اشاره

ابرها یکی از مهم‌ترین پدیده‌های جوی به‌حساب می‌آیند. این پدیده‌ها خود ماحصلِ اندرکنشِ بسیاری از پراسنج‌ها و فرایندهای فیزیکی و دینامیکی در جو هستند. بااین‌حال، ابرها به دلیل اینکه یکی از پدیده‌های عینی و قابل مشاهدهٔ جو به‌شمار می‌آیند، هم می‌توانند شرایط منتهی به فرایند شکل‌گیری خود را بازگو کنند و هم با توجه به نحوهٔ رفتار، می‌توانند شرایط جوی پیش رو را نشان دهند. علی‌رغم طبقه‌بندی‌های موجود در زمینهٔ ابرها، برخی از ابرها با توجه به شرایط خاص شکل‌گیری به نحوی متمایز عمل می‌کنند. اهمیت این‌گونه پدیده‌ها علاوه‌بر ارزش‌های علمی، کمکی شایان به کارشناسان پیش‌بینی در زمینهٔ پیش‌آگاهی رخداد برخی از پدیده‌های جوی است. دریای کاسپین (دریاچه) بزرگ‌ترین پهنهٔ آبی داخلی جهان به حساب می‌آید. اهمیت این مسئله ورای مسائل صرف جغرافیایی در سامانهٔ آب‌وهوایی منطقه مؤثر است. در زمینهٔ تأثیر شرایط آب‌وهوایی این دریا مطالعاتی صورت پذیرفته است، ازجمله نقش کاسپین در شار رطوبت و دما برای سامانه‌های گذری. ولی با این حال، شناخت مستقل و کافی در زمینهٔ شرایط آب‌وهوایی این واحد جغرافیایی به همراه تأثیرهای آن بر جو مناطق پیرامونی وجود ندارد. یکی از پدیده‌هایی که دریای کاسپین در رخداد آن مؤثر است، پدیدهٔ برف دریاچه‌ای است. در چند سال اخیر مطالعه‌های نسبتاً مناسبی در زمینهٔ شناسایی و معرفی این پدیده در حاشیهٔ جنوبی این دریا و نقش آن در رخداد برف‌های سنگین شده است. با این حال، کمبود ابزارهای سنجش، مطالعه‌های پیرامون شرایط آب‌وهوایی دریای کاسپین را متأثر می‌کند. یکی از پدیده‌های جوی که حاصل اندرکنش زیرسامانه‌های هواکره، سنگ‌کره و آب‌کره به‌شمار می‌آید، خیابان‌های ابر است. در این مقاله ابتدا برای اولین بار این پدیدهٔ آب‌وهوایی برای مخاطبان فارسی‌زبان معرفی می‌شود، سپس با استفاده از خروجی‌های سنجش از دور، جنبهٔ کاربردی اهمیت شناسایی این پدیده در پیش‌بینی برف‌های سنگین در کرانهٔ جنوبی دریای کاسپین تشریح می‌شود.

کلیدواژه‌ها: ابر، خیابان ابر، تشکیل ابر، برف دریاچه‌ای، هواشناسی

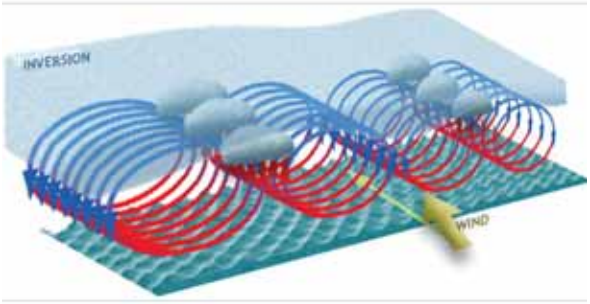
دکتر سمانه نگاه،
دکتری هواشناسی
نیما فریدمجتهدی،
کارشناسی ارشد آب‌وهواشناسی

خیابان‌های ابر

خیابان‌های ابر

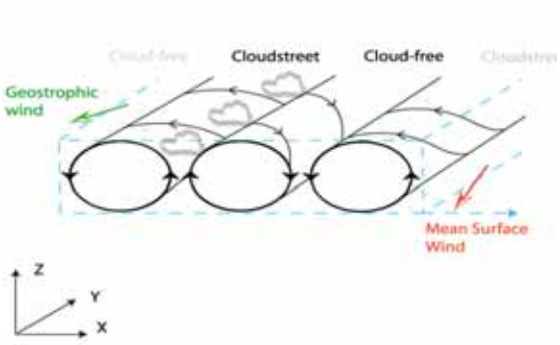
خیابان‌های ابر (Cloud Streets) یا CSها ردیف‌های طولانی از ابرهای کومولوسی موازی با جهت باد روی سطوح صاف مانند اقیانوس‌ها هستند. این ابرها به‌وسیلهٔ رول‌های همرفتی از هوای گرم صعودکننده و هوای سردِ نزول‌کننده شکل می‌گیرند. هوای گرم صعودی رفته‌رفته درحالی‌که به درون جو صعود می‌کند، سرد می‌شود، درحالی‌که هوای سرد در طرف دیگر شکل‌گیری ابر، منطقه‌ای بدون ابر ایجاد می‌کند. به همراه باد، این ابرها توسعه می‌یابند. به‌طور تکنیکی خیابان‌های ابر، رول‌های همرفتی افقی نامیده می‌شوند. در آغاز شکل‌گیری، ابرهای کومولوسی با ضخامت کم در لایهٔ سطحی هستند که تحت‌تأثیر بادهای سطوح پایین گسترش‌یافته و در حین گسترش، ضخامت آن‌ها افزایش می‌یابد. سازوکار شکل‌گیری آن‌ها را می‌توان به‌صورت زیر تشریح کرد:

۱. در موارد زیادی CSها را می‌توان در مقیاس همدید زمانی مشاهده کرد، وقتی که هوای خشک و سرد قاره‌ای از روی اقیانوس‌ها و پهنه‌های آبی نسبتاً گرم عبور کند. این شارش اغلب پشتِ یک جبههٔ سرد اتفاق می‌افتد. زمانی که هوای سرد، خشکی یا سطوح یخی را ترک می‌کند، به‌وسیلهٔ انتقال قائم، گرما و رطوبت از پهنهٔ آبی زیرین تغییر ماهیت می‌دهد. وارونگی از آغاز صعود هوا با فاصله از ساحل شکل می‌گیرد. انتقال تودهٔ هوا سرانجام به شکل‌گیری ابرها می‌انجامد که تحت موقعیت معینی شکلِ خیابان‌هایی از ابر را به خود می‌گیرند و تقریباً به موازات جهت باد توسعه می‌یابند.



شکل ۱: تصویر نمادین از نحوهٔ شکل‌گیری خیابان‌های ابر

۲. تشکیل ابرها در ردیف‌ها را می‌توان توسط وجود تاوایی چرخشی افقی در لایهٔ مرزی تشریح کرد. ابرها در بخش‌های بالاسوی این سیستم‌های رول‌شکل، تشکیل می‌شوند. شکل‌گیری این ابرها با دو نوع ناپایداری توسعه پیدا می‌کند: ناپایداری دینامیکی (چرخش) و ناپایداری ترمودینامیکی که به‌طور مستقل ممکن است عمل کنند اما به‌سختی در شارش واقعی قابلِ تمیز دادن هستند. ناپایداری انحنایی (چرخشی) به‌وسیلهٔ یک نقطهٔ انحنای مؤلفهٔ سرعت باد، عمود بر سیستم چرخش ایجاد می‌شود. این نقطهٔ انحنا با ترکیبی از چینش جریان لایهٔ اِکمن و فرارفت سرد اتفاق می‌افتد. درنتیجه اصطکاک، بادها در پایین‌ترین لایه‌ها با ارتفاع تغییر جهت می‌دهند. اصطکاک با افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد و بنابراین باد، به دلیل فرارفت سرد که توضیح داده شد، تمایل دارد دوباره برگردد. به‌دنبال این انحراف بردار باد، در پایین‌ترین لایه، سیستم چرخش (رول) توسعه می‌یابد.

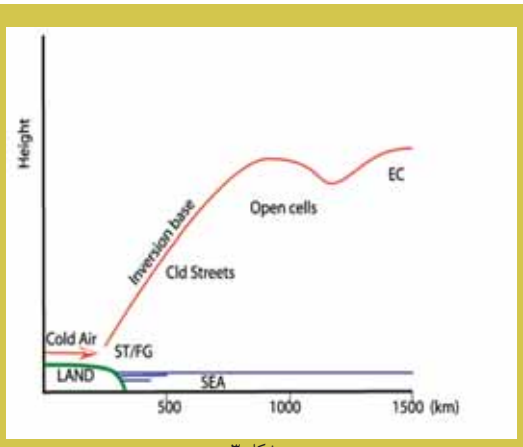


شکل ۲: نمای سه‌بعدی از شرایط دینامیکی و فیزیکی شکل‌گیری خیابان‌های ابر

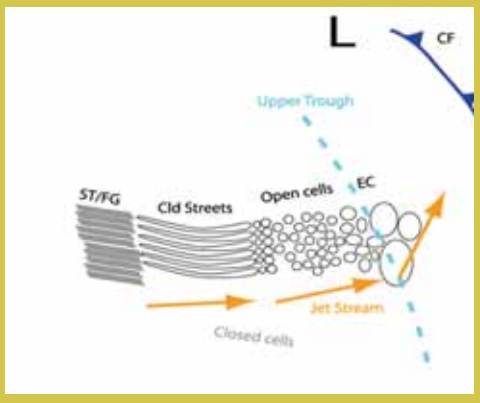
شکل ۳: تصویر واقعی گسترش خیابان ابر روی پهنه‌های اقیانوسی

۳. ناپایداری نقطهٔ انحنا می‌تواند در چینه‌بندی خنثی و حتی به‌ندرتِ چینه‌بندی پایدار گسترش یابد. با این‌حال، خیابان‌های ابر معمولاً تحت شرایط چینه‌بندی ناپایدار اتفاق می‌افتند که به‌وسیلهٔ یک لایهٔ پایدار در بالای آن محدود می‌شوند. این ناپایداری معمولاً زمانی ایجاد می‌شود که هوای سرد روی یک سطح نسبتاً گرم شارش کند. بنابراین بسیار محتمل است که دو نوع ناپایداری با هم عمل کنند و به توسعهٔ رول‌تاوه[1] و شکل‌گیری خیابان ابر بینجامند. براون (۱۹۷۲) دریافت که رول‌تاوه تحت چینه‌بندی ناپایدار و ناپایداری چرخشی (دینامیکی) به‌وسیلهٔ ناپایداری دمایی تقویت می‌شود. اینکه ناپایداری چرخشی (دینامیکی) یا ناپایداری دمایی کدام‌یک در شکل‌گیری خیابان ابر غالب‌اند، هنوز موردبحث است.

۴. در طی مسیر پیش‌روی بیشتر باد، لایهٔ ناپایدار عمیق‌تر و شارش چرخشی‌تر می‌شود و خیابان‌ها به‌صورت سلول‌های باز سه‌بعدی توسعه می‌یابند. نزدیک ناوه‌های سطوح بالا، همرفت به وسیلهٔ فرارفت تاوایی مثبت تقویت می‌شود و در نتیجه کومولوس رشدیافته (En-hanced Cumulus) شکل می‌گیرد.



شکل ۳



شکل ۴: بالا: نمودار تغییرات ارتفاع ابر در طی گسترش افقی/ پایین: نحوهٔ تغییرات نوع ابر در حین شکل‌گیری و گسترش خیابان‌های ابر

شکل ۵: تصویر ماهواره‌ای از خیابان‌های ابری روی دریای برینگ، ۲۰ ژانویهٔ ۲۰۰۶

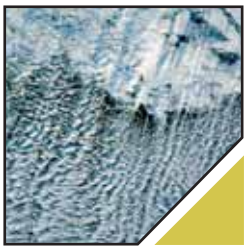
شکل ۶: تصویر ماهواره‌ای از خیابان‌های ابر روی دریای سیاه، ۸ ژانویهٔ ۲۰۱۵

برف دریاچه‌ای[۲]

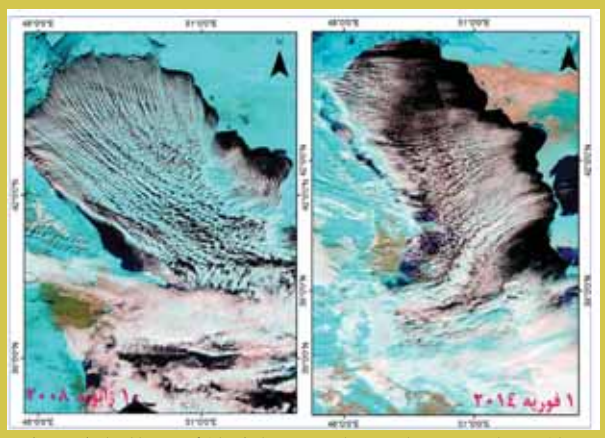
یکی از پدیده‌های متأثر از دریاچه‌ها، پدیده «برف دریاچه‌ای» است. این پدیده یکی از دلایل شکل‌گیری برف، علاوه بر واداشت کوهستانی، فعالیت جبهه‌ای و همگرایی است (دواله و همکاران، ۲۰۰۸:۲۳). هوای سرد از روی دریاچه‌ها عبور می‌کند، از طریق سطح آب و لایهٔ مرزی مجاور آن رطوبت و گرما را به‌دست می‌آورد و ناپایدار می‌شود و از این‌رو در ادامهٔ مسیر روی دریاچه به‌صورت ناپایداری همرفتی فرازش[۳] می‌یابد. بسته به درجه ناپایداری هوا ناشی از میزان گرمای سطح دریاچه، نوارهای ابرهای پوششی و فراز کومه‌ای یا کومه‌ای متراکم روی دریاچه شکل می‌گیرد و در جهت باد به سمت درون کرانه‌ها کشیده می‌شود. وقتی‌که رطوبت به اندازهٔ کافی متراکم شود، اغلب به شکل برف روی آب و کرانهٔ بادگیر دریاچه‌ها ریزش می‌کند (الیس و همکاران، ۲۰۰۴:۴۷۲). «برف دریاچه‌ای» یکی از مهم‌ترین پدیده‌هایی است که در مناطق مختلف دنیا در محدوده عرض‌های میانی تا مناطق قطبی به‌ویژه در فصول سرد سال شکل می‌گیرد و حاصل برهمکنش میان سیال آب با دمای بالاتر و هوای سرد مجاور آن است. در واقع، این پدیده در نتیجهٔ تبادل شارهای دما و رطوبت میان پهنه‌های آبی گرم و تودهٔ هوای سرد عبوری از روی آن در مجاورت دریاچه‌ها و در بخش رو به باد جریان‌ها در سواحل اتفاق می‌افتد. وجود پهنه آبی کاسپین به‌عنوان بزرگ‌ترین دریاچه جهان با طول ۱۲۰۰ کیلومتر به‌عنوان ذخیره گرما و رطوبت به‌ویژه در فصول سرد سال و عبور توده هوای سرد قطبی و جنب‌قطبی از سمت عرض‌های بالا، شرایط خاصی را در منطقه ایجاد می‌کند تا سامانه‌های آب‌وهوایی عبوری، فارغ از سازوکار دینامیکی حاکم بر آن‌ها، تحت‌تأثیر تزریق گرما و رطوبت و تبادل شارهای سطحی بین دو سیال قرار گیرند (خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۹۵).

خیابان ابری و پیش‌بینی برف سنگین کرانهٔ جنوبی دریای کاسپین

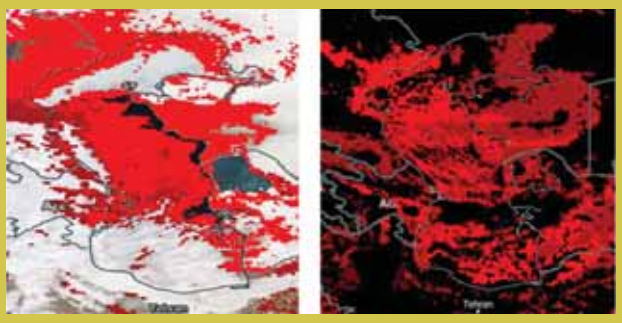
وقوع برف‌های سنگین در کرانه‌های دریای کاسپین از پدیده‌های مخرب آب‌وهوایی به‌شمار می‌آید. پیش‌بینی رخداد این پدیده یکی از دغدغه‌های پیش‌بینی‌های هواشناسی در ایران است. هرچند وجود مدل‌های عددی و نقشه‌های پیش‌یابی کمک مؤثری در شناسایی



«برف دریاچه‌ای» یکی از مهم‌ترین پدیده‌هایی است که در مناطق مختلف دنیا در محدودهٔ عرض‌های میانی تا مناطق قطبی به‌ویژه در فصول سرد سال شکل می‌گیرد و حاصل برهمکنش میان سیال آب با دمای بالاتر و هوای سرد مجاور آن است. در واقع، این پدیده در نتیجهٔ تبادل شارهای دما و رطوبت میان پهنه‌های آبی گرم و تودهٔ هوای سرد عبوری از روی آن در مجاورت دریاچه‌ها و در بخش رو به باد جریان‌ها در سواحل اتفاق می‌افتد



شکل ۷: تصاویر سنجندهٔ مادیس در باند۱-۲-۷ نشان از شکل‌گیری خیابان‌های ابر پیش از بارش برف‌های سنگین گیلان دارد



شکل ۸: تصاویر ارتفاع سقف ابر (در این تصاویر ابرهای دارای ارتفاعی از ۰ تا ۸۰۰ متر نمایش داده شده است که تطابق مناسبی با ارتفاع خیابان‌های ابر دارد)

این پدیده می‌کند، اما با توجه به توضیح‌های ارائه‌شده در این مقاله، با توجه به اینکه شکل‌گیری این ابرها ناشی از فرارفت هوای سردوخشک قطبی روی پهنه‌های آبی قبل از شکل‌گیری ناپایداری در سواحل بادگیر است، شناسایی این ابرها در تصاویر ماهواره‌ای برخط هواشناسی، کمک مؤثری به پیش‌بین‌های مناطق سواحل کرانهٔ جنوبی دریای کاسپین می‌کند. خیابان‌های ابر به‌خوبی در تصاویر ماهواره‌ای شناسایی می‌شوند و به‌عنوان یکی از روش‌های تشخیص فرارفت هوای سرد و شکل‌گیری ناپایداری شدید به‌ویژه در موارد بارش برف سنگین در استان گیلان مؤثرند. همان‌گونه که در تصاویر سنجندهٔ مودیس مشاهده می‌شود، شکل‌گیری این ابرها روی پهنهٔ آبی کاسپین در بارش برف سنگین فوریهٔ ۲۰۰۸، ژانویهٔ ۲۰۰۸، فوریهٔ ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ مبیّن فرارفت هوای سرد از سمت عرض‌های بالا به سواحل جنوبی دریای کاسپین است. این ابرها در کاسپین شمالی کم‌ضخامت و دارای عمق کمتر از ۱۰۰۰ متر هستند، ولی به‌تدریج در طی گسترش به نیمهٔ جنوبی کاسپین رشد عمودی می‌یابند و ضخامت آن‌ها به شکل قابل ملاحظه افزایش می‌یابد و به کومولوس‌های توسعه‌یافته تبدیل می‌شوند.

تجربه نشان داده است که با شروع فرافت هوای سرد، در زمانِ نفوذ سامانه‌های قطبی به منطقه، به‌ویژه سامانه‌هایی که از سوی مناطق قطبی سیبری و شمال اسکاندیناوی به منطقه نزدیک می‌شوند، روی دریای کاسپین، شاهد شکل‌گیری خیابان‌های ابری هستیم. نمونه‌هایی از این ابرها در رخداد برف‌های سنگین گیلان مشاهده شده است. بنابراین، با درک سازوکار شکل‌گیری این ابرها و با توجه به در دسترس بودن داده‌های ماهواره‌ای، به‌ویژه به شکل روزانه، با شناسایی خیابان‌های ابر، علاوه بر دیگر محصولات جو، همچون الگوهای جوی، می‌توان انتظار بارش و برف‌های سنگین را در کرانه‌های جنوبی دریای کاسپین داشت. بنابراین کارشناسان پیش‌بینی می‌توانند از این امکان نیز، در جهت بالا بردن قطعیت وقوع استفاده کنند.

پی‌نوشت‌ها

1. vortex -roll
2. Lake effect snow
3. Ascending - Lifting - Upward Motion

منابع

1. Observaitiens of longitudinal roll vertices durng arctic cold air autbreaks aver open water Robert. A. brown 1972.
2. Dewalle D.R. & Rango A,(2008). *Principles of Snow Hydrology*. Cambridge University Press,pp:1-428.
3. Ellis, A. (1996). "A Synoptic Climatologically Approach to the Analysis of Lake-Effect Snowfall: Potential Forecasting Applications, Weather Forecasting". Vol 11, Issue 2, pp: 216-229.