نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال دوم، شماره ٤، زمستان١٣٩٤
صفحات ١١٢- ٩٥

بررسی همدیدی روزهای بسیار آلوده درشهرمشهد
مورد مطالعه: ۱۳و۱۴نوامبر۲۰۰۷

طاهره سلطانی گردفرامرزی[1]، دکتری اقلیم شناسی، آموزش و پروش استان خراسان رضوی
عباس مفیدی، استادیار اقلیم شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد.
امیر گندمکار، استادیار آب و هواشناسی گروه جغرافیا ، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.

دریافت مقاله:۱۳۹۴/۰۶/۰۱ پذیرش نهایی: ۱۳۹۴/۰۹/۲۶

چکیده

به منظور تحلیل همدیدی روزهای بسیار آلوده در۱۳و۱۴ نوامبر ۲۰۰۷ از یک روش تحلیل همدیدی ترکیبی استفاده شد. در پژوهش حاضر، چهار دسته داده، شامل داده های آلودگی ثبت شده در ایستگاه های سنجش آلودگی هوا، داده های رقومی جوی، داده های ایستگاه جو بالا و خروجی های مدلHYSPLIT مورد استفاده قرار گرفت. داده های آلودگی هوا از سازمان حفاظت محیط زیست خراسان رضوی، داده های جوی از مرکز ملی پیش بینی محیطی/مرکز ملی پژوهش جو(NCEP/NCAR) و داده های جو بالای ایستگاه مشهد از دانشگاه وایومینگ تهیه شد. ردیابی ذرات معلق نیز با بهره گیری از نسخه آنلاین مدل لاگرانژینیHYSPLIT و با استفاده از روش ردیابی پسگرد به انجام رسید. نتایج تحلیل همدیدی بیانگر آن است که روزهای بسیار آلوده ۱۳و۱۴نوامبر۲۰۰۷در شهر مشهد در قالب الگوی پرفشار مهاجرقابل طبقه بندی است .در الگوی پرفشار مهاجر،عبور امواج غربی از روی منطقه، استقرار پشته ای قوی در محدوده رشته کوه های اورال و دریای خزر را در پی دارد که با یک اریب شرق سو شکل گیری مرکز گردش واچرخندی را در حدفاصل دریای خزر تا بخش های شمالی خراسان در ترازهای زیرین موجب می گردد.دراین الگو شاهد شکل گیری همزمان چند لایه کم ضخامت وارونگی در زیر تراز ۴۰۰ هکتوپاسکال هستیم.

واژگان کلیدی: روزهای آلوده، تحلیل همدیدی،مشهد.

[1]- نویسنده مسئول
Email: ta.soltani@yahoo.com

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.4.95]

مقدمه

مساله آلودگی هوا درشهرهای بزرگ به دلیل وجودمنابع متعددآلاینده ازقبیل خودرو،صنایع ،وسایل گرمایشی،فعالیت های ساختمانی وتجاری طی چنددهه اخیرتشدیدشده ونگرانی های بسیاری رادرپی داشته است.(گلبازوهمکاران،۱۳۸۸) ساختار و ویژگی های محلی آلودگی هوا در یک شهر، از یک سو متأثر از فعالیت های انسانی و انرژی های مصرف شده ناشی از تمرکز و تراکم بالای جمعیت شهری و از سوی دیگر به نظام طبیعی حاکم بر منطقه، بویژه ساختار فیزیوگرافی و گردش منطقه ای و محلی جو وابسته است. بر همین اساس، پیدایش آلودگی هوا در فضای شهری و میزان شدت و گستردگی مکانی آن تنها با لحاظ نمودن شیوه زندگی شهروندان، رفتار جامعه شهری و نوع و کیفیت فعالیت های انسانی قابل تبیین نبوده، بلکه برای هر مرکز فعالیت شهری آلوده، ترکیب پیچیده ای از عوامل طبیعی و انسانی در تعیین ویژگی ها و ساختار محلی و منطقه ای آلودگی هوا نقش بازی می کند. در این میان، ظهور روزهای بسیار آلوده همراه با شرایط آلودگی بحرانی از خصوصیات بارز کلان شهرها می باشد،که با اثرات منفی بسیارگسترده برای ساکنین این شهرها و بطور کلی محیط زیست شهری همراه است. بروز آلودگی های حدّی در هوای شهری و ظهور شرایط بحرانی در غلظت آلاینده های جوی، پدیده ای است که در چند سال اخیر به دفعات درکلان شهرهای ایران بوقوع پیوسته و اثرات منفی گسترده ای را در پی داشته است. (سایت تابناک، ۱۳۹۱) در بررسی مطالعات اقلیمی مربوط به آلودگی هوای شهری، برخی از پژوهش ها تیپ بندی همدیدی الگوهای گردش جو را اساس بررسی های خود قرار داده اند (Comrie ، ۱۹۹۰ Kalkstein،Davis)(۱۹۸۶ ، -Kalkstein,Corrigan)(۱۹۸۶Yap، Heidorn) (et al؛۲۰۰۷ Chen)(۱۹۹۸ ، et al –Shahgedanova)(۱۹۹۵ McGregor,Bamzelis)(۱۹۹۲ ، Comrie,Yarnal)(۱۹۹۰ Flocas ، ۲۰۰۹؛ Davis et al ، ۲۰۱۰). این دسته از مطالعات، از دو رهیافت اصلی جهت مطالعه آلودگی هوای شهری استفاده نموده اند. در رهیافت اول، اساس مطالعات بر تحلیل دستی (Subjective) روابط بین آلاینده های شهری و تیپ های همدیدی، بنا نهاده شده است. در رهیافت دوم از روش های تحلیل کمّی(Objective) جهت انجام پژوهش ها استفاده شده است. علاوه بر دو رهیافت اولیه یادشده، در سال های اخیر و در راستای فراهم نمودن درک عمیق تری از روابط بین الگوهای گردش جو و آلودگی هوای شهری، روش های تکامل یافته تری موسوم به «روش های ترکیبی» نیز مورد استفاده برخی پژوهشگران قرار گرفته است. موضوع تحقیق حاضر ایجاب می کند تا مروری هرچند مختصر از نتایج پژوهش های انجام شده در چارچوب سه رهیافت فوق ارائه گردد.در بررسی ارتباط بین تیپ های همدیدی و آلودگی هوای شهری، در یک ارزیابی کلی از پژوهش های انجام شده، مدل چرخندکلاسیک برون حاره، با برخی ملاحظات محلی، اساس طبقه بندی همدیدی را شکل می دهد .رهیافت یاد شده بطور موفقی برای کل و یا بخش هایی از آمریکای شمالی (Davis,Kalkstein, L. S.، ۱۹۹۰)(Comrie، ۱۹۹۰؛(Comrie,,and Yarnal ، ۱۹۹۲؛ (Schwarzhoff, and Reid ، ۲۰۰۰)، انگلستان (McGregor, and Bamzelis ، ۱۹۹۵؛) ,۲۰۱۰ Baker)، مسکو (Shahgedanova et al ، ۱۹۹۸)، چین و تایوان (Chen et al؛۲۰۰۱-۲۰۰۸ (Chen et al) (Wang et al ، ۲۰۱۰)، هنگ کنک (Yuen et al ، ۱۹۹۸)، فلسطین اشغالی (Dayan et al ، ۲۰۰۲)، آتن (Sindosi et al ، ۲۰۰۳) و بسیاری از مناطق شهری جهان به کار گرفته شده است. پژوهشگران درکاربست این رهیافت بر این باورند که گردش جو در مقیاس همدیدی از عوامل اصلی تعیین میزان تغیرات و وردایی های روزانه آلاینده های هوای شهری به شمار می آید. (Comrie,,and Yarnal۱۹۹۲) از این دست مطالعات می توان به پژوهش های Kalkstein et al ، ۱۹۹۶؛ Davis et al ۲۰۱۰؛ Hu et al ، ۲۰۱۰ وSando et al ، ۲۰۱۱ اشاره نمود. برای مثال(Davis et al ۲۰۱۰) برای تبیین وردایی های روزانه مقادیر ازن سطحی در دره ای واقع در ایالت ویرجینیا از یک روش ترکیبی استفاده نموده اند. در این پژوهش علاوه بر بکارگیری روش«طبقه بندی همدیدی

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.4.95]

فضایی» (Sheridan ،٢٠٠٢) از ردیابی پسگرد ذرات معلق نیز استفاده شد.نتایج تحقیق بیانگر آن است که روش ترکیبی یادشده، نتایجی کامل تر و دقیق تر را در قیاس با بکارگیری مجزای هریک از روش های فوق در پی خواهد داشت. بکارگیری روش ترکیبی، بخصوص در تعیین منشأ آلودگی های کوتاه مدت (مقیاس روزانه)،کارایی بالایی را از خود نشان داده است.درایران نیز(علیجانی ١٣٨٢؛ ١٣٨۴) با استفاده از روش های تحلیل کمّی به شناسایی تیپ های همدیدی مؤثر بر آلودگی هوای تهران پرداخت. ایشان در بررسی های خود با بهره گیری از تحلیل خوشه ای و تحلیل مؤلفه های اصلی، تعداد ۶ تیپ همدیدی برای روزهای آلوده ی شهر تهران استخراج نمود. نتایج بیانگر آن است که عمده روزهای آلوده شهر تهران به ماه های پاییزی تعلق داشته و در عین حال، تیپ های گردش واچرخندی (تیپ های مداری و واچرخند مهاجر) بیش از سایر تیپ های گردشی در بروز روزهای آلوده نقش ایفاء نموده اند. (بیدختی و شرعی پور ١٣٨٨) به بررسی نقش شرایط هواشناختی ترازهای بالای جو بر وقوع روزهای دارای آلودگی حاد در شهر تهران پرداختند. یافته ها حکایت از آن دارد که محور جت جنب حاره نقش مهمی در بروز بیشینه و کمینه آلودگی هوا در شهر تهران دارد. بدین ترتیب که در روزهای آلودگی حاد، محور جت جنب حاره امتدادی نصف النهاری به خود گرفته و در ترازهای فوقانی و میانی جو با استقرار پشته ای بر روی منطقه همراه می شود. در مقابل، در روزهای کمینه آلودگی، جت با استقرار ناوه ای بر روی خاورمیانه همراه گشته و در امتداد مداری گسترش می یابد. نکته دیگر آن که، آلودگی های حادِ شهر تهران در درجه اول به افزایش غلظت ذرات معلق (PM_{10}) مربوط می شود.(عزیزی وهمکاران ١٣٩٢)بااستفاده از الگوهای همدیدی جوبه بررسی تاثیرآن درشدت جزیره گرمایی شهرتهران پرداختند.تحقیقات انجام شده در رابطه با آلودگی هوا در شهر مشهد، بیانگر آن است که علیرغم افزایش غلظت آلاینده های جوی و بروز پدیده حاد آلودگی هوا در این شهر، پدیده یادشده در کلانشهر مشهد کمتر مورد توجه محققین قرار گرفته و به همین جهت جنبه های مختلف این معضل محیطی چه در مقیاس محلی و چه در مقیاس منطقه ای کمتر آشکار گردیده است. از نخستین تحقیقات انجام شده می توان به طرح جامع آلودگی هوای شهر مشهد در سال ١٣٧٧ اشاره نمود. و می توان به بررسی آلودگی هوای ناشی از استقرار ٣ نیروگاه در حاشیه شهر مشهد،وپژوهش (موسوی و همکاران، ١٣٨٢)درمورد میزان انتشار ذرات معلق درکارخانجات تولید آسفالت در حاشیه شهر مشهد (منصوری و علی نژاد، ١٣٨٨)ارزش گذاری اقتصادی آلودگی هوا در شهر مشهد (قربانی و فیروز زارع، ١٣٨٨ و بررسی و اندازه گیری منابع آلودگی هوای شهر مشهد (فهیمی فرد و افشار، ١٣٨٩) اشاره نمود. آنچه مسلم است تعداد پژوهش هایی که بطور مستقیم و یا غیر مستقیم نقش شرایط اقلیمی و هواشناختی در آلودگی هوای شهر مشهد را مورد توجه قرار داده اند بسیار معدود و انگشت شمارند. از آن جمله، (علیجانی و نجفی نیک ،١٣٨٨) وارونگی های دمایی شهر مشهد را از منظر همدیدی مورد توجه قرار داده اند،در پژوهش یادشده با استفاده از داده های جو بالای ایستگاه مشهد، تعداد ٣٢۴ روز دارای وارونگی دمایی برای یکدوره ١٧ساله (١٩٩٣-١٩٧٧) استخراج گردید. داده های شبکه بندی شده فشار تراز دریا برای روزهای فوق با استفاده از روش های تحلیل عاملی و تحلیل خوشه ای مورد پردازش قرار گرفت و در نهایت وارونگی های دمایی شهر مشهد در ارتباط با ٧ تیپ گردشی طبقه بندی شد. یافته ها حکایت از آن دارد که شدت و فراوانی وقوع وارونگی های دمایی در ایام سرد سال به بیشینه خود رسیده و در عین حال در این دوره از سال وارونگی های دمایی شهر مشهد از تداوم و پایداری بیشتری در قیاس با سایر فصول سال برخوردارند. همچنین (جهانشیری،١٣٨٩) با استفاده از داده های روزانه منواکسیدکربن و ذرات معلق (PM_{10}) برای یکدوره یک ساله (سال ١٣٨٨)، سامانه های فشاری مؤثر بر افزایش آلودگی هوا در شهر مشهد را مورد بررسی قرار داد. برای انجام بررسی، از داده های ٨ ایستگاه سنجش آلودگی هوا که درسطح شهر مشهد پراکنده گردیده اند، استفاده شد. نتایج بررسی منجر به شناسایی پنج الگوی همدیدی برای روزهای آلوده درکلانشهر

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.4.95]

مشهدگردید که در میان الگوهای تعیین شده، سامانه های کم فشار نیز از نقش قابل توجهی برخوردار بوده اند. در یکی از جدیدترین پژوهش های صورت گرفته؛ (صادقی و همکاران ۱۳۹۳) روزهای بسیار آلوده در شهر مشهد را با بهره گیری از یک روش ترکیبی مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. یافته های این تحقیق بیانگر آن است که روزهای بسیار آلوده در شهر مشهد در قالب چهار الگوی گردشی اصلی شامل: الگوی ترکیبی پرفشارسیبری- پشته جنب حاره، پرفشار مهاجر، پشته جنب حاره و الگوی چرخند، قابل طبقه بندی می باشند. در الگوی ترکیبی پرفشار سیبری-پشته جنب حاره، تسلط همزمان زبانه های پرفشار سیبری در ترازهای زیرین وپشته جنب حاره در وردسپهر میانی سبب بروز روزهای بسیار آلوده گردیده است. در الگوی پرفشار مهاجر، استقرار پشته ای قوی در وردسپهر میانی و تسلط مرکز گردش واچرخندی در وردسپهر زیرین برجانب شرقی دریای خزر، ظهور همزمان چند لایه وارونگی در نیمرخ قائم جو را سبب گردیده است. الگوی پشته جنب حاره، تیپ وارونگی فرونشستی را در دوره گرم سال به نمایش می گذارد. در مقابل، در الگوی چرخند، بروز روزهای بسیار آلوده، ناشی از توان جو در برداشت، انتقال و پخش گردوغبار و ذرات معلق است که بواسطه ناپایداری و صعود گسترده هوا به همراه عدم تغذیه رطوبتی مناسب در چرخندهای عبوری حاصل می گردد.بر اساس گزارشات موجود شهر مشهددر ۱۳و۱۴نوامبر ۲۰۰۷در طی یک دوره چند روزه آلودگی بسیار شدیدی را تجربه نموده است. این دوره آلوده از جهات مختلف بسیار برجسته بوده و انجام یک مطالعه مستقل و دقیق را طلب می نماید. انجام یک بررسی دقیق و جامع از نقش فرآیند های جوی والگوهای منطقه ای گردش جو بر پیدایش این دوره بسیار آلوده می‌تواند به نحو مطلوبی ساختار آلودگی بسیار شدید را در کلان شهر مشهد آشکار سازد. بر این اساس هدف پژوهش حاضر بررسی ساختار گردش جو منطقه و تحلیل مقیاس همدیدی شرایط منجر به وقوع روزهای بسیار آلوده نوامبر۲۰۰۷ در شهر مشهد می باشد.

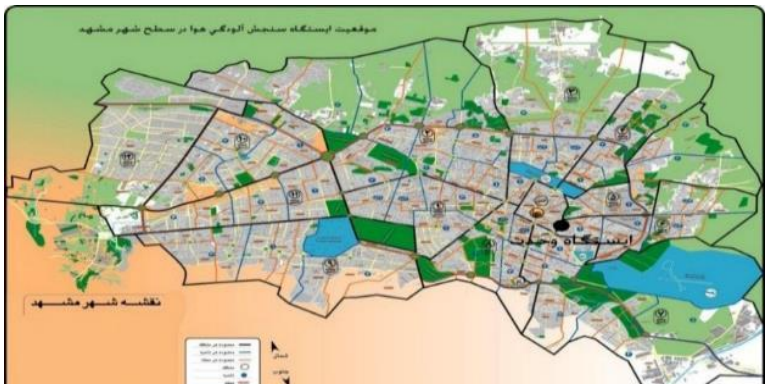
داده ها و روش کار

به منظور تحلیل همدیدی روزهای با هوای بسیار آلوده از یک روش تحلیل همدیدی ترکیبی استفاده شد. از منظر روش شناسی، مطالعه حاضر از رویکرد همدیدی «*محیط به گردش*» سود جسته (یارنال، ۱۹۹۳؛ علیجانی، ۱۳۸۱) و با توجه به محدود بودن روزهای بسیار آلوده در شهر مشهد، از روش تحلیل همدیدی «دستی (Subjective)» جهت پردازش داده ها و تحلیل وضعیت جوی حاکم استفاده نموده است.

در پژوهش حاضر از چهار دسته داده استفاده شد. این داده ها شامل داده های آلودگی ثبت شده در ایستگاه های سنجش آلودگی هوا، داده های رقومی جوی، داده های ایستگاه جو بالا و خروجی های مدلHYSPLIT جهت ردیابی ذرات معلق در جو می گردد. داده های آلودگی هوا مربوط به ایستگاه وحدت واقع در مرکز شهر مشهد بوده (شکل ۱)، که از سازمان حفاظت محیط زیست خراسان رضوی اخذ گردیده است. آلاینده ها شامل منوکسیدکربن، دی اکسید نیتروژن، دی اکسید گوگرد، ازن و ذرات معلق (PM_{10}) می باشند که در مقیاس روزانه و برای یکدوره آماری ۷ ساله (۱۳۹۰-۱۳۸۴) تهیه و مورد پردازش قرار گرفته است. در بررسی وضعیت کیفیت هوا در سطح شهر مشهد اشاره به این نکته ضروری است که شهر مشهد تا سال ۱۳۸۸ تنها از یک ایستگاه سنجش آلودگی هوا (ایستگاه وحدت) برخوردار بوده و متأسفانه از تعداد ۱۰ ایستگاه موجود برای سنجش آلودگی هوا، تنها ایستگاه وحدت از طول دوره آماری مناسب برای مطالعه برخوردار بوده است. بر این اساس، مطالعه حاضر تنها با استفاده

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.4.95]

از داده هـای آلـودگی ثبـت شـده در ایسـتگاه وحـدت بـه انجـام رسـیده و از بهـره گیـری داده هـای سـایر ایسـتگاه هـا بـه جهـت کوتـاه بـودن طـول دوره آمـاری صـرفنظر گردیـده اسـت.برای مطالعـه شـرایط جـو از داده هـای دوبـاره تحلیـل شـده مرکـز ملـی پـیش بینـی محیطـی/ مرکـز ملـی پـژوهش جـوی (NCEP/NCAR) بـا تفکیـک افقـی ۲/۵ × ۲/۵ درجـه (Kalnay, et al ،۱۹۹۶؛ Kistler,et al ،۲۰۰۱) اسـتفاده شـد. داده هـای جـوی شـامل فشـار تـراز دریـا، ارتفـاع ژئوپتانسـیل، سـرعت قـائم و مؤلفـه هـای مـداری(u) و نصـف النهـاری(v) بـاد بـرای ترازهـای مختلـف جـو از ۴۸ سـاعت قبـل و در حدفاصـل زمـانی۶ سـاعته مـی باشـد. عـلاوه بـر آن از داده هـای جـو بـالای ایسـتگاه مشـهد (فرودگـاه مشـهد) بـرای دوره مشـابه اسـتفاده شـد. داده هـای جـو بـالا از سـایت دانشـگاه وایومینـگ (http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html) بـرای روزهـای مـورد مطالعـه اخـذ گردیـده و شـامل دمـای هـوا، دمـای نقطـه شـبنم، جهـت و شـدت بـاد و شـرایط پایـداری و ناپایـداری جـو (بـر اسـاس منحنـی هـای اسـکیوتی- logP) مـی گـردد. ایـن داده هـا بـرای ایسـتگاه مشـهد تنهـا بـرای سـاعت صـفرگرینویچ موجـود مـی باشـند. از خروجـی هـای مـدلHYSPLIT نیـز بـه عنـوان داده هـای تکمیلـی بـرای ردیـابی ذرات معلـق در روزهـای ۱۰تـا۱۵ نـوامبر اسـتفاده شـد. در ایـن مطالعـه نسـخه ۴.۹ مدل HYSPLIT مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۱) موقعیت ایستگاه وحدت در سطح شهر مشهد(منبع مهندسان مشاورنقش پیرامون)

از منظـر روش شناسـی، پـژوهش حاضـر از یـک روش همدیـدی ترکیبـی بـرای شناسـایی نقـش الگوهـای گـردش جـو بـر وقـوع روزهـای بسـیار آلـوده در مشـهد اسـتفاده نمـوده اسـت. پـژوهش در چنـد مرحلـه بـه شـرح زیـر بـه انجـام رسـیده اسـت:- در نخسـتین مرحلـه از تحقیـق بـا بهـره گیـری از داده هـای آلـودگی ثبـت شـده در ایسـتگاه وحـدت (شـکل۱)، وضـعیت آلـودگی هـوا در شـهر مشـهد بـرای یکـدوره ۷ سـاله مـورد بررسـی قـرار گرفـت.وپس ازتجزیـه وتحلیـل آمـاری، روزهـای بسـیارآلوده (PSI > ۲۰۰) درمشـهد شناسـایی گردیـد. بـا توجـه بـه ایـن کـه هـدف از مطالعـه حاضـر تبیـین سـاختار گـردش جـو در مقیـاس همدیـدی بـرای یـک دوره بـا بـالاترین میـزان غلظـت آلاینـده هـای هـوای شـهری در سـطح شـهر مشـهد بـوده اسـت؛ لـذا روزهـای۱۳و۱۴ نـوامبر۲۰۰۷ (۲۲و۲۳آبـان ۱۳۸۶)کـه بـر اسـاس بررسـی انجـام شـده بـالاترین میـزان آلـودگی جـوی را داشـته‌اسـت ،جهـت مطالعـه انتخـاب گردیـد.-در مرحلـه بعـد بـا بهـره گیـری از داده هـای رقـومی دوبـاره تحلیـل شـده از مراکـز ملـی پـیش بینـی محیطـی/ مرکـز ملـی پـژوهش جـوی (NCEP/NCAR) بـا تفکیـک افقـی ۲/۵ × ۲/۵ درجـه (کـالنی و همکـاران، ۱۹۹۶)، الگـوی جریـان و شـرایط جـوی حـاکم ازسـه روز قبـل از

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.4.95]

وقـوع روز آلـوده بـه صـورت ۶ سـاعته مـورد تجزیـه و تحلیـل قـرار گرفـت. بـا بهـره گیـری از داده هـای رقـومی یادشـده، نقشـه هـای فشـار تـراز دریـا، ارتفـاع ژئوپتانسـیل ترازهـای ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسـکال، بـاد بـرداری، تـاوایی نسـبی و، اُمگـا بـه صـورت ترکیبـی بـرای دوروزبسـیار آلـوده تولیـد شـد. سـپس نقشـه هـا مـورد تجزیـه و تحلیـل و مقایسـه قـرار گرفـت و الگـوی همدیـدی غالـب در زمـان وقـوع آلـودگی شـدید در سـطح شـهر مشـهد تعیـین گردیـد. سـپس بـه منظـور فـراهم نمـودن یـک دیـد عمیـق تـر از فرآینـدهای جـوی منجـر بـه وقـوع روز بسـیار آلـوده، از یـک سـری داده هـای مکمـل و پـردازش هـای تکمیلـی اسـتفاده شـد. بـر ایـن اسـاس، ابتـدا ذرات معلـق در ایـن دو روز آلـوده بـا بهـره گیـری از یـک مـدل لاگرانـژی و بـه روش پسـگرد ردیـابی شـد. سـپس بـا اسـتفاده از داده هـای جـو بـالای ایسـتگاه مشـهد، شـرایط ترمودینـامیکی حـاکم در دوره مطالعـه مـورد تجزیـه و تحلیـل قـرار گرفـت. بررسـی ترکیبـی مؤلفـه هـای فـوق، تفکیـک دقیـق تـر الگـوی گردشـی اولیـه را امکـان پـذیر سـاخت.- بـا بهـره گیـری از داده هـای جـو بـالای ایسـتگاه مشـهد، شـرایط جـوی در مقیـاس محلـی بـرای ایـن دوروز بسـیار آلـوده بررسـی شـد. تجزیـه و تحلیـل داده هـای فـوق از ایـن منظـر دارای اهمیـت اسـت کـه درکنـار بررسـی هـای همدیـدی، خصوصـیات مقیـاس محلـی پدیـده آلـودگی هـوا ارزیـابی مـی گـردد. بـا اسـتفاده از داده هـای جـو بـالا، شـرایط پایـداری و ناپایـداری جـو، وجـود و یـا عـدم وجـود وارونگـی دمـا، نـوع و سـطح وارونگـی و جهـت و شـدت بـاد بـرای هریـک از ایـن دوروز مـورد بررسـی قـرار گرفـت. بـرای ایـن منظـور بـا اسـتفاده از داده هـای متنـی دانشـگاه وایومینـگ، منحنـی اسـکیوتی-logP بـه تفکیـک بـرای هـر یـک از روزهـای آلـوده تهیـه شـد.- در ایـن تحقیـق از خروجـی هـای یـک مـدل ردیـابی ذرات معلـق بـرای مطالعـه نحـوه انتقـال ذرات معلـق در روزهـای آلـوده اسـتفاده شـد. بررسـی هـای سـابق حکایـت از آن دارد کـه افـزایش غلظـت آلاینـده هـا و پیـدایش روزهـای بـا آلـودگی بـالا، ارتبـاط تنگـاتنگی بـا انتقـال و پخـش ذرات و آلاینـده هـا در مقیـاس محلـی و یـا منطقـه ای دارد. بـر ایـن اسـاس، جهـت تعیـین نحـوه انتقـال و پخـش ذرات در طـی روزهـای بسـیار آلـوده در شـهر مشـهد از یـک مـدل لاگرانـژی[1] بـا ا امکـان ردیـابی پسـگرد ذرات در ترازهـای مختلـف جـو موسـوم بـه HYSPLIT[2] اسـتفاده شـد (Draxler and Rolph، ۲۰۱۱)بـرای مسـیریابی پسـگرد، ذرات معلـق در ایسـتگاه مشـهد در زمـان اوج آلـودگی در نظـر گرفتـه شـد. در ایـن مطالعـه نسـخه ۹.۴ مـدل HYSPLIT مـورد اسـتفاده قـرار گرفـت و ذرات در دو سـطح ۱۰ ، ۱۰۰۰، ۳۰۰۰ متـری از سـطح زمـین و در حدفاصـل زمـانی ۶ سـاعته تـا ۴۸ سـاعت قبـل ردیـابی شـدند. بـرای اجـرای مـدل از مجمـوع داده هـای FNL اسـتفاده شـد. داده هـای FNL در واقـع داده هـای NCEP هسـتند کـه توسـط لابراتـوار منـابع هـوا وابسـته بـه NOAA مـورد پـردازش مجـدد قـرار گرفتـه اسـت. ایـن داده هـا بـا قـدرت تفکیـک افقـی ۱×۱ درجـه، بـرای ۲۶

[1]-Lagrangian

[2]-HYbrid-Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT)

۱- درهواشناسی دینامیک وبه طریق اولی درمکانیک سیالات دورهیافت اصلی درمطالعه سیالات وجوددارد.رهیافت اویلری ورهیافت لاگرانژی .یک مثال ساده برای درک تفاوت این دورهیافت می تواند بررسی گردش هوا درامتدادنصف النهاری باشد.براین اساس هنگامیکه ما یک مدل سه سلولی ازگردش جورا درهنیمکره تصورکنیم درعین حالی که تمامی ذرات را درامتدادنصف النهاری درنظرمی گیریم ،درآن واحد برای هرذره یک موقعیت ثابت فرض می کنیم که بدین ترتیب بااستفاده ازرهیافت اویلری یک مدل سه سلولی ازگردش جو درهنیمکره تصورنموده ایم که درآن هرذره یک جایگاه ثابت دارداماهنگامی که ماذره ای را(بابسته هوایی را)برروی استوادرنظربگیریم وآن ذره راتارسیدن به مقصدتعقیب نمائیم ویابه عبارتی درصددتصویرسازی حرکت یک ذره دریک بازه زمانی معین باشیم،درواقع برای ردیابی ازرهیافت لاگرانژی استفاده نموده ایم .این رهیافت دربررسی آلودگی هوامسیریابی چرخندها،سن یابی هواکاربردهای گسترده ای داردازآنجایی که دررهیافت لاگرانژی پس ازانتخاب ذره درموقعیت مکانی وزمانی خاص،حرکت آن رادرگام های زمانی دلخواه به سمت زمان های آینده ویابه سمت زمان های گذشته ردیابی نمایند.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.4.95]

تراز فشاری (۱۰۰-۱۰۰۰ هکتوپاسکال) و با گام زمانی ۶ ساعته از جولای ۱۹۹۹ در دسترس می باشند. داده های تحلیل شده عملیاتی مقیاس جهانی نهایی NCEP یا بطور مختصر Final) FNL) از سامانه یکپارچه سازی داده های جهانی (GDAS[۳]) برای تهیه داده های اولیه ورودی به سیستم استفاده می نماید. سامانه GDAS نیز وظیفه جمع آوری داده های مشاهداتی از سراسر جهان را با استفاده از سامانه ارتباط از راه دور (GTS[۴]) و سایر منابع به صورت بی وقفه و پیوسته برعهده دارد. در نهایت داده های FNL با مدلی مشابه مدلی که مرکز ملی پیش بینی محیطی برای تولید داده های سامانه پیش بینی جهانی (GFS[۵]) استفاده می کند تولید می گردد (Stunder ، ۱۹۹۷). بدین ترتیب برای دوره مطالعه، نقشه های مسیر پسگرد انتقال ذرات تهیه شد و روزهای آلوده در شهر مشهد از منظر نحوه انتقال ذرات نیز بررسی شد. در مرحله نهایی، با ترکیب نتایج حاصل از تحلیل های همدیدی، بررسی های محلی داده های جو بالا و ردیابی ذرات در مدلHYSPLIT ، الگوی اصلی گردش جو در ارتباط با روزهای بسیار آلوده در مشهد شناسایی شد. شایان ذکر است در طراحی روش فوق از پژوهش صادقی و همکاران (۱۳۹۳)بهره گرفته شد.

شرح و تفسیر و نتایج

- **بررسی وضعیت آلودگی هوا در ماه نوامبر ۲۰۰۷**

بررسی وضعیت آلودگی هوادرطی دوره ۷ساله و بررسی تمامی آلاینده ها بیانگرآن است که سال ۲۰۰۷آلوده ترین سال دوره موردمطالعه درشهرمشهدبوده است.بطوری که سال یادشده هم ازجهت شرایط متوسط آلودگی ونسبت روزهای آلوده (جدول۱)وهم ازنظرتعدادروزهای باآلودگی بالا(شکل۲)بالاترین ارقام رابه خوداختصاص داده است.درصد روزهای آلوده برای سال ۲۰۰۷، ۷/۹۸ می باشد.ازاطلاعات فوق می توان به این نتیجه رسیدکه تغییرات سال به سال میزان آلودگی هوادرشهرمشهدبیش ازآن که ناشی ازفعالیت های انسانی باشد،تحت تاثیرواداشت های بزرگ مقیاس اقلیمی وتغییرات سال به سال الگوهای گردش جوحاصل می گردد.لازم به ذکراست که ذرات معلق دارای بیشترین مقدارازلحاظ غلظت درمیان سایرآلاینده دراین سال می باشد.

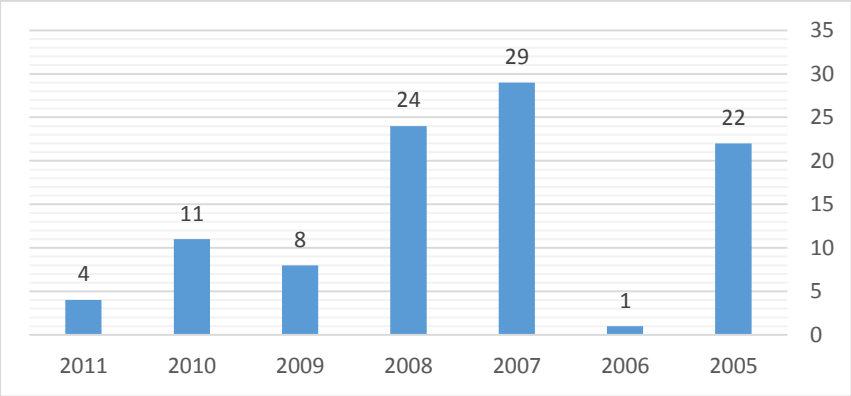
جدول۱: تعدادودرصدسالانه روزهای آلوده درشهرمشهد(۲۰۰۵-۲۰۱۱)

سال	۲۰۰۵			۲۰۰۶			۲۰۰۷			۲۰۰۸			۲۰۰۹			۲۰۱۰			۲۰۱۱		
/	NP%	np	n	NP%	np	n	NP%	np	n	NP%	np	n	NP%	np	n	NP%	np	n	NP%	np	n	NP%	np	n
/	/۱۴	۳۵	۲	/۵۵	۱۸	۱	/۹۸	۳۶	۲	/۱۴	۳	۲	/۳۸	۳۳	۸	/۶۴	۳۰	۱	/۲۴	۳۲	۴
	۶	۸	۲	۰	۱		۷	۳	۹	۷	۳۶	۴	۲	۵		۳	۲	۱	۱	۲	

N[۱] تعدادروزهایی که هوا آلوده بوده (براساس شاخص ۱۵۰) np تعدادروزهای دارای آمار ، NP% درصدروزهای باهوای آلوده

۳-Global Data Assimilation System
۴-Global Telecommunications System
۵-Global Forecast System

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.4.95]



شکل۲: نمودارتغییرات سالانه تعدادروزهای با هوای آلوده شهرمشهد

جهت فراهم نمودن درک مناسب تری ازوضعیت حاکم درروزهای ۱۳و۱۴نوامبر۲۰۰۷،فراوانی ماه به ماه تعدادروزهای آلود درشهرمشهددرکنارتغییرات روزانه آلودگی هوادرماه نوامبرسال یادشده درجدول۲نشان داده شده است.باتوجه به جدول۳ ماه نوامبربا ۱۳روزآلوده، بیشترین تعدادرانسبت به ماههای دیگردارامی باشد.

جدول۲: تعدادروزهای آلوده درطی ماههای سال۲۰۰۷

آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	ژانویه	فوریه	مارس
۰	۱	۱	۰	۲	۱	۰	۱۳	۲	۰	۴	۵

وبررسی تعدادروزهای دارای آلودگی حدی درطی ماه های نوامبردرطی هفت سال هم نشان دهنده این است که ماه نوامبر۲۰۰۷دارای بیشترین تعدادروزهای آلوده می باشد.(جدول۳)

جدول۳: تعداد روزهای آلوده ماه نوامبر سالهای ۲۰۰۵-۲۰۱۱

نوامبر۲۰۰۵	نوامبر۲۰۰۶	نوامبر۲۰۰۷	نوامبر۲۰۰۸	نوامبر۲۰۰۹	نوامبر۲۰۱۰	نوامبر۲۰۱۱
۵	۰	۱۳	۱	۰	۰	۰

بنابراین باتوجه به اینکه پژوهش حاضربررسی آلودگی حدی دردوره ۷ساله می باشد،وچون سال ۲۰۰۷بیشتر ن روزهای آلوده ودارای تداوم رابه خوداختصاص داده است،بنابراین روزهای (۱۳و۱۴نوامبر۲۰۰۷)به عنوان حادترین روزآلوده انتخاب ومودبررسی قرارگرفت.

- **تحلیل همدیدی روزهای بسیار آلوده در شهر مشهد**

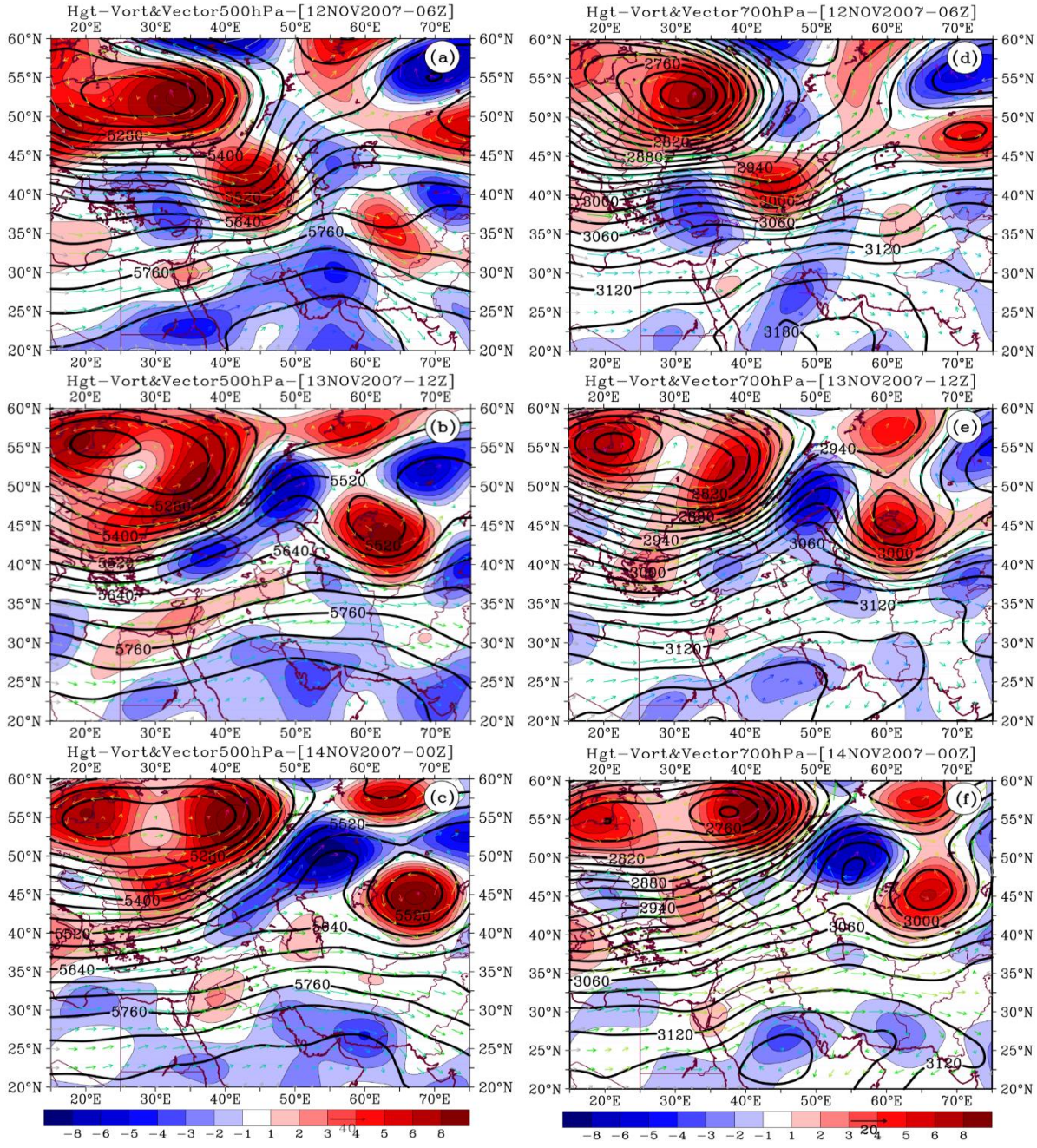
پس از بررسی وضعیت فشار، تاوایی نسبی، مقادیر سرعت قائم، شدت و جهت جریان و مناطق همگرایی و واگرایی هوا در ترازهای مختلف جو، الگوهای همدیدی اولیه برای دوره مورد مطالعه شناسایی شد. اما به جهت فراهم نمودن درکی عمیق تر از ساختار گردش جو، علاوه بر مؤلفه های یاد شده، داده های جو بالا، و خروجی های مدلHYSPLIT نیز مورد استفاده قرار گرفت. تجزیه و تحلیل ترکیبی تمامی مؤلفه های فوق،در نهایت سبب شناسایی الگوی گردشی روزهای آلوده در شهر مشهد گردید. الگوی به دست آمده برای روزهای ۱۳ و ۱۴ نوامبر ۲۰۰۷ الگوی پرفشارمهاجرمی باشد.دراین الگو افزایش بیش از حد غلظت آلاینده ها در شهر مشهد، عمدتاً نتیجه گسترش نصف النهاری امواج

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.4.95]

غربی در منطقه اوراسیا بوده است. در چنین شرایطی و در مراحل عبور موج از روی منطقه، استقرار پشته ای قوی در محدوده رشته کوه های اورال و دریای خزر با یک اریب شرق سو، شکل گیری مرکز گردش واچرخندی را در حدفاصل دریای خزر تا بخش های شمالی خراسان در ترازهای زیرین به همراه داشته، که در نهایت موجب پایداری هوا و افزایش غلظت آلاینده ها در منطقه گردیده است. با توجه به بررسی نقشه های تراز ۵۰۰هکتوپاسکال از یک روزقبل ازروزهای آلوده تا یک روزبعددر الگوی پرفشار مهاجر، یک ناوه نسبتا عمیق همراه باکم ارتفاع بریده درمحدوده شرق اروپا ودریای سیاه تسلط یافته که درجانب راست خود و بر روی نیمه شرقی دریای خزر با گسترش یک پشته همراه گردیده است. (شکل های ۳aو۳b).پشته شرق خزربه واسطه گسترش شمال سوی پر ارتفاع جنب حاره بر روی منطقه خاورمیانه و یکی شدن آن با پشته یاده شده ،یک محدوده گردش واچرخندی گسترده را در ترازهای میانی جو در روز۱۲ نوامبر بر روی بخشهای وسیعی از ایران ایجاد نموده است. استقرار این پشته جنب حاره ای و پشته شرق خزر سبب نزول گسترده هوا در بخش های وسیعی از شمال ایران و غرب خاورمیانه گردیده است (شکل۴a). به طور همزمان شکل گیری یک ناوه همراه با گردش چرخندی درمحدوده شرق دریاچه آرال سبب تشکیل یک سامانه کم فشار در این محدوده و درشرق پشته شده است (شکل۳d). نکته دیگری که ازنقشه های تراز میانی برای روز۱۲ نوامبر می توان اشاره نمود این است که منطقه شمال شرق کشور در این روز در شرایط انتقال از حالت گردش چرخندی به حالت گردش واچرخندی بوده است. به این معنی که در ساعات اولیه روز۱۲ نوامبر نفوذ ناوه دریاچه آرال سبب تسلط یک گردش چرخندی در منتهی الیه شمال شرق کشورگردیده است (شکل ۳d،۳a)که درطی ساعات بعدازظهر به جهت تقویت پشته روی دریای خزر و گسترش شرق سوی آن، منطقه شمال شرق ایران به تدریج گردش واچرخندی را تجربه نموده است. درساعات اولیه روز ۱۳ نوامبر تقویت قابل ملاحظه پشته موج غربی و تداوم گسترش شمال سوی پرفشارجنب حاره ای سبب تسلط گردش واچرخندی بر روی تمامی مناطق واقع در حدفاصل دریای سیاه و دریای خزر و مناطق شمال و شمال شرق ایران گردیده است. (شکل ۳e،۳b)در این زمان به واسطه تسلط گردش واچرخندی و شکل گیری یک مرکز پرفشار در حدفاصل دریای خزر و شمال شرق ایران (شکل۴b) تمامی مناطق واقع درشمال شرق ایران، منطقه دریای خزرتا کوه های اورال یک نزول قوی در ترازهای زیرین جو را تجربه نموده اند (شکل ۳b). این امرسبب پایداری هوا در محدوده مورد مطالعه و شهر مشهد (تفی گرام ۱۳نوامبرشکل ۶b)گردیده است. در واقع استقرار پشته مهاجرموج غربی و نزول دینامیکی ناشی ازآن، ضمن ایجادپایداری هوا غلظت بالای آلاینده های جو را در مشهد به دنبال داشته است. نکته قابل ذکرآن که تقویت وگسترش شمال سوی پشته سبب تقویت گردش چرخندی مستقر بر روی دریاچه آرال شده است و به طورهمزمان یک مرکز کم ارتفاع بسته را درعرض های بالاتر و در شرق پشته و در آسیای مرکزی شکل داده است که به واسطه گسترش پشته موج غربی اثرات آن برروی شمال شرق

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.4.95]

ایـران نـاممکن شـده اسـت (شـکل ۳e،۳b). نتیجـه تسـلط چنـین شـرایطی اسـتقرار یـک مرکـز پرفشـابا هـم فشـار بسـته ۱۰۲۲هکتوپاسـکال بـر روی منطقـه شـمال شـرق ایـران اسـت کـه بـا مقـادیر امگـای حدود۰/۳۰پاسکال برثانیه در این منطقه همراه شده است (شکل۴b).

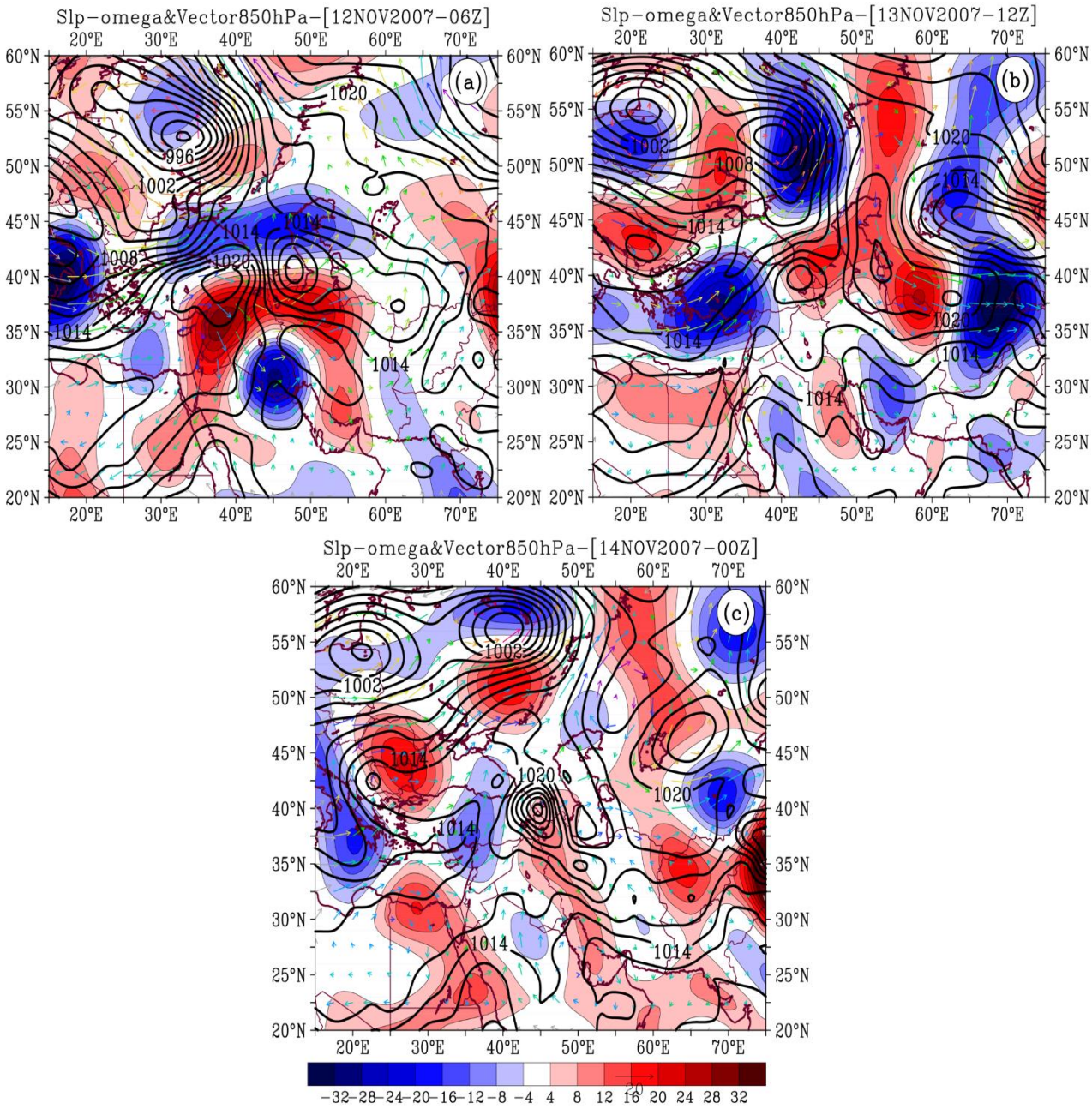


شکل۳) وضعیت همدیدی در الگوی پرفشارمهاجر برای ساعات مختلف روزهای آلوده. ارتفاع ژئوپتانسیل (کنتورها با حدفاصل ۲۵ ژئوپتانسیل متر)، تاوایی نسبی (رنگ ها s^{-1} 10^{-5}*) و باد برداری (پیکان های سبزرنگ) در تراز ۵۰۰ (سمت چپ) و تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (سمت راست).

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.4.95]

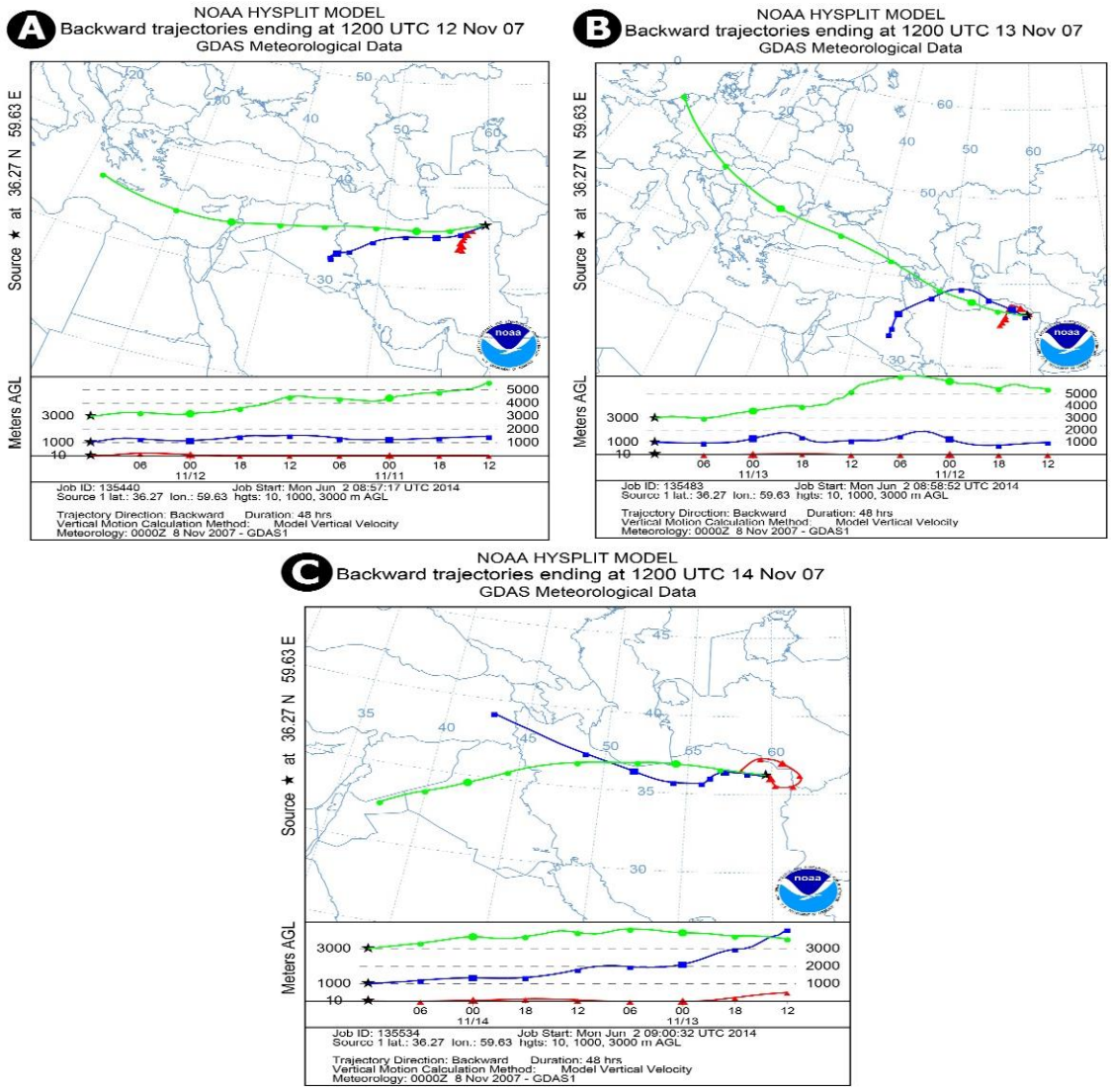
شرایط یادشده درتمامی ساعات روز ۱۳نوامبر بر روی شمال شرق ایران حاکم بوده و در روز ۱۴نوامبر تداوم یافته است که دراین روز همانطوری که شکل ۳f،۳c) نشان می دهند پشته مهاجر موج غربی همچنان در ترازهای میانی بر روی منطقه استقرار داشته و همین امرتداوم گردش واچرخندی و در پی آن تداوم فشاربالا و نزول هوا در محدوده شمال شرق کشور را رقم زده است (شکل۴c). این امرتداوم پایداری و وارونگی دما را در شهر مشهد در پی داشته که غلظت بالای آلاینده ها را نیز برای دو روز متوالی سبب گردیده است.



شکل۴) وضعیت فشار در تراز دریا و سرعت قائم درالگوی پرفشار مهاجر ، (a) ۱۲نوامبر۲۰۰۷ (b)) ۱۳نوامبر۲۰۰۷ و (c) ۱۴نوامبر۲۰۰۷

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.4.95]

در ردیابی پسگرد ذرات معلق در مدل HYSPLIT، بیانگر الگوی مشابهی از مسیر ذرات در سه ارتفاع ۱۰ -۱۰۰۰ و ۳۰۰۰ متری از سطح زمین می باشد. خط قرمزارتفاع ۱۰متری خط آبی ارتفاع ۱۰۰۰متری ودرنهایت خط سبزارتفاع ۳۰۰۰متری رانشان می دهد.در واقع خروجی های مدل برای این الگو، تسلط جریانات واچرخندی را در مسیر حرکت ذرات در منطقه شمال شرق ایران نشان می دهد. تسلط پشته جنب حاره ای در محدوده مرکزی ایران تا شمال دریای خزر سبب گردیده تا در روزهای ۱۳ و ۱۴نوامبر ذرات یک مسیر شرق – جنوب شرقی را برای رسیدن به مشهد طی نمایند (شکل ۵).



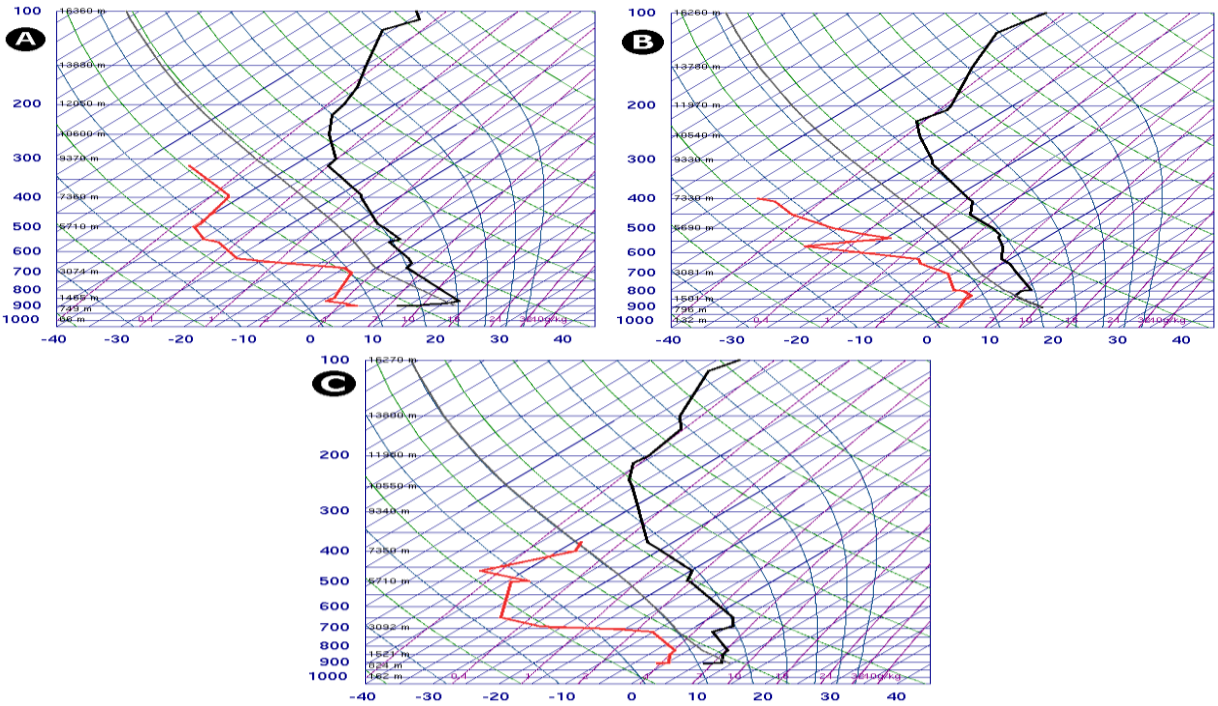
شکل۵) ردیابی ذرات معلق به روش پسگرد برای الگوی پرفشارمهاجر برای روزهای (a) ۱۲نوامبر (b)۱۳نوامبر و (c)۱۴ نوامبر۲۰۰۷. ذرات در شهرمشهد برای ارتفاع ۱۰متری (خط قرمز)و ۱۰۰۰متری (خط آبی) و۳۰۰۰متری (خط سبز) ازسطح زمین از زمان اوج آلودگی تا۴۸ ساعت قبل درحدفاصل زمانی۶ ساعت ردیابی شدند.

- **تحلیل ترمودینامیک روزهای بسیار آلوده**

بررسی ساختار گردش جو در مقیاس همدیدی برای روزهای بسیار آلوده در شهر مشهد منجربه تشخیص الگوی پرفشارمهاجرگردید. در این بخش از تحقیق با استفاده از داده های جو بالای ایستگاه

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.4.95]

مشـــهد (داده هـــای رادیوســـوند) و بهـــره گیـــری از برخـــی داده هـــای مکمـــل، ویژگـــی هـــای ترمودینـــامیکی جـــو در روزهـــای بســـیار آلـــوده بـــرای الگـــوی پرفشـــارمهاجر مـــورد بررســـی قـــرار گرفـــت. نتـــایج ایـــن بخـــش مـــی توانـــد درکـــی عمیـــق تـــر از ســـاز و کـــار حـــاکم بـــر آلـــودگی هـــای حـــدّی در شـــهر مشـــهد فـــراهم نمایـــد.(شـــکل۶)وضـــعیت پایـــداری و ناپایـــداری جـــو و نـــوع و ارتفـــاع لایـــه وارونگـــی را در نمودارهـــای اســـکیوتی بـــرای ایســـتگاه جـــو بـــالای مســـتقر در فرودگـــاه مشـــهد نشـــان مـــی دهـــد. بررســـی نمودارهـــای اســـکیوتی مربـــوط بـــه الگـــوی پرفشـــار مهـــاجر ســـاختار متفـــاوتی را در نیمـــرخ قـــائم نمایـــان مـــی ســـازد. بـــدین معنـــی کـــه درتفـــی گـــرام روز۱۲نوامبرماشـــاهد یـــک وارونگـــی تشعشـــعی قـــوی درروزقبـــل ازوقـــوع آلـــودگی هســـتیم .(شـــکل۶a)درایـــن روز باتوجـــه بـــه منحنـــی هـــای دما،بـــاافزایش دمادرپـــایین تـــرین ترازهـــای جـــودرزیرتراز۸۵۰هکتوپاســـکال مواجـــه هســـتیم .ایـــن درحـــالی اســـت کـــه درترازهـــای بـــالاتروارونگی مشـــخص وبرجســـته ای درایـــن روزمشـــاهده نمـــی گـــردد.درروز۱۳نـــوامبروارونگی تیـــپ تشعشـــعی (وارونگـــی محلی)ناپدیدگردیـــده ودرعـــوض یـــک وارونگـــی ازنـــوع فرونشســـتی درحدفاصـــل تـــراز۸۵۰تـــا۷۰۰هکتوپاســـکال ظاهرگردیـــده است.(شـــکل 6b)وقـــوع ایـــن تیـــپ وارونگـــی بـــه خـــوبی استقرارپشـــته بـــرون حـــاره رابـــرروی منطقـــه شـــمال شـــرق ایـــران وشهرمشهدتوضـــیح مـــی دهـــد.درروز۱۴نـــوامبروارونگی فرونشســـتی روز گذشـــته بـــه بـــالاترازتراز۷۰۰هکتوپاســـکال جابجـــا شـــده ودرعـــین حـــال یـــک وارونگـــی فرونشســـتی دیگرنیزبـــالاترازتراز۵۰۰هکتوپاســـکال ظاهرگردیـــده است.مضـــاف براین،درمجـــاورت ســـطح زمـــین یک وارونگی تشعشعی نیزمشاهده می شود(شکل۶)



شکل۶) نمودارهای اسکیوتی-logP (لگاریتمی فشار) برای ایستگاه رادیوسوند مشهد برای الگوی پرفشارمهاجر در ساعت ۰۰.۰۰ گرینویچ. در تمامی نمودارها، خط های ضخیم سیاه و قرمز به ترتیب معرّف دمای هوا و دمای نقطه شبنم می باشند.
.(http://weather.uwyo.edu)

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.4.95]

نتیجه گیری

در تحقیق حاضر نقش گردش منطقه ای جو و الگوهای فشاردر مقیاس همدیدی در روزهای بسیار آلوده نوامبر ۲۰۰۷ درکلانشهر مشهد مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا سازوکار حاکم بر وقوع دوره آلوده بسیار شدید در این شهر با بهره گیری از یک روش ترکیبی مبتنی بر تحلیل های همدیدی، ترمودینامیک و ردیابی پسگرد ذرات معلق، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بررسی های انجام شده یافته های زیر را در پی داشته است: -روزهای ۱۳و۱۴نوامبر۲۰۰۷(۲۲و۲۳آبان ۱۳۸۶)درمیان روزهای آلوده مشهدبالاترین مقدارغلظت رانشان می‌دهد.-یافته های تحقیق نشان داد که الگوی همدیدی حاکم دوره بسیار آلوده (۱۳و۱۴نوامبر ۲۰۰۷) الگوی پرفشارمهاجر می باشد. بر این اساس، می توان چنین نتیجه گیری نمود که بروز آلودگی های حدّی در مشهد بیش از آن که ریشه در عوامل محلی داشته باشد، حاصل برهمکنش شرایط محلی با گردش جو در مقیاس منطقه ای است. به عبارتی، شهر مشهد تنها زمانی روزهای بسیار آلوده را تجربه خواهد نمود که گردش منطقه ای جو شرایط مناسب برای افزایش غلظت آلاینده ها را فراهم نماید . آنچه مسلم است اینکه در دوره سرد، آلودگی های حدّی ایجاد شده در شهر مشهد عمدتاً ناشی از تسلط سامانه های برون حاره ای (واچرخندهای مهاجر) می باشد.بررسی توامان تحلیل همدیدی دستی، ردیابی پسگرد ذرات معلق و بررسی شرایط ترمودینامیک جو (رویکرد تحلیل همدیدی ترکیبی)، درکی عمیق تر و درعین حال دقیق تر ازشرایط حاکم بر وقوع آلودگی های حدّی در شمال شرق ایران فراهم نموده است .دربررسی خروجی مدلHYSPLIT بیانگر آن است که سامانه پشته مهاجرموج غربی همراه باپشته جنب حاره ای الگوی جریان هوا برروی شمال شرق ایران درروزهای ۱۳و۱۴نوامبر۲۰۰۷ کنترل می نماید.مسیریابی ذرات تسلط یک سامانه واچرخندی رابرروی منطقه نشان می دهد. بررسی نمودارهای اسکیوتی مربوط به الگوی پرفشار مهاجر نیزساختار متفاوتی رانمایان ساخت به این صورت که روز۱۲نوامبر۲۰۰۷ بایک وارونگی تشعشعی که همراه باافزایش دما بودمواجه گردید ودرعوض درروز۱۳نوامبر یک وارونگی ازنوع فرونشستی درحدفاصل تراز۸۵۰تا۷۰۰هکتوپاسکال ظاهرگردیده وتابالاترازتراز۷۰۰هکتوپاسکال نیزرسید.

منابع

انتظاری ، علیرضا.۱۳۸۴. مطالعه آماری و سینوپتیکی آلودگی هوای تهران، رساله دکتری جغرافیای طبیعی-گرایش اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت معلم تهران.

بیدختی، عباسعلی ؛زهراشرعی پور .۱۳۸۸ شرایط هواشناختی جو بالا و وضعیت حاد آلودگی هوا (مطالعه موردی: شهر تهران)، محیط شناسی،**۵۲**: ۱۴-۱.

جهانشیری، مهین.۱۳۸۹. بررسی آماری و سینوپتیکی آلودگی هوای مشهد، پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی-اقلیم شناسی، به راهنمایی علیرضاانتظاری،دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار۵۳-۵۲.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.4.95]

حجازی جویباری، آزاده.۱۳۸۷. بررسی آلودگی هوا و ارزیابی کیفیت هوا در اصفهان، پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک، به راهنمایی اسماعیل حسن زاده، دانشگاه اصفهان، اصفهان.

حسین پور، زینب.۱۳۹۰. تحلیل همدیدی آلودگی هوای شهر تهران با تاکید بر ذرات معلق پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی-اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران به راهنمایی علی اکبر شمسی پور۲۳-۲۵.

روزنامه شهرآرا.۱۳۹۱. طرح جامع کاهش آلودگی هوای مشهد؛ دستورالعمل هست، بودجه نیست! دوشنبه ۲۲مهر، شماره ۹۶۹، ۲.

رنجبر سعادت آبادی، عباس ؛لیلا محمدیان.۱۳۸۹. مطالعه میانگین الگوهای همدیدی بر اساس رخداد غلظت های مختلف آلاینده CO در فصول تابستان و پائیز در تهران، پژوهش های جغرافیای طبیعی، ۷۲: ۱۲۸-۱۱۱.

سایت تابناک.۱۳۹۱.مصاحبه با مشاور وزیر بهداشت جناب آقای آقاجانی، گزارش شماره ۲۹۵۷۶۷: ۱۶دی ماه ۱۳۹۱، (http://www.tabnak.ir/fa/news/۲۹۵۷۶۷).

صفوی، یحیی؛ بهلول علیجانی. ۱۳۸۵. بررسی عوامل جغرافیایی در آلودگی هوای تهران.مجله پژوهش های جغرافیایی، ۵۸: ۱۱۲-۹۹.

صادقی،سلیمان ؛عباس مفیدی ،مهین جهانشیری ،رضادوستان. ۱۳۹۳. نقش گردش مقیاس منطقه ای جوبروقوع روزهای دارای هوای بسیارآلوده درشهرمشهد،جغرافیا ومخاطرات محیطی ، شماره دهم،تابستان۹۳: ۱۰-۱۱.

عزتیان، ویکتوریا.۱۳۸۶. بررسی تأثیر عوامل هواشناسی بر روی شاخص کیفیت هوا در شهر اصفهان، رساله دکتری جغرافیای طبیعی-اقلیم شناسی، گروه جغرافیای دانشگاه اصفهان به راهنمایی جواد خوشحال دستجردی.

عطایی، هوشمند؛ سادات هاشمی نسب.۱۳۹۰.شناسایی و تجزیه و تحلیل الگوهای تراز میانی جو مؤثر در آلودگی هوای شهر اصفهان، مجله پژوهش و برنامه ریزی شهری، ۲ (۴): ۱۱۲-۹۷.

علیجانی، بهلول.۱۳۸۱.اقلیم شناسی سینوپتیک، انتشارات سمت، ۲۰-۵.

علیجانی، بهلول.۱۳۸۲.شناسایی تیپ های هوایی مؤثر برآلودگی هوای تهران، سومین کنفرانس منطقه ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، ۲۹ مهر تا ۱ آبان، دانشگاه اصفهان.

علیجانی، بهلول.۱۳۸۴.رابطه بین توزیع فشار و تراکم آلاینده ها در تهران، پژوهش های جغرافیایی،

علیجانی، بهلول؛زهرانجفی نیک.۱۳۸۸.بررسی الگوهای سینوپتیکی اینورژن در مشهد با استفاده از تحلیل عاملی، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه ای، ۱۲: ۱۲-۱.

علیجانی، بهلول؛ عباس مفیدی؛ زین العابدین جعفرپور؛علیرضا بیدختی.۱۳۹۰. الگوهای گردش جو بارش های تابستانه جنوب شرق ایران در ماه جولای۱۹۹۴، *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۳۷ (۳): ۲۰۵-۲۲۷.

علیجانی، بهلول. (۱۳۸۲)، شناسایی تیپ های هوایی مؤثر برآلودگی هوای تهران، سومین کنفرانس منطقه ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، ۲۹ مهر تا ۱ آبان، دانشگاه اصفهان.

عزیزی،قاسم؛ علی اکبرشمسی پور؛ مجتبی مهدیان ماه فروزی؛ مرتضی میری.۱۳۹۲.تاثیرپذیری شدت جزیره گرمایی شهری تهران ازالگوهای همدیدی جو،مجله محیط شناسی ،دوره ۳۹،شماره ۴،

فهیمی فرد، محمد؛ فهیمه افشار. ۱۳۸۹. بررسی و اندازه گیری آلودگی هوای شهر مشهد، دومین

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.4.95]

کنفرانس برنامه ریزی و مدیریت شهری، ۲۹ و ۳۰ اردیبهشت ماه، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۴
قربانی، محمد؛علی فیروز زارع .۱۳۸۸.ارزش‌گذاری ویژگی‌های مختلف آلودگی هوا در مشهد، مجله تحقیقات اقتصادی، ۸۹: ۲۴۱-۲۱۵ .
قسامی، طاهره؛ علیرضا بیدختی؛عبدالله صداقت کردار؛ فاطمه صحرائیان.۱۳۸۶. بررسی شرایط همدیدی حاکم در چند دوره بحرانی آلودگی هوای شهر تهران، علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۹ (۳): ۲۳۸-۲۲۹.
کریمی، صادق.۱۳۹۱. بررسی پیوند بین گردش اتمسفری در مقیاس همدید و تغییرات غلظت ازون تروپوسفری در کلانشهر تهران، رساله دکتری جغرافیای طبیعی-اقلیم شناسی، گروه جغرافیای دانشگاه سیستان .
گلریز ضیائی، زهرا؛ حمیدصادقی؛محمد معتمدی ؛ میترا ژاله رجبی.۱۳۹۰. پیش بینی، ارزشگذاری و ترسیم نقشه آلودگی هوای شهر مشهد؛ مطالعه موردی گاز منوکسید کربن، اولین کنفرانس اقتصاد شهری ایران, مشهد، ۲ و ۳ آذر ماه.
گلباز،سمیه؛ مهدی فرزادکیا؛ مجیدکرمانی.۱۳۸۸.بررسی کیفیت بهداشتی هوای تهران درسال۱۳۸۷باتکیه برشاخص کیفیت هوا،فصلنامه سلامت کارایران دوره ۶،شماره۴،زمستان۸۸.
لشکری، حسن؛ پریسا هدایت.۱۳۸۵.تحلیل الگوی اینورژن شدید شهر تهران، پژوهش های جغرافیایی، ۵۶: ۸۲-۶۵.
مفیدی ،عباس.۱۳۸۶.تحلیل گردش جو تابستانه بر روی جنوب غرب آسیا و ارتباط آن با بارش های تابستانه جنوب شرق ایران،رساله دکتری جغرافیای طبیعی-گرایش اقلیم شناسی،دانشگاه تربیت معلم تهران،۱۶۵
موسوی، محمد؛ سارا بحرپیما؛ رضا رضازاده.۱۳۸۲. بررسی آلودگی هوای ناشی ازسه نیروگاه موجود در شهر مشهد با استفاده از مدل گوس، چهارمین همایش ملی انرژی، کمیته ملی انرژی جمهوری اسلامی ایران، تهران .۹
منصوری، نبی الله ؛ جواد علی نژاد.۱۳۸۸. بررسی کارآیی سیستم های کنترل کننده ذرات معلق و تعیین میزان انتشار در کارخانجات آسفالت مشهد، علوم و تکنولوژی محیط زیست ،۱۱(۱): ۹-۱.
مهندسان مشاور فرنهاد.۱۳۸۷. طرح توسعه و عمران (جامع) کلانشهر مشهد مقدس؛ مطالعات پایه محیط طبیعی، وزارت مسکن و شهرسازی، شهرداری مشهد، ۱۶۷.
واثقی، الهه؛ منصوره زیبایی ، (۱۳۸۷)، پیش بینی آلودگی هوای شیراز، محیط شناسی، سال سی و چهارم، ۴۷: ۷۲-۶۵.

Air Weather Service, ۱۹۹۰. The Use of the Skew-T, log P Diagram in Analysis and Forecasting,Technical report, AWS/TR-۷۹/۰۰۶, Scott Air Force Base, Illinois ۶۲۲۲۵-۵۰۰۸, ۱۶۴ pp.
Baker, J.۲۰۱۰. A cluster of long range air transport pathway and associated pollutant concentration within the UK .Atmospheric Environment., ۴۴: ۵۶۳-۵۷۱.
Cheng, C.S., Campbell, M., Li, Q., Li, G., Auld, H., Day, N., Pengelly, D., Gingrich, S., Yap, D.۲۰۰۷. A synoptic climatological approach to assess climatic impact on air quality in south-central Canada, Part I: historical analysis, Water, Air, and Soil Pollution, ۱۸۲: ۱۳۱–۱۴۸.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.4.95]

Chen, Z.H., Cheng, S.Y., and Li, J.B., Guo, X.R., Wang, W.H., and Chen, D.S.۲۰۰۸. Relation between atmospheric pollution processes and synoptic pressure patterns in northern China, Atmos. Enviorn., ۴۲: ۶۰۷۸-۶۰۸۷.

Cheng, W.L., Pai, J.L., Tsuang, B.J., and Chen, C.L.۲۰۰۱. Synoptic patterns in relation to ozone concentrations in west-central Taiwan, Meteorol. Atmos. Phys., ۷۸:۱۱–۲۱.

Comrie, A.C. ۱۹۹۰. The climatology of surface ozone in rural areas: a conceptual model. Progress in Physical Geography, ۱۴: ۲۹۵–۳۱۶.

Comrie, A.C., and B. Yarnal.۱۹۹۲. Relationships between synoptic-scale atmospheric circulation and ozone concentrations in metropolitan Pittsburgh, Pennsylvania, Atmos. Environ., Part B, ۲۶: ۳۰۱–۳۱۲.

Davis, R. E., Kalkstein, L. S.۱۹۹۰. Using a spatial synoptic climatological classification to assess changes in atmospheric pollution concentrations. Phys. Geogr., ۱۱: ۳۲۰-۳۴۲.

Davis, RE., Normile, CP., Sitka, L., Hondula, DM., Knight, DB., Gawtry, SP., and Stenger, PJ. ۲۰۱۰. A comparison of trajectory and air mass approaches to examine ozone variability, Atmos. Environ., ۴۴(۱): ۶۴-۷۴.

Dayan, U., and Levy, I.۲۰۰۲. Relationship between synoptic-scale atmospheric circulation and ozone concentrations over Israel, J. Geophys. Res., ۱۰۷(D۲۴): ۴۸۱۳, doi:۱۰.۱۰۲۹/۲۰۰۲JD۰۰۲۱۴۷.

Doswell, C. A., III, and E. N. Rasmussen. ۱۹۹۴. The effect of neglecting the virtual temperature correction on CAPE calculations. Wea. Forecasting, ۹, ۶۲۵–۶۲۹.

Draxler RR., and Rolph GD.۲۰۱۱. HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory), Model access via NOAA ARL READY Website (http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT. php). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.

Flocas, H. Kelessis, A. Helmis,C., Petrakakis, M., Zoumakis, M., and Pappas, K.۲۰۰۹.Synoptic and local scale atmospheric circulation associated with air pollution episodes in an urban Mediterranean area, Theor. Appl. Climatol., ۹۵(۳-۴): ۲۶۵-۲۷۷.

Heidorn, K. C., and Yap, D.۱۹۸۶.A synoptic climatology for surface ozone concentrations in southern Ontario (۱۹۷۶– ۱۹۸۱), Atmos. Environ., ۲۰: ۶۹۵–۷۰۳.

Hu, Y., Chang, M.E., Russell, A.G., and Odman, M.T.۲۰۱۰. Using synoptic classification to evaluate an operational air quality forecasting system in Atlanta, Atmospheric Pollution Research, ۱: ۲۸۰–۲۸۷, DOI:۱۰.۵۰۹۴/APR.۲۰۱۰.۰۳۵.

Kalkstein, L. S., Corrigan, P. R.۱۹۸۶. A synoptic climatological approach for geographical analysis: assessment of sulfur dioxide concentrations. Annals of the Association of American Geographers, ۷۶: ۳۸۱-۳۹۵.

Kalkstein, L.S., Nichols, M.C., Barthel, D.C., and Greene, S.J.۱۹۹۶. A new spatial synoptic classification: Application to air-mass analysis, Int. J. Climatol., ۱۶: ۹۸۳-۱۰۰۴.

Kalnay, E., and ۲۱-Co-Authors.۱۹۹۶. The NCEP/NCAR ۴۰-year reanalysis project, Bull. Amr. Met. Soc., ۷۷: ۴۳۷-۴۷۱.

Kistler, R., and ۱۶-CoAuthors.۲۰۰۱. The NCEP/NCAR ۵۰-Year Reanalysis Project, Bull. Amr. Met. Soc., ۸۲: ۲۴۶-

Lam, K. C., and S. Cheng.۱۹۹۸. A synoptic climatological approach to forecast concentrations of sulfur dioxide and nitrogen oxides in Hong Kong, Environ. Pollution, ۱۰۱: ۱۸۳–۱۹۱.

McGregor, G. R., and Bamzelis, D.۱۹۹۵. Synoptic typing and its application to the investigation of weather air pollution relationships, Birmingham, United Kingdom, Theor. Appl. Climatol., ۵۱ (۴): ۲۲۳-۲۳۶.

Moncrieff, M. W., and Miller, M. J.۱۹۷۶. The dynamics and simulation of tropical cumulonimbus and squall lines. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., ۱۰۲; ۳۷۳–۳۹۴.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.4.95]

National Weather Service Training Center (NWSTC).۲۰۰۰. Skew-T, Log P Diagram and Sounding Analysis, RTM –۲۳۰, Kansas City, MO ۶۴۱۵۳, ۴۵ pp.

Schwarzhoff, P.J., and Reid, P.D.۲۰۰۰. Classification of meteorological patterns associated with the ozone categories in Kelowna, British Columbia, J. Appl. Meteorol., ۳۹: ۴۶۳–۴۷۰.

Sindosi, O.A, Katsoulis, B.D, and Bartzokas, A.۲۰۰۳. An objective definition of air mass types affecting Athen, Greece; the corresponding atmospheric pressure pattern s and air pollution levels, Enviornmental technology, ۲۴(۸): ۹۴۷-۹۶۲.

Saadatabadi, A.R., Mohammadian, L., and Vazifeh, A.۲۰۱۲. Controls on air pollution over a semi-enclosed basin, Tehran: A synoptic climatological approach, Iranian Journal of Science & Technology, A۴: ۵۰۱-۵۱۰.

Sando, T.R.۲۰۱۱. A climatology of air pollution in the Kansas city metropolitan area, M.A. thesis, Kansas State University, http://krex.kstate.edu/dspace/bitstream/handle/۲۰۹۷/۱۱۹۸۷/ ThomasSando ۲۰۱۱.pdf? sequence=۳

Sheridan, SC.۲۰۰۲. The redevelopment of a weather-type classification scheme for North America. Int. J. Climatol., ۲۲: ۵۱–۶۸.

Stunder, B.J.B.۱۹۹۷. NCEP Model Output –FNL ARCHIVE DATA, TD-۶۱۴۱, Prepared for National Climatic Data Center (NCDC). This document and archive grid domain maps are also available at http://www.arl.noaa.gov/ss/transport/archives.html.

Shahgedanova, M., Burt, T.P., and Davies, T.D.۱۹۹۸. Synoptic Climatology of Air Pollution in Moscow, Theor. Appl. Climatol., **۶۱**(۱-۲): ۸۵-۱۰۲.

Wang, L.-L., Wang, Y.-S., and Li, Y.-Y.۲۰۱۰. Synoptic typing and its application for evaluating climatic impact on air quality in Urumqi, Atmos, Oceanic Sci. Lett., ۳ (۶): ۳۱۲–۳۱۸.

World Health Organization (WHO), ۲۰۱۱. The Top ۱۰ Most Air Polluted Cities in the World, written by M. L. Goldberg, UN Dispatch, ۲۶ Sep. ۲۰۱۱, Available at: http://www.undispatch.com/the-top-۱۰-most-air-polluted-cities-in-the-world-are.

United States Environmental Protection Agency (US-EPA), ۱۹۷۸. Rapid techniques for calculating the pollutant standards index (PSI), EPA--۶۰۰/۴-۷۸-۰۰۲, ۶۸ pp.

United States Environmental Protection Agency (US-EPA), ۱۹۹۸. Guideline for Reporting of Daily Air Quality-Pollutant Standards Index (PSI), EPA Draft, Office of Air Quality Planning and Standards, North Carolina ۲۷۷۱۱, ۲۸ pp.

Yarnal, B.۱۹۹۳. Synoptic Climatology in Environmental Analysis, Belhaven press, ۱-۱۸.

Yarnal, B., Comrie, A.C., Frakes, B., and Brown, D.P., (۲۰۰۱), Developments and prospects in synoptic climatology, Int. J. Climatol., ۲۱: ۱۹۲۳–۱۹۵۰.

Yuen, C.Y., et al.۱۹۹۸. Synoptic weather patterns associated with No_x pollution episodes in Hong Kong urban areas, Proceedings of the air & Waste management Association's Annual Meeting & Exhibition, ۹p.

Ziomas, I., Melas, D., and Zerefos, C.S.۱۹۹۵. Forecasting peak pollutant levels from meteorological variables, Atmos. Environ., ۲۹: ۳۷۰۳–۳۷۱۱. Case study: ۱۳th and ۱۴th of November, ۲۰۰۷.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.4.95]