms in the Distribution of Snowfall in Southern Ontario", 20th Meeting of Eastern Snow Conference Quebec City, Canada



شکل ۶: وضعیت گذرگاه‌های عمومی شهر رشت بعد از رخداد برف سنگین بهمن ۱۳۸۳

جنوب غربی دریای خزر، نمونه‌ای از برف دریاچه‌ای است که باعث بروز بحران چندین روزه در استان گیلان شد (شکل ۶).

پی‌نوشت‌ها

1. Modification
2. Lake effect snow
3. Great lakes: Ontario, Erie, Huron, Michigan and Superior
4. Downstream
5. Ascending – Lifting – Upward Motion
6. Variation
7. Variability
8. Geographical Location
9. Vertical Motion