

جغرافیا و توسعه شماره ۴۳ تابستان ۱۳۹۵

وصول مقاله: ۱۳۹۴/۰۸/۲۸

تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۰۱/۲۱

صفحات: ۱۹۰-۱۷۱

تحلیل همدیدی استخر هوای سرد سطوح فوقانی در ارتباط با شکل‌گیری و یا تشدید بارندگی استان آذربایجان شرقی در دوره‌ی گرم سال

دکتر فرناز پوراصغر^۱، غلامحسین محمدی^۲، مجید سلطانی^۳، دکتر سهیلا جوانمرد^۴، محمد امیدفر^۵

چکیده

در هواشناسی همدیدی استقرار توده هوای سرد در ترازهای میانی و فوقانی جو در اصطلاح علمی سلول هوای سرد و یا استخر هوای سرد (Cold Pool) نامیده می‌شود. در این مطالعه آشکارسازی نقش استخر هوای سرد در ایجاد و یا تشدید بارندگی‌ها، با بررسی نقشه‌های همدیدی برای بازه‌ی سال‌های ۲۰۰۷ لغایت ۲۰۱۳، ۱۱۸ مورد استخر هوای سرد شناسایی گردید. در راستای اهداف تحقیق نقشه‌های همدیدی، نمودار ترمودینامیکی (SkewT) و پراکندگی بارش در روزهای شناسایی شده در استان آذربایجان شرقی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد استخرهای هوای سرد به صورت سه الگوی همدیدی متفاوت، تراف دمایی، سلول بسته‌ای از هوای سرد و یا ترکیبی از تراف و سلول (در ترازهای مختلف) ظاهر می‌گردد. هر چند که این عارضه همدیدی در همه‌ی ماههای دوره‌ی گرم سال مشاهده می‌شود ولی بیشترین فراوانی وقوع آن در ماه مه (اردیبهشت) مشاهده شده است. بررسی مقادیر بارش ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی در زمان استقرار استخر هوای سرد نشان داد که در ۶۴٪ مواقع حضور استخر هوای سرد بارندگی رخ داده و در ۱۲٪ موارد وقوع بارندگی شدید باعث ایجاد سیل شده است. نتایج حاصل از بررسی اطلاعات نمودارهای ترمودینامیکی نشان داد هر چند در اکثر موارد وجود ناپایداری در جو توسط شاخص‌های ناپایداری تأیید می‌شود ولی در مواردی هم ضعف‌هایی در تبیین شرایط ناپایدار جوی مشاهده گردید که نشان‌دهنده‌ی غلبه‌ی شرایط دینامیکی (در مقایسه با شرایط ترمودینامیکی) در هنگام استقرار این پدیده همدیدی می‌باشد. نهایتاً مشخص گردید هر قدر اختلاف دمایی تراز ۸۵۰ با ۵۰۰ میلی‌باری در اثر استقرار استخر هوای سرد بیشتر باشد احتمال تشدید بارندگی‌ها و وقوع تگرگ و سیل افزایش می‌یابد.

کلیدواژه‌ها: استخر هوای سرد، تحلیل همدیدی، نمودارهای ترمودینامیک (SkewT)، بارش، سیل، آذربایجان شرقی.

pourasghar@irimo.ir

gh.mohammadi88@gmail.com

soltani_1981@yahoo.com

sohailajavanmard@gmail.com

omidfarbager@yahoo.com

۱- دکتری اقلیم‌شناسی، کارشناس هواشناسی، اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی (نویسنده مسؤل)

۲- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه تبریز، کارشناس هواشناسی، اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی

۳- کارشناس هواشناسی، اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی

۴- دکتری هواشناسی، هیأت علمی، پژوهشکده هواشناسی

۵- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه تبریز، کارشناس هواشناسی، اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی

مقدمه

بارش یکی از عناصر اصلی وضعیت آب و هوایی در هر منطقه به شمار می‌رود. در شرایط جغرافیایی ایران هر ساله سیلاب‌های متعددی در بخش‌های مختلف رخ می‌دهد. سیلاب عمدتاً ناشی از بارندگی‌های شدید است، با وجود رابطه‌ی مستقیم بین پدیده‌ی سیلاب و بارش، شرایط و ویژگی‌های محلی (میزان نفوذپذیری خاک، پوشش گیاهی، شیب منطقه، رطوبت خاک و غیره) از جمله عواملی هستند که این رابطه را تقویت یا تضعیف می‌نمایند. تحلیل و پیش‌بینی مطلوب وقوع بارش در منطقه با توجه به تفاوت ساز و کارهای (مکانیسم‌های) بارش و تنوع سامانه‌های جوی بارش‌زا، شناخت دقیق مؤلفه‌های اصلی سامانه اقلیم منطقه را می‌طلبد. از جمله این سامانه‌ها شکل‌گیری سلول‌های هوای سرد در سطوح فوقانی جو می‌باشد. به منطقه‌ای از هوای سرد در جو که در نقشه‌های هواشناسی به صورت دمای پایین که توسط ایزوترم‌های بسته محاط شده باشد استخر هوای سرد نامیده می‌شود (واژه‌نامه^۱ NOAA).

استخر هوای سرد به دو گونه استخر هوای سرد در سطوح فوقانی جو (Engerer et al, 2008: 4839) و استخر هوای سرد دره‌ای (Zangl, 2005: 1950) مشاهده می‌گردد. استخر هوای سرد در سطوح فوقانی بیانگر منطقه‌ای با پایداری کم در حالی که در سطح زمین بیانگر منطقه‌ای نسبتاً پایدار می‌باشد. این سامانه‌ها به عنوان یکی از عوامل تشدید ناپایداری‌های جوی، باعث شکل‌گیری بارش‌های رگباری و گاهی تندی می‌گردد. زانگل (۲۰۰۵) به بررسی نقش استخر هوای سرد زمستان در دره‌ی دانوب، واقع در ایالت باواریای آلمان پرداخت. بررسی داده‌های مشاهداتی نشان داد که

وقوع استخر هوای سرد به پدیده‌ی گرم شدن در مناطق مقابل آلپ و کاهش دمای حوضه شمال شرق- جنوب غرب به جهت باد محیط بستگی دارد (Zangl, 2005: 1950).

علاوه بر این زانگل (۲۰۰۵) مطالعه‌ی عددی دقیقی را برای بررسی مکانیسم دینامیکی استخر هوای سرد زمستان در دره‌ی آلپ انجام داد. زمانی که هوای سرد با سرعت از زمین‌های آلپ دور می‌شود، استخر هوای سرد دره‌ای مقاوم در بخش داخلی دره‌ی آلپ به همراه دمای افقی پایدار متفاوت با ۱۰ درجه کلون در فاصله‌ی ۳۰ کیلومتری باقی می‌ماند.

نتایج نشان داد که مهم‌ترین مکانیسم کنترل‌کننده سلول‌های هوای سرد مقاوم در دره‌های عمیق آلپ کشش هوای سرد به سمت زمین‌های آلپ می‌باشد. بنابراین برای دره با شکل هندسی منظم و نیروی جریان‌ات محیطی، احتمال وجود استخر هوای سرد عمدتاً بستگی به جهت بادهای محیطی دارد (Zangl, 2005: 2721).

انگر (۲۰۰۸) با توجه به اینکه استخر هوای سرد یکی از عناصر کلیدی از سیستم‌های همرفتی می‌باشد به بررسی ۳۹ سیستم همرفتی و با در نظر گرفتن فشار سطح، دما، دمای پتانسیل و سرعت باد پدیده استخر هوای سرد را به چهار مرحله تقسیم‌بندی نمود. مرحله‌ی اول: تغییر ناگهانی هوا، مرحله‌ی دوم: شروع سیستم همرفتی میان مقیاس مرحله‌ی سوم: بلوغ سیستم همرفتی میان مقیاس و مرحله‌ی چهارم: پراکندگی سیستم همرفتی میان مقیاس. نتایج نشان داد که در مراحل چرخه سیستم همرفتی، مرحله‌ی اول یعنی مرحله‌ی تغییر ناگهانی هوا فشار استخر هوای سرد به ۴/۵ هکتو پاسکال و در مرحله‌ی بلوغ سیستم همرفتی میان مقیاس به ۳/۳ هکتو پاسکال می‌رسد. اما در مقابل متوسط تغییرات درجه حرارت

1-National Oceanic and Atmospheric Administration, <http://www.erh.noaa.gov/er/box/glossary.htm>

زمانی طوفان‌های تندری پرداخت. در این تحقیق برای تبیین و توجیه همیدی رگبارها و طوفان‌های تندری، شرایط هم فشاری سطح زمین، هم ارتفاع سطح ۵۰۰ هکتو پاسکال و ستون آب قابل بارش برای نمونه‌های انتخابی، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج بررسی‌ها نشان دادند که در ایستگاه‌های سینوپتیک اردبیل، مشکین شهر و خلخال بیشترین فراوانی وقوع طوفان‌های تندری متعلق به ماه مه و در ایستگاه سینوپتیک پارس‌آباد، متعلق به ماه ژوئن است (صلاحی، ۱۳۸۹: ۷۲). عبادی به تحلیل و مقایسه رژیم بارش منطقه شمال غرب کشور با کاربرد روش‌های آماری چند متغیره پرداخت. در این پژوهش ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس متغیرهای مورد بررسی در سه خوشه دسته‌بندی شدند. در این فرآیند بررسی ۱۰ پارامتر مورد استفاده در تحلیل مؤلفه‌های اصلی به ۲ مؤلفه کاهش و با استفاده از چرخش واریماکس چرخانده شدند. از طرف دیگر نتایج حاصل از رگرسیون چند متغیره نشان داد که از میان متغیرهای مستقل مورد بررسی در منطقه، متغیر عرض جغرافیایی بیشترین رابطه را با میانگین بارندگی سالانه دارد به عبارتی توزیع بارندگی در طی سال در منطقه تابع عرض جغرافیایی است. با وجود اینکه در این دوره اکثر مناطق کشور در شرایط پایداری هوای ناشی از پر فشار جنب حاره‌ای قرار می‌گیرند ولی در شمال غرب ایران به لحاظ استقرار در عرض جغرافیایی بالاتر، تحت تأثیر شرایط همیدی ویژه‌ای قرار گرفته و برخلاف انتظار بارندگی‌های شدید و گاه همراه با وقوع تگرگ و سیل را شاهد می‌باشد (عبادی، ۱۳۹۰: ۱۲).

نمونه مطالعات انجام شده در مورد بارش‌های سیل‌آسا و تندری عبارتند از (لشگری، ۱۳۷۵: ۱۵؛ اشجعی، ۱۳۷۹: ۱۷؛ جهانبخش و ذوالفقاری، ۱۳۸۰: ۲۳۴؛ محمدی، ۱۳۸۱: ۴۱؛ امیدوار، ۱۳۸۶: ۸۱؛ کریم‌خانی و ارکیان، ۱۳۹۳: ۲۵۷؛ فرجی و همکاران، ۱۳۹۴: ۴۱).

(دمای بالقوه) استخر هوای سرد از اولین مرحله (تغییر ناگهانی هوا) تا مرحله‌ی نهایی (پراکندگی) حدود ۱ کلوین در هر مرحله می‌باشد. با این حال کاهش دمای متوسط در مشاهدات در طول روز و شب بیش از ۱۱ کلوین است. میانگین متوسط دمای پتانسیل معادل نیز در مرحله‌ی چرخه تکامل سیستم همرفتی میان مقیاس در مرحله شروع از ۲۱/۶ کلوین برای تغییر ناگهانی هوا به ۱۳/۹ کلوین در حالت پراکندگی سیستم کاهش می‌یابد. از جمله مطالعات انجام شده برای سلول هوای سرد و بارش‌های تندری در مناطق مختلف دنیا می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

(Iijima & Shinoda, 2000: 1471; Libermann et al, 2001: 2081; Corfidi, 2003: 997; Done et al, 2004: 110; Zangl et al, 2004: 133; Mohapatra & Mohanty, 2005: 17; Liasat, 2007: 43; Matlik & Post, 2008: 195; Reeves & Stensurd, 2009: 1625; Lesage, 2013: 10; Lu & Zhong, 2014: 1733; Chevuturi et al, 2015: 1545)

در ایران نیز تحقیقات بسیار زیادی در ارتباط با مطالعات همیدی سامانه‌های سینوپتیک در ایجاد بارش‌های سنگین و سیل‌آسا و طوفان‌های تندری انجام شده اما مطالعه‌ای که اختصاصاً در مورد نقش سلول‌های هوای سرد در ایجاد بارش‌های رگباری دوره‌ی گرم سال در شمال غرب کشور انجام شده باشد، یافت نشد. عزیزی و همکاران به بررسی بارش‌های سنگین در شمال غرب کشور با مطالعه‌ی موردی در روزهای ۷ تا ۱۴ مارس ۲۰۰۵ پرداختند.

نتایج بررسی آنها نشان داد که سیستم کم فشار مدیترانه و زبانه‌ی کم‌فشار سودانی باعث بارندگی‌های دوره‌ی مذکور بوده است. دریای مدیترانه، دریای سیاه و دریای سرخ در تقویت این سیستم‌ها در سطح زمین نقش داشته‌اند (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۸: ۱). صلاحی به بررسی ویژگی‌های آماری و همیدی طوفان‌های تندری در استان اردبیل با استفاده از روش تجزیه مؤلفه روند سری‌های زمانی برای تبیین نوسان‌های

۱- یک سلول بسته همراه با پایین‌ترین درجه حرارت در تروپوسفر میانی و فوقانی. این سلول‌ها در نقشه‌های سطح ۵۰۰ میلی‌باری به راحتی قابل تشخیص می‌باشند. همچنین در بعضی مواقع در نقشه‌های سطح ۷۰۰ میلی‌باری نیز قابل مشاهده بوده و تا سطح ۳۰۰ میلی‌باری نیز ترسیم می‌شوند.

۲- معمولاً در زیر استخر هوای سرد یک میدان فشار ضعیف در سطح زمین وجود دارد. هر چند الگوی شناخته شده‌ای از سامانه‌های سینوپتیک سطح زمین حاکم نمی‌باشد با این وجود در برخی موارد کم فشار شکل گرفته در سطوح فوقانی اثر خود را از طریق ایجاد هسته‌ی کم فشار بسته در سطح زمین نشان می‌دهد.

در مرحله‌ی بعد با غربالگری و جداسازی روزهایی که در یک یا چند تراز جوی استخر هوای سرد موجود بوده به استخراج میزان بارندگی‌های ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی در روزهای مذکور اقدام شد. لازم به توضیح است در بازه‌ی سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳، ۱۱۸ مورد استخر هوای سرد شناسایی شده است. در مرحله آخر با هدف دستیابی به اطلاعات همدیدی تکمیلی اطلاعات دریافتی از ایستگاه جو بالای تبریز برای روزهای مذکور تهیه و بدین طریق پایگاه داده‌های مورد نیاز برای مطالعه ایجاد گردید. در گام بعدی با در نظر گرفتن رهیافت علمی محیطی به گردشی به بررسی داده‌های جمع‌آوری شده اقدام شد. نقشه‌های همدیدی با در نظر گرفتن نوع (و یا تیپ) همدیدی و مقادیر دمایی پلات شده بر روی نقشه‌ها و اختلاف دمایی ترازهای ۸۵۰ با ۵۰۰ مورد بررسی قرار گرفت.

بررسی منابع علمی نشان داد که موضوع استخر هوای سرد در مطالعات مربوط به اقلیم‌شناسی به دو حالت مجزا به صورت توده‌های هوای سرد محبوس در دره‌ها و مناطق پست بدون خروجی و توده‌های هوای سرد در ترازهای فوقانی جو مورد توجه بوده و عوارض هواشناسی آنها مورد بحث قرار گرفته است. اما در ایران با وجود اینکه مطالعات متعدد و ارزشمندی در زمینه‌ی اقلیم‌شناسی همدیدی صورت گرفته لکن موضوع استخرهای هوای سرد بطور اخص مورد بحث قرار نگرفته است. با توجه به اهمیت این پدیده همدیدی در پیش‌بینی بارش‌های شدید تندی و سیل‌آسای طی دوره‌ی گرم سال برای کشور ایران که در فصل گرم سال در معرض آسیب‌های ناشی از بارندگی‌های شدید و ناگهانی قرار دارد می‌تواند در پیشگیری خسارت‌های مالی و جانی مؤثر باشد. در این مطالعه تلاش گردید با شناسایی پدیده‌ی استخر هوای سرد و مطالعه‌ی آنها نقش این عارضه همدیدی در ایجاد و یا تشدید بارش‌ها در شمال غرب خصوصاً در آذربایجان شرقی مورد مطالعه قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

با توجه به تأثیر قابل ملاحظه‌ی استخرهای هوای سرد در فرآیند بارش‌های رگباری و شدید در دوره‌ی گرم سال، قصد بر آن است تا وضعیت جوی در هنگام وقوع بارندگی‌های شدید دوره‌ی گرم سال در استان آذربایجان شرقی به عنوان نماینده شمال غرب ایران مورد بررسی قرار گیرد. در این راستا ابتدا با بررسی روز به روز نقشه‌های همدیدی سازمان هواشناسی کشور در ترازهای ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ میلی‌باری در دوره گرم سال (مه تا اکتبر) پرداخته شد. معیارهای لازم برای شناسایی استخر هوای سرد از روی نقشه‌های سینوپتیک عبارتند از:

بحث

از ۱۱۸ مورد پدیده‌ی استخر هوای سرد در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۷ لغایت ۲۰۱۳ برای ماههای مه، ژوئن، ژوئیه، اوت، سپتامبر و اکتبر، روزهایی که نوع پدیده (سلول هوای سرد، تراف) در آنها قابل توجه می‌باشند، انتخاب و تفسیر شدند. در جدول (۱) روزهای مورد بررسی به همراه بارش ایستگاهها مشاهده می‌گردد.

تحلیل هم‌مدیدی استقرار استخر هوای سرد در ۲۲ مه ۲۰۱۲

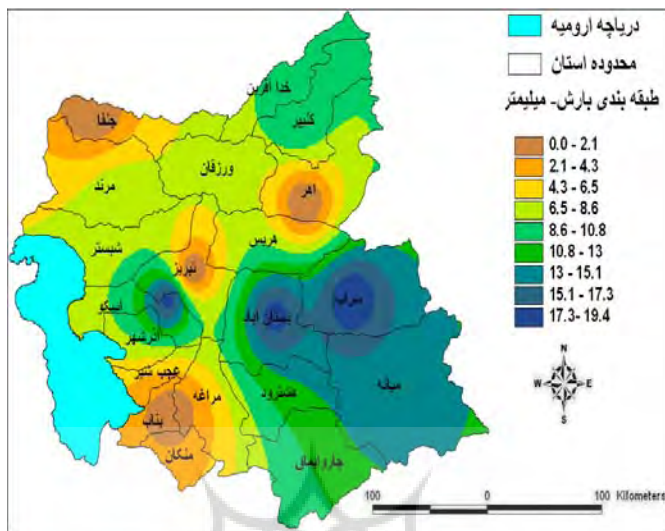
نقشه‌های پراکندگی مکانی بارش‌ها در روز ۲۲ مه بیشترین بارندگی‌ها را در مناطق مرکزی و جنوب شرق استان آذربایجان شرقی نشان می‌دهد (شکل ۱). با وجود اینکه در این روزها اکثر قریب به اتفاق مناطق استان بارندگی دریافت کرده‌اند ولی مناطقی هم هستند که به دلیل شرایط توپوگرافی منطقه بارندگی نداشته‌اند.

مقادیر بارش ثبت شده در ایستگاهها به همراه گزارشات مربوط به جریان سیل‌ها بررسی و نقشه پراکندگی بارش در محیط GIS تهیه گردید. با هدف تأثیرگذاری استخر هوای سرد در بارش‌های منطقه‌ی مورد مطالعه با در نظر گرفتن مقدار، وسعت مکانی وقوع بارش (فراگیر و یا محلی) و نوع آن طبقه‌بندی انجام شده و در نهایت درصد هر کدام محاسبه گردید. به منظور تحلیل شرایط ترمودینامیکی جو در هنگام حاکمیت استخر هوای سرد شاخص‌های ناپایداری جو از نمودارهای ترمودینامیکی (SkewT) استخراج شد. شاخص‌های مربوط عبارتند از: شاخص شوالتر (SI)، شاخص کیپ (KI)، شاخص توتال توتال (TTI) و شاخص ارتفاع تراکم (LCL) (قویدل، ۱۳۹۰: ۱۸۲). در بخش بعدی تلاش می‌شود به معرفی الگوهای هم‌مدیدی استخر هوای سرد بر اساس روزهای معرف پرداخته شود.

جدول ۱: مقادیر بارندگی (mm) ثبت شده در ایستگاههای هواشناسی استان آذربایجان شرقی در روزهای انتخاب شده

نام ایستگاه	۲۰۱۳/۵/۱۷	۲۰۱۲/۵/۲۲	۲۰۱۰/۸/۲۶	۲۰۰۹/۹/۲۹
تبریز	۰	۰	۸	۰
اهر	۴/۲	۰	۰/۸	۰/۸
بناب	۰	۱/۷	۰	۰
بستان آباد	۳/۴	۱۸/۳	۳	۰
جلفا	۰/۸	۰	۴	۰
کلبر	۵	۱۰/۷	۰	۲
مراغه	۰	۰/۸	۰	۰
مرند	۶	۸/۱	۰/۲	۰
میانه	۱۳/۴	۱۴/۷	۰	۰
سهند	۰/۶	۱۸/۱	۲	۰/۱
سراب	۰	۱۹/۵	۱۴	۰

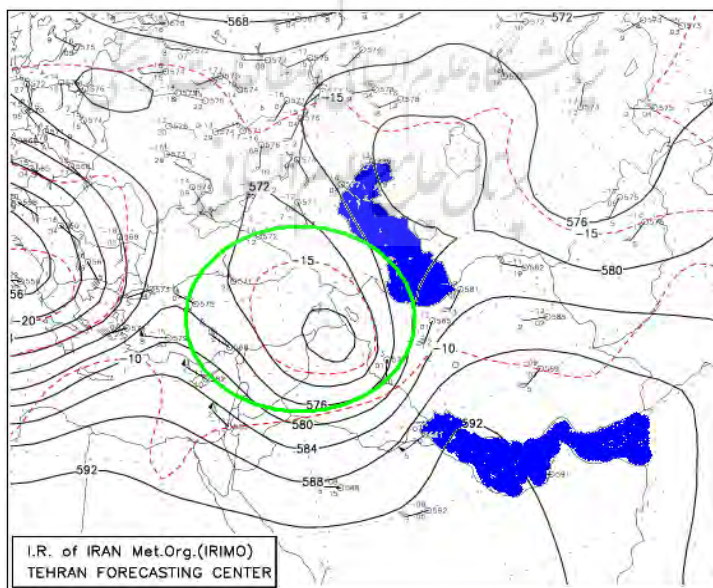
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۳



شکل ۱: نقشه پراکندگی بارش ۲۴ ساعته در استان آذربایجان شرقی در ۲۲ مه ۲۰۱۲ تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۳

ایران شده است (شکل ۲). الگوی نقشه در تراز ۷۰۰ میلی باری نشان دهنده‌ی حاکمیت کم‌فشار بریده است اما استخر هوای سرد موجود در این تراز به صورت سلول بسته ظاهر نشده است (شکل ۳).

در نقشه‌ی همدیدی تراز ۵۰۰ میلی باری در بیست و دوم ماه مه مرکز سامانه کم‌فشار بریده با ۵۶۸ ژئوپتانسیل دکامتر و استخر هوای سرد با درجه حرارت -۱۵ درجه سانتی‌گراد در شمال غرب ایران قرار گرفته باعث تشدید فعالیت‌های بارشی در منطقه‌ی شمال غرب

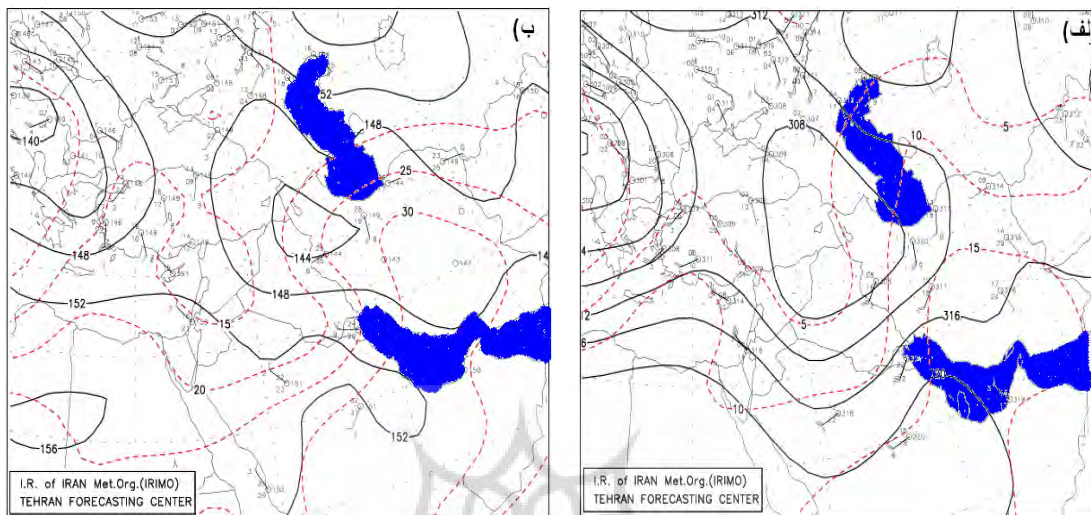


شکل ۲: نقشه‌ی همدیدی تراز ۵۰۰ میلی باری در ۲۲ مه ۲۰۱۲ مأخذ: سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۱

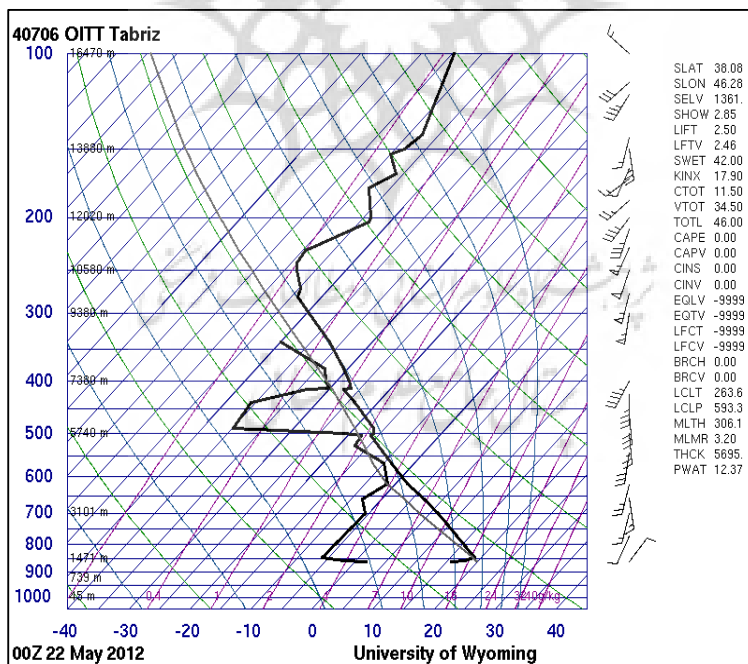
ملاحظه‌ای در ایجاد بارش‌ها دارد: الف- شکل‌گیری استخر هوای سرد باعث ایجاد اختلاف دمایی شدید بین دمای سطح زمین (یا لایه‌های نزدیک سطح زمین) با لایه‌های تراز میانی و فوقانی جو ایجاد کند. ب- ایجاد استخر هوای سرد به صورت سلول‌های بسته‌ای از هوای سرد از تراز ۸۵۰ تا ترازهای میانی و بالایی جو گسترش یابد و استوانه‌ی عمیقی از هوای سرد را در جو ایجاد کند. ج- اثر بخشی این سامانه زمانی که به صورت توأمان با سامانه‌های چرخندی همراه باشد قوی‌تر و بیشتر است. با توجه به اینکه نمودار ترمودینامیکی برای ایستگاه تبریز بوده و شرایط ناپایداری با توجه به شرایط محلی در نقاط مختلف استان متفاوت است لذا با در نظر گرفتن این فرض به تفسیر نقشه‌های ترمودینامیکی در زمان رخداد استخر هوای سرد خواهیم پرداخت.

بررسی نمودار ترمودینامیکی و شاخص‌های ناپایداری جو (شکل ۴) نشان می‌دهد که در عرض‌های لایه‌های میانی جو رطوبت وجود دارد ولی شاخص‌های ناپایداری $LCL=593/3, TTI=46, KI=17/9, SI=2/85$ نشان‌دهنده‌ی حالت پایدار جوی در تاریخ ۲۲ مه ۲۰۱۲ است. از آنجایی که جهت باد جنوب غربی بوده و بیانگر انتقال رطوبت به منطقه است ولی در ستون باد تغییرات قابل توجهی در سمت و سرعت باد بویژه در لایه‌های پایین جو مشاهده نمی‌گردد.

همانطور که در شکل ۳-الف نیز مشخص است در تراز ۷۰۰ میلی‌باری تراف مشخصی از هوای سرد در شمال غرب ایران شکل گرفته است که حاکی از ریزش هوای سرد از عرض‌های بالاتر به این مناطق در این تراز می‌باشد. نکته مهم دیگر اینکه خطوط همدمای خطوط همتراز را با زاویه‌ای نزدیک به قائم قطع کرده است که با ایجاد جو کژفشار بر شدت ناپایداری جوی افزوده است. در لایه‌های نزدیک به سطح زمین (تراز ۸۵۰ میلی‌باری (شکل ۳-ب) شرایط همدیدی قدری متفاوت از لایه‌های دیگر می‌باشد. در این لایه با وجود اینکه اثر ضعیفی از کم فشار بریده قابل مشاهده است ولی استخر هوای سرد در شمال غرب ایران وجود ندارد. در این تراز نیز وجود جو کژفشار باعث تقویت ناپایداری در لایه‌های نزدیک سطح زمین شده است. از بررسی‌ها می‌توان چنین نتیجه گرفت که بارندگی‌های ایجاد شده در منطقه‌ی مورد مطالعه در اثر استقرار کم فشار بریده عمیق در شمال غرب ایران اتفاق افتاده است که در این میان تشکیل استخر هوای سرد در بطن سامانه چرخندی کم‌فشار بریده و بعضاً ایجاد شرایط کژفشاری در ترازهای ۷۰۰ و ۸۵۰ میلی‌باری از عوامل تشدید بارندگی‌ها بوده‌اند. با عنایت به تغییرات مقادیر و توزیع مکانی بارش‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که استخر هوای سرد حاکم در این مورد با تأمین شرایط زیر تأثیر قابل



شکل ۳: نقشه‌های همدیدی ترازهای ۷۰۰ (الف) و ۸۵۰ میلی باری (ب) در روز ۲۲ مه ۲۰۱۲
 مأخذ: سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۱



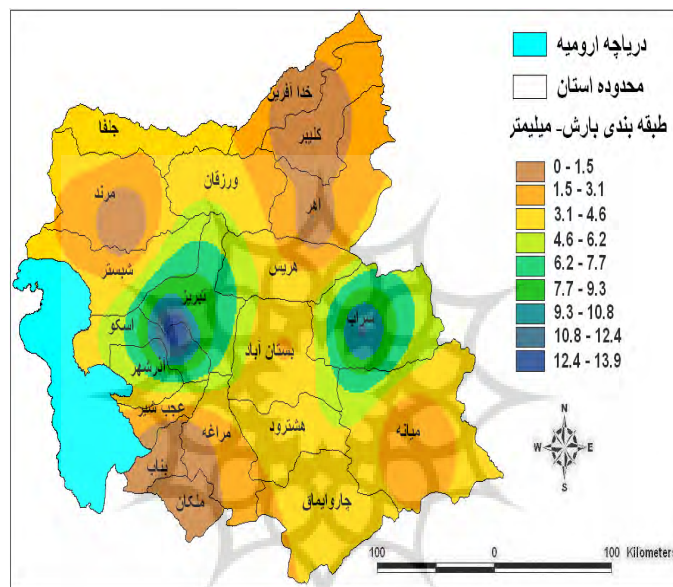
شکل ۴: نمودار ترمودینامیکی SkewT ایستگاه جو بالای تبریز در روز ۲۲ مه ۲۰۱۲
 مأخذ: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

تحلیل همدیدی استقرار استخر هوای سرد در

۲۶ اوت ۲۰۱۰

با بررسی مقادیر بارندگی روزانه در طی دوره‌ی آماری مشخص گردید که بارش‌های مناسبی در روز ۲۶ اوت ۲۰۱۰ در استان آذربایجان شرقی ثبت

گردیده است. در این روز ۷ ایستگاه از ۱۱ ایستگاه مورد بررسی بارندگی گزارش شده که بیشترین مقادیر بارندگی در ایستگاه‌های سراب و تبریز به مقدار ۱۴ و ۸ میلی‌متر بوده است. (جدول ۱).



شکل ۵: نقشه پراکندگی بارش ۲۴ ساعته در استان آذربایجان شرقی در ۲۶ اوت ۲۰۱۰

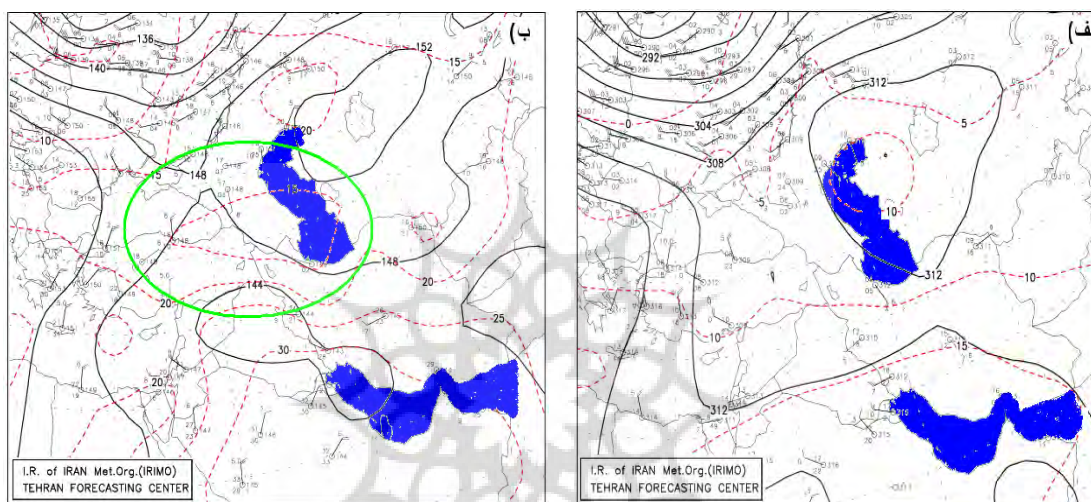
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۳

خطوط هم‌ارزش دمایی در این بخش از نقشه مشخص می‌گردد دمای هوا در شمال و جنوب این سلول، ۲۰ درجه سانتیگراد نمایش داده شده است. لذا سلول هوای سرد استقرار یافته در شمال غرب ایران یک استخر هوای سرد است که یکی از عوامل ایجاد و تشدید ناپایداری جو در این لایه از آتمسفر در طی این روز می‌باشد. در تراز میانی جو استقرار استخر هوای سرد به صورت سلول بسته‌ای از هوای سرد با دمای ۱۰- درجه سانتیگراد در فراز دریای خزر است (شکل ۷). همانند استخر هوای سرد تراز ۸۵۰ میلی‌باری دمای هوا در داخل این بسته هوا نسبت اطراف کمتر است. استخر هوای سرد مذکور که با کمی جابجایی مکانی

در این روز به دلیل وقوع بارندگی‌های شدید رگباری (که در ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی ثبت نشده است) در شهرستان‌های سراب، مرند و بستان‌آباد جاری شدن سیل گزارش گردیده است. نقشه همدیدی تراز ۷۰۰ میلی‌باری (شکل ۶-الف) نشان می‌دهد که سلول هوای سرد بسته‌ای در شمال دریای خزر با دمای ۱۰+ درجه سانتیگراد حاکم است. نقشه ۸۵۰ میلی‌باری (شکل ۶-ب) شکل‌گیری سلول هوای سرد بسته با دمای ۱۵+ درجه سانتیگراد در مناطق مرکزی دریای خزر و قسمت‌های شمالی منطقه را نشان می‌دهد (این سلول توسط کادر بیضی شکل سبز رنگ نشان داده شده است). با دقت در نحوه پراکندگی

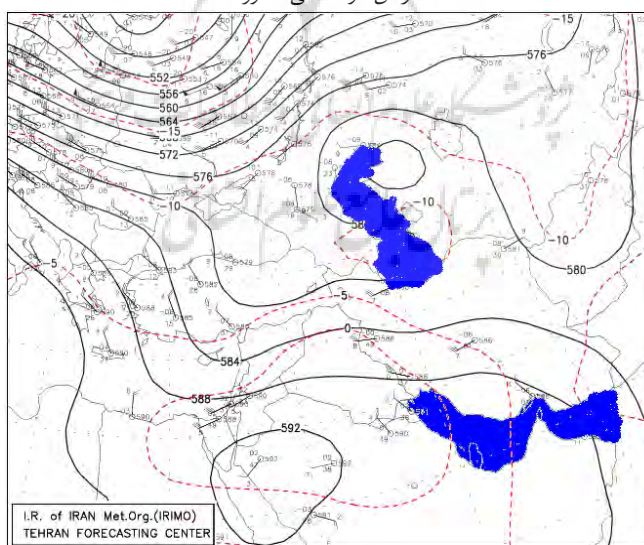
همراه حاکمیت استخر هوای سرد از تراز نزدیک سطح زمین تا تراز میانی جو شرایط مساعدی را برای ایجاد ناپایداری و وقوع بارندگی در ۲۶ اوت ۲۰۱۰ ایجاد کرده‌اند.

در فراز استخر هوای تراز ۸۵۰ میلی‌باری استقرار یافته است نشان‌دهنده‌ی عمیق بودن سامانه‌ی استخر هوای سرد در این روز می‌باشد. لذا در این روز با برخورد دو توده هوایی متفاوت در ترازهای نزدیک سطح زمین و استقرار شرایط کم ارتفاعی در شمال غرب ایران به



شکل ۶: نقشه‌های همدیدی ترازهای ۷۰۰ (الف) و ۸۵۰ میلی‌باری (ب) در ۲۶ اوت ۲۰۱۰

مأخذ: سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۸۹

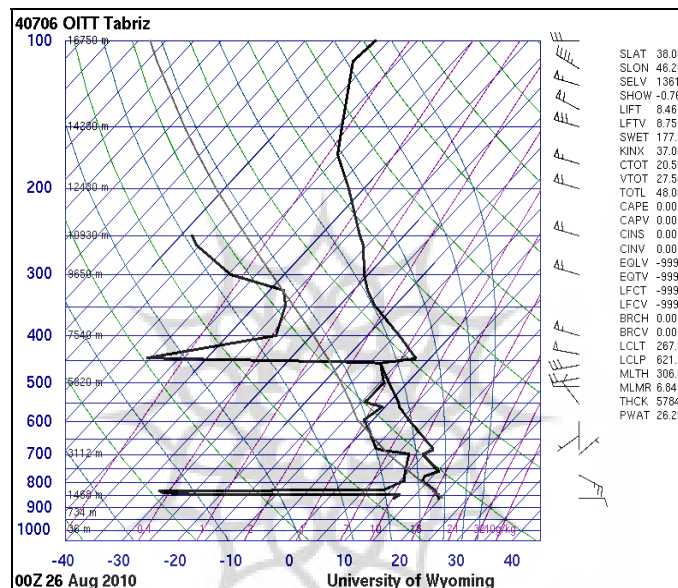


شکل ۷: نقشه همدیدی تراز ۵۰۰ میلی‌باری در ۲۶ اوت ۲۰۱۰

مأخذ: سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۸۹

سطوح بالاتر از ۵۰۰ میلی باری بوده و مؤید احتمال بالای رشد ابر می باشد. همچنین تغییرات نامنظم جهت باد و از طرفی بالا بودن سرعت باد نیز دلیل بر ناپایداری جوی است (شکل ۸).

شاخص ناپایداری همرفتی $SI = -0.76$ بیانگر شرایط ناپایداری و صعود و همچنین شاخص های $KI = 37$ و $TTI = 48$ احتمال ناپایداری زیاد و قوی و شاخص ارتفاع تراکم $LCL = 621/3$ را نشان می دهد. از طرفی نمودار ترمودینامیکی بیانگر وجود رطوبت از سطوح پایین تا



شکل ۸: نمودار ترمودینامیکی Skew-T ایستگاه جو بالای تبریز در روز ۲۶ اوت ۲۰۱۰

مأخذ: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

تراز ۸۵۰ میلی باری (شکل ۱۰-ب) مشاهده می گردد در این روز استخر هوای سرد به شکل سلول بسته ای از هوای سرد ظاهر شده است و همچنین زبانه ای از آن به سمت جنوب شرق ایران گسترش یافته است. در تراز ۷۰۰ میلی باری سامانه ای کم فشار بریده با گرادیان فشار ضعیف قابل تشخیص بوده و استخر هوای مشخصی با ابعاد کوچک در مرکز سامانه با درجه حرارت ۵- درجه سانتیگراد مستقر شده است (شکل ۱۰-الف).

موضوع قابل ملاحظه در این لایه گرایش به ادغام کم فشار بریده با زبانه ای کم ارتفاع استقرار یافته در

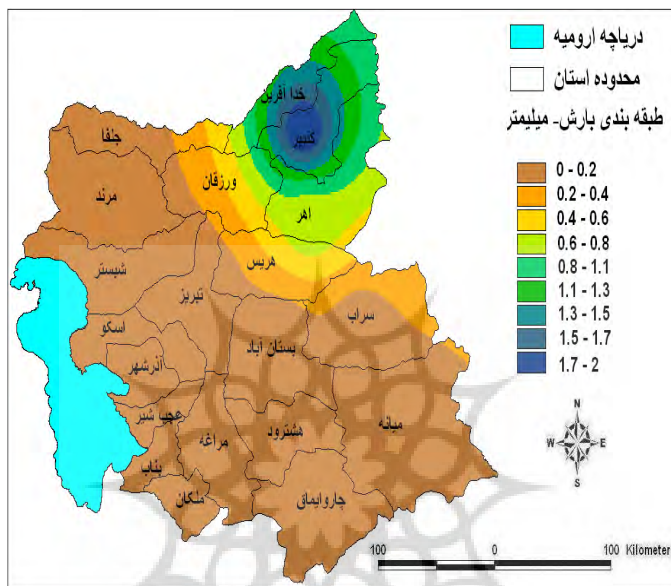
تحلیل همدیدی استقرار استخر هوای سرد در

۲۹ سپتامبر ۲۰۰۹

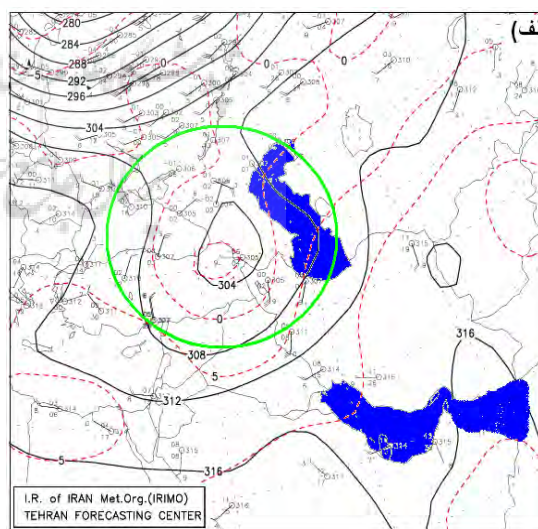
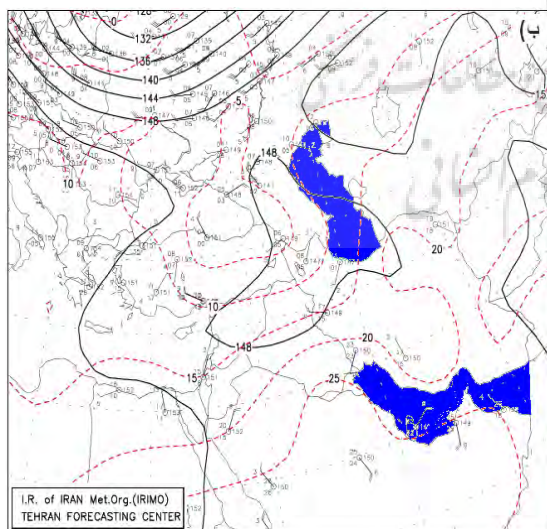
در بررسی مقادیر بارندگی ثبت شده از ایستگاههای هواشناسی استان آذربایجان شرقی در روز ۲۹ سپتامبر ۲۰۰۹ مشخص گردید که بارش قابل توجهی در استان رخ نداده و حداکثر بارش از منطقه ای کلیبر گزارش شده است (شکل ۹). در بررسی نقشه های ترازهای مختلف جو در روز ۲۹ سپتامبر مشخص شد که در این روز استخر هوای سرد هم عمیق تر شده و هم اینکه کمی به سمت شرق بر روی شمال غرب ایران جایجا شده است. همانطور که در نقشه ای همدیدی

شکل مشخصی در شمال غرب ایران استقرار یافته است ولی مرکز این سامانه همچنان در روی استان آذربایجان شرقی حاکم نشده است (شکل ۱۱).

شمال غرب دریای خزر می‌باشد که باعث گردیده سامانه‌ی کم فشار بریده قدری به سمت شمال جابجا شود. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی کم‌فشار بریده به



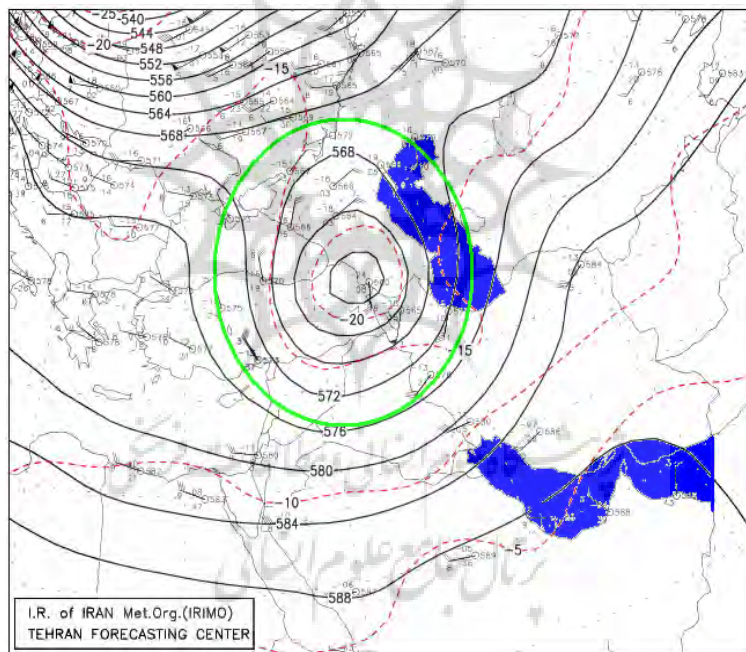
شکل ۹: نقشه‌ی پراکندگی بارش ۲۴ ساعته در استان آذربایجان شرقی در ۲۹ سپتامبر ۲۰۰۹ تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۳



شکل ۱۰: نقشه‌ی همدیدی تراز ۷۰۰ (الف) ۸۵۰ (ب) میلی باری در ۲۹ سپتامبر ۲۰۰۹ مأخذ: سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۸۸

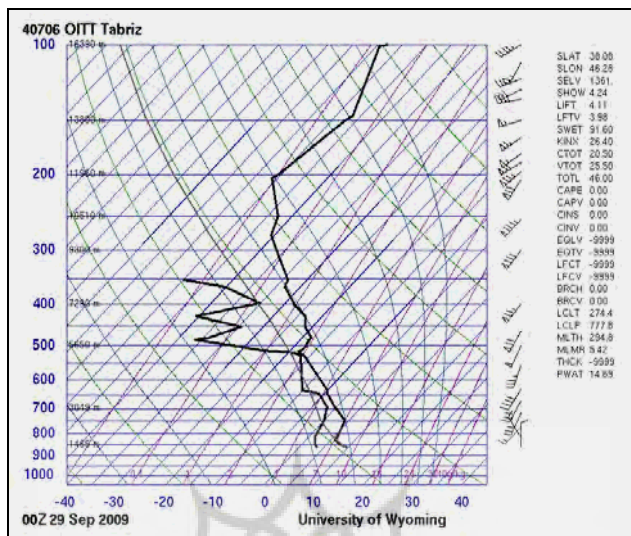
شاخص همرفتی ($SI=4/24$) حالت پایدار جوی و شاخص‌های $KI=26/4$ و $TTI=46$ حالت ناپایدار نسبی را بیان می‌کند. از لایه‌های پایین جو تا لایه‌های میانی جو رطوبت بالایی وجود داشته و احتمال رشد ابر و تشدید ناپایداری را افزایش می‌دهد. شاخص سطح تراکم $LCL=777/8$ می‌باشد. نمودار ترمودینامیکی تغییرات زیاد سرعت وزش باد را از سطح زمین تا لایه‌های بالای جو نشان می‌دهد که بیانگر ناپایداری نسبی در محل است (شکل ۱۲).

مورد بعدی گرم‌تر شدن هسته‌ی سامانه و به تبع آن کاهش گرادیان دمایی عمودی و افقی در این سامانه است. در حالی که در ابتدای تشکیل سامانه کم‌فشار بریده، استخر هوای سرد همراه آن -25 درجه سانتیگراد دما داشت ولی در این روز دمای هسته‌ی آن به -20 درجه سانتیگراد افزایش یافته است. این سامانه از اواخر روز ۲۹ سپتامبر تحت تأثیر زبانه‌ی کم‌ارتفاع واقع در شمال غرب دریای خزر به سرعت تضعیف شده و در شمال شرق دریای خزر از بین رفته است (شکل ۱۱).



شکل ۱۱: نقشه‌ی همدیدی تراز ۵۰۰ میلی‌باری در ۲۹ سپتامبر ۲۰۰۹

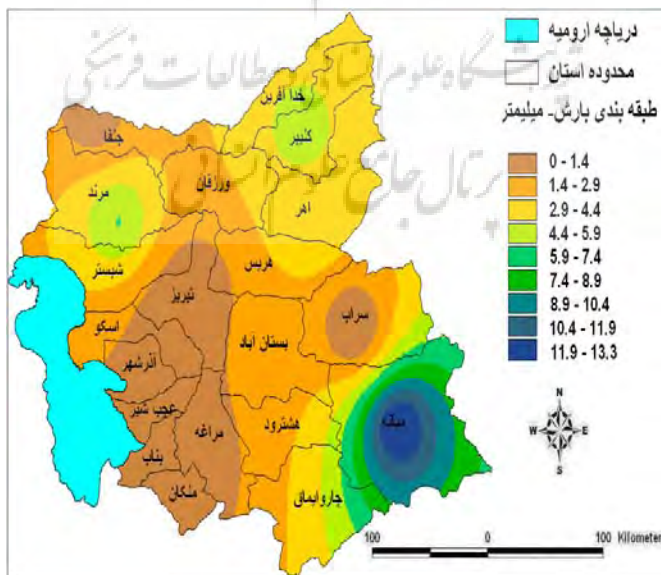
مأخذ: سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۸۸



شکل ۱۲: نمودار ترمودینامیکی SkewT ایستگاه جو بالای تبریز در روز ۲۹ سپتامبر ۲۰۰۹

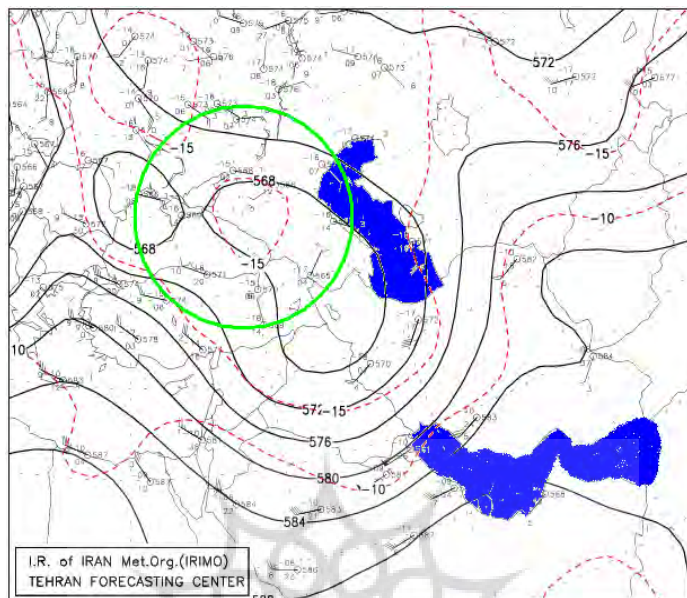
مأخذ: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

تحلیل هم‌مدیدی استقرار استخر هوای سرد در ۱۷ مه ۲۰۱۳
 در بررسی مقادیر بارندگی ثبت شده از ایستگاههای هواشناسی استان آذربایجان شرقی در روز ۱۷ مه ۲۰۱۳ مشخص گردید که بیشترین مقدار بارندگی در ایستگاههای میانه، مرند و کلیبر گزارش گردیده است (شکل ۱۳).



شکل ۱۳: نقشه‌ی پراکندگی مقادیر بارش ۲۴ ساعته استان آذربایجان شرقی در روز ۱۷ مه ۲۰۱۳

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۳

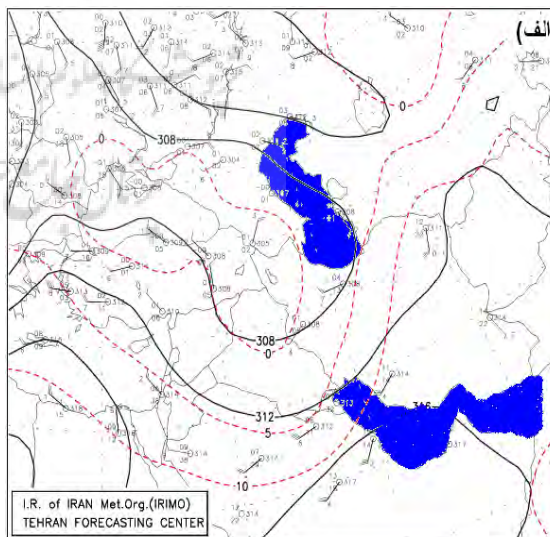
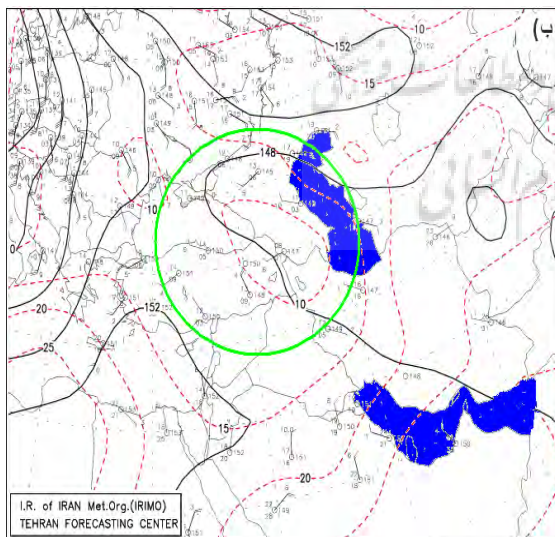


شکل ۱۴: نقشه‌ی همیدی تراز ۵۰۰ میلی باری در روز ۱۷ مه ۲۰۱۳

مأخذ: سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۲

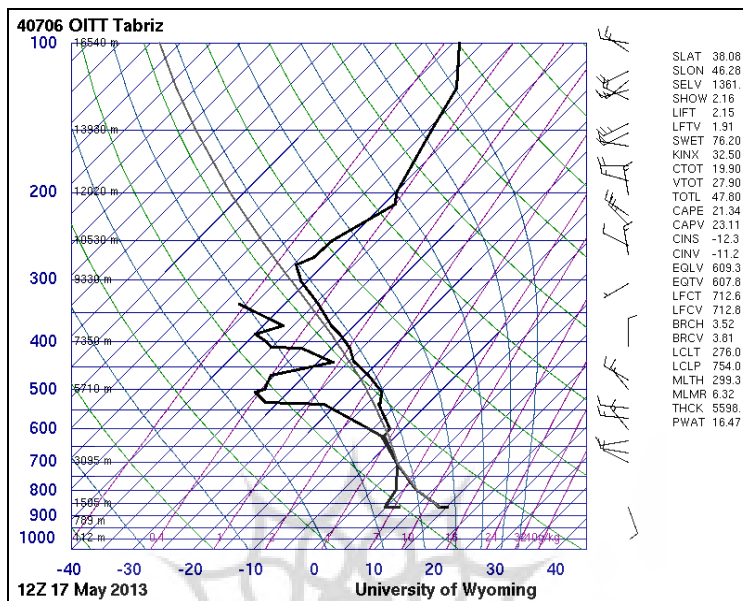
در نقشه تراز ۵۰۰ میلی باری روز ۱۷ مه نیز مشخص است سامانه‌ی حاکم در شمال شرق دریای خزر عمیق‌تر شده و تا شمال غرب اروپا گسترش یافته است (شکل ۱۴).

این درحالی است که اکثر مناطق و شهرستان‌های واقع در جنوب شرق دریاچه ارومیه بارندگی نداشته و یا مقادیر بارندگی ناچیزی دریافت کرده‌اند. همانطور که



شکل ۱۵: نقشه‌ی همیدی تراز ۷۰۰ (الف) ۸۵۰ (ب) میلی باری در روز ۱۷ مه ۲۰۱۳

مأخذ: سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۲



شکل ۱۶: نمودار ترمودینامیکی Skew-T ایستگاه جو بالای تبریز در روز ۱۷ مه ۲۰۱۳

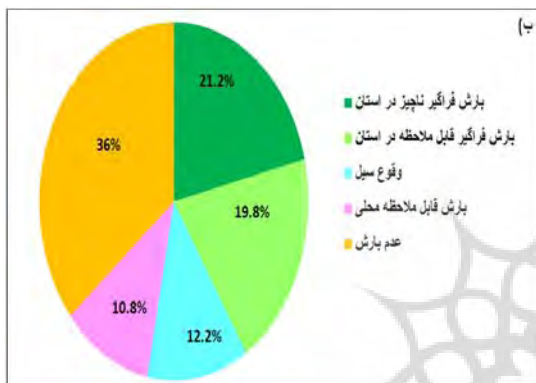
مآخذ: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

نقش تعیین کننده‌ای در وقوع آن داشته است. شاخص همرفتی $SI=2/16$ بیانگر حالت پایداری در لایه میانی جو و شاخص‌های $KI=32/5$ ، $TTI=47$ و $LCL=754$ ناپایداری قابل توجهی را در جو نشان می‌دهد (شکل ۱۶). نمودار ترمودینامیکی در تراز ۸۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌باری میزان رطوبت را در جو نشان می‌دهد و از لایه میانی میزان رطوبت کاهش می‌یابد. از نظر تغییرات جهت باد به غیر از لایه ۲۵۰ تا ۴۰۰ میلی‌باری در سایر لایه‌ها جهت باد تقریباً ثابت بوده و مقدار سرعت باد نیز کم است. بطور کلی در لایه‌های پایین جو حالت ناپایداری نسبی وجود دارد.

در نقشه‌های همدیدی ترازهای ۷۰۰ و ۸۵۰ میلی‌باری این روز سامانه پشته به صورت سامانه بندالی پرفشار بریده (Ring of High) ظاهر شده است (شکل ۱۵). در نتیجه تقویت سامانه کم‌ارتفاع در شمال غرب ایران سلول هوای سرد عمیقی در ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ میلی‌باری شکل گرفته که به شکل سلول‌های بسته‌ی هوای سرد (به ترتیب با دمای +۱۰ و ۰ درجه) و در تراز ۵۰۰ میلی‌باری به صورت زبانه‌ای از هوای سرد با درجه حرارت -۱۵ درجه سانتیگراد ظاهر شدند (شکل ۱۴). تحت تأثیر شرایط همدیدی شمال غرب کشور بارندگی‌هایی در استان آذربایجان شرقی گزارش گردید که به نظر می‌رسد استقرار استخر عمیقی از هوای سرد

وقوع استخر هوای سرد و پراکندگی بارش را در استان در زمان رخداد آن نشان می‌دهد. در بین ماههای مورد مطالعه بیشترین فراوانی وقوع در ماه مه با ۳۲ مورد و کمترین آن در ماه اکتبر با ۹ مورد می‌باشد.

تحلیل فراوانی سالانه و ماهانه‌ی استخر هوای سرد
استخر هوای سرد در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۷ لغایت ۲۰۱۳ برای ماههای مه تا اکتبر مورد مطالعه قرار گرفت. در این بازه ۱۱۸ مورد پدیده استخر هوای سرد شناسایی گردیده است. شکل ۱۷ نمودار فراوانی سالانه



شکل ۱۷: الف) نمودار فراوانی ماهانه استخر هوای سرد، ب) پراکندگی بارش در استان در زمان وقوع سلول هوای سرد تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۳

نتایج نشان داد که در بین ماههای مورد مطالعه بیشترین فراوانی وقوع استخر هوای سرد در ماه مه است. عملکرد سامانه‌هایی که تحت تأثیر پدیده استخر هوای سرد سطوح فوقانی می‌باشد، بیشتر از شرایط همرفتی محلی و صعود اروگرافیک (محیطی) تأثیر می‌پذیرند. استخر هوای سرد ممکن است به صورت سلول بسته و یا زبانه تراف دمایی شدید ظاهر شود. شرایط بارش با همراهی سامانه‌های چرخندی (کم فشار بریده و یا زبانه سطوح فوقانی) و استخر هوای سرد عملکرد شدیدتری دارد. به عبارتی استخر هوای سرد عامل تشدید بارش می‌باشد. بررسی مقادیر بارش ثبت شده در ایستگاههای هواشناسی حاکی از آن است که در ۶۴٪ مواقع استخر هوای سرد حاکم بوده در ایستگاههای هواشناسی بارندگی رخ داده و در ۱۲/۲ درصد موارد وقوع بارندگی شدید باعث سیل شده است. گاهی در هنگام شکل‌گیری استخر هوای

در زمان رخداد استخر هوای سرد ۶۴ درصد با بارش و ۳۶ درصد با عدم بارش همراه بوده است. پراکنش بارش در استان به صورت ذیل می‌باشد:
۱- ۲۱/۲ درصد بارش فراگیر ناچیز در استان
۲- ۱۹/۸ درصد بارش فراگیر قابل ملاحظه در استان
۳- ۱۲/۲ درصد وقوع سیل
۴- ۱۰/۸ درصد بارش قابل ملاحظه محلی
۵- ۳۶ درصد عدم بارش (بدون ثبت بارش در ایستگاههای هواشناسی)

نتیجه

در این تحقیق با استفاده از نقشه‌های سطوح فوقانی (ترازهای ۵۰۰، ۷۰۰، ۸۵۰ میلی‌باری)، ترمودینامیک (SkewT) و مقادیر بارش به بررسی نقش استخر هوای سرد سطوح فوقانی در شکل‌گیری و تشدید بارش‌های شمال غرب کشور در دوره‌ی گرم سال پرداخته شد.

منابع

- امیدوار، کمال (۱۳۸۶). تحلیل شرایط سینوپتیکی و ترمودینامیکی رخداد بارش در منطقه‌ی شیرکوه، پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۵۹، صفحات ۹۸-۸۱.
- اشجعی‌باشکند، محمد (۱۳۷۹). بررسی و ارائه‌ی مدل‌های سینوپتیکی بارش‌های سنگین در شمال غرب ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. استاد راهنما محمد خیراندیش. دانشگاه تربیت مدرس.
- جهانخشا، اصل، سعید؛ حسن ذوالفقاری (۱۳۸۰). بررسی الگوهای سینوپتیکی بارش‌های روزانه در غرب ایران، تحقیقات جغرافیایی. شماره ۶۳، صفحات ۲۵۸-۲۳۴.
- صلاحی، برومند (۱۳۸۹). بررسی ویژگی‌های آماری و همبندی طوفان‌های تندی استان اردبیل، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی. شماره ۷۲، صفحات ۱۴۲-۱۲۹.
- عبادی، رقیه (۱۳۹۰). تحلیل و مقایسه رژیم‌های بارش منطقه شمال غرب کشور با کاربرد روش‌های آماری چند متغیره، استاد راهنما مجید رضایی‌بنفشه و سعید جهانخشا. دانشگاه تبریز.
- عزیزی، قاسم؛ معصومه نیری؛ شیما رستمی‌جلیلیان (۱۳۸۸). تحلیل سینوپتیک بارش‌های سنگین در غرب کشور، فصلنامه جغرافیای طبیعی. شماره ۴، صفحات ۱۳-۱.
- قوبدل‌رحیمی، یوسف (۱۳۹۰). کاربرد شاخص‌های ناپایداری جوی برای آشکارسازی و تحلیل دینامیک طوفان تندی روز ۵ اردیبهشت ۱۳۸۹ تبریز، شماره ۳۴، صفحات ۲۰۸-۱۸۲.
- فرجی، عبدالله؛ مهدی دوستکامیان؛ زهرا صفری (۱۳۹۴). واکاوی همبندی الگوی زمانی و مکانی بارش‌های تندی (مطالعه موردی: استان زنجان)، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی. شماره ۱۴، صفحات ۶۶-۴۱.
- کریم‌خانی، مهناز؛ فروزان ارکیان (۱۳۹۳). بررسی نوع طوفان‌های تندی منجر به سیل در منطقه آذربایجان شرقی، شانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران. صفحات ۲۶۱-۲۵۷.

سرد بارش تگرگ گزارش شده است که عامل اصلی آن اختلاف مشهود دمایی سطح زمین با سطوح فوقانی می‌باشد. با این شرح که اختلاف دمایی تراز ۸۵۰ با ۵۰۰ میلی‌باری حداقل ۲۰ درجه سانتیگراد بوده و دمای تراز ۵۰۰ میلی‌باری کمتر از ۱۵- درجه سانتیگراد باشد. هر چه این اختلاف از ۱۵- کمتر باشد احتمال وقوع تگرگ بیشتر می‌باشد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که علت عدم وقوع بارش در زمان وقوع پدیده استخر هوای سرد عبارتند از: ۱- عمیق نبودن تراف (یا سلول) دمایی، ۲- عدم ناپایداری، ۳- اثر جریان‌های ناپایداری حرارتی و مکانیکی. اگر جریان‌های ناپایداری حرارتی و مکانیکی اثر مخالف با هم داشته باشند ناپایداری تضعیف و بارش صورت نمی‌گیرد و اگر موافق هم باشند جریان ناپایداری تقویت شده و بارش مناسب رخ می‌دهد.

قدردانی و تشکر

اساس و مبانی پایه‌ی این تحقیق بر گرفته از تجربیات علمی کارشناس هواشناسی استان آذربایجان شرقی آقای مهندس مجید سلطانی می‌باشد که طی ۳۰ سال فعالیت در امر پیش‌بینی‌های جوی به نقش بارز استخر هوای سرد در فرایند بارش‌ها در شمال غرب و برخی مناطق دیگر کشور پی برده‌اند. لذا ضمن تقدیر و تشکر از زحمات ایشان افتخار علمی این یافته علمی از طرف نگارندگان به ایشان تقدیم می‌گردد. همچنین لازم به توضیح است که مقاله‌ی حاضر بخشی از طرح مطالعاتی اداره کل هواشناسی آذربایجان شرقی می‌باشد که بدینوسیله از مدیریت هواشناسی استان جناب آقای مهندس مطلبی‌فر جهت تأمین بودجه لازم برای انجام پژوهش تقدیر و تشکر می‌نماید.

- Liebermann, b., Jones, C., DE Carvalho, L (2001). Interannual variability of daily extreme precipitation events in the State of Sa o Paulo, Brazil. *Journal of Climate*, Vol 14, 208-219.
- Lu, W., and Zhong, S (2014). Anumerical study of a persistent cold air pool episode in the salt Lake Valley, Utah, *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, Vol 119, 1732-1752.
- Matlik, O, and Piia, P (2008). Synoptic weather type that have caused heavy precipitation in Estonia in period 1961-2005, *Estonia Journal of Engineering*, Vol 14, Pages 195-208.
- Mohapatra, M., and Mohanty, U. C (2005). Some characteristics of very heavy rainfall over Orissa during summer monsoon season, *Journal of Earth System Science*, Vol 114, Pages 17-36.
- Reeves, H. D & Stensrud, D. J (2009). Synoptic-Scale Flow and Valley Cold Pool Evolution in the Western United States, *Weather and Forecasting*, Vol 24 Pages 1625-1643.
- Zangl, G (2004). Formation of Extreme Cold-Air Pools in Elevated Sinkholes: An Idealized Numerical Process Study, *Monthly Weather Review* Vol 133, Pages 925-941.
- Zangl, G (2005). Wintertime Cold-Air Pools in the Bavarian Danube Valley Basin: Data Analysis & Idealized Numerical Simulations, *Journal of Applied Meteorology*, Vol 44, Pages 1950-1971.
- Zangl, G (2005). Dynamical Aspects of Wintertime Cold-Air Pools in an Alpine Valley System, *Monthly Weather Review*, Vol 133, Pages 2721-2740.
- لشگری، حسن (۱۳۷۵). الگوی سینوپتیکی بارش‌های شدید جنوب غرب ایران، رساله دکتری اقلیم‌شناسی. استاد راهنما هوشنگ قائمی. دانشگاه تربیت مدرس.
- محمدی، محمدرضا (۱۳۸۱). تحلیل همدیدی بارش‌های ساحل جنوبی دریای خزر در شش ماه سرد سال، مجله علوم و فنون دریایی ایران. شماره ۲. صفحات ۶۱-۷۲.
- Chevuturi, A., Dimri, A.P., Das, S., Kumar, A., Niyogi, D (2015). Numerical simulation of an intense precipitation event over Rudraprayag in the central Himalyas during 13-14 September 2012, *Journal of Earth System Science*, Vol 124, Pages 1545-1561.
- Corfidi, S.F (2003). Cold Pools and MCS propagation: Forecasting the motion of download-developing MCSs. *Weather and Forecasting*, Vol 18, Pages 997-1017.
- Done, J (2004). The next generation of NWP: explicit forecasts of convection using the weather research and forecasting (WRF) model, *Atmospheric Science Letters*, Vol 5, Pages 110-117.
- Engerer, N. A., Stensrud D. J (2008). Surface characteristic of observed cold pools, *Monthly Weather Review*, Vol 136, Pages 4839-4849.
- Iijima, Y; Shinoda, M (2000). Seasonal changes in the cold-air pool formation in a subalpine hollow, central Japan, *International Journal of Climatology*, Vol 20, Pages 1471-1483.
- Lesage, A.T (2013). Frontal pasaje and cold pool detection using Oklahoma Mesones observations. A thesis for Master of Science, department of Atmospheric Science, The university of Utah.
- Liasat, M.C., Martin, F., Barrera, A (2007). From the concept of “Kalufttropfen” (cold air pool) to the cut-off low. The case of September 1971 in Spain as an example of their role in heavy rain falls, *Meteorological Atmospheric Physics*, Vol 96, Pages 43-60.



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی