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 isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[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 (Yap، Heidorn ۱۹۸۶)(Kalkstein,Corrigan- ، ۱۹۸۶)(Kalkstein،Davis ۱۹۹۰) (Comrie ، ۱۹۹۰)(Comrie,Yarnal ، ۱۹۹۲)(McGregor,Bamzelis ۱۹۹۵)(et al –Shahgedanova ، ۱۹۹۸)(Chen ۲۰۰۷؛et al) 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؛) ,Baker ۲۰۱۰)، 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 isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[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 isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[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.

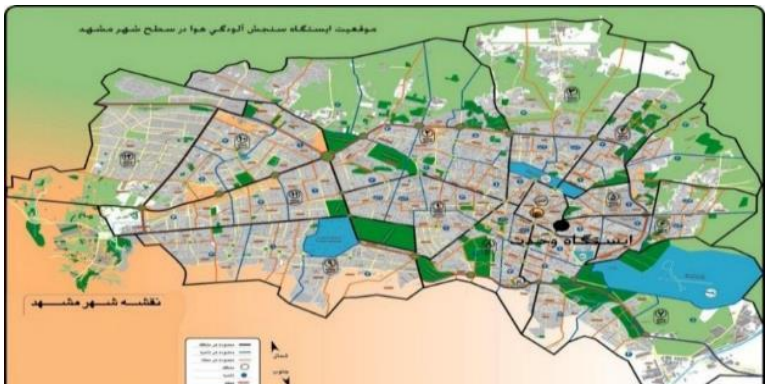
داده ها و روش کار

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 isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.4.95]

از داده هـــای آلـــودگی ثبـــت شـــده در ایســـتگاه وحـــدت بـــه انجـــام رســـیده و از بهـــره گیـــری داده هـــای ســـایر ایســـتگاه هـــا بـــه جهـــت کوتـــاه بـــودن طـــول دوره آمـــاری صـــرفنظر گردیـــده اســـت.برای مطالعـــه شـــرایط جـــو از داده هـــای دوبـــاره تحلیـــل شـــده مرکـــز ملـــی پـــیش بینـــی محیطـــی/ مرکـــز ملـــی پـــژوهش جـــوی (NCEP/NCAR) بـــا تفکیـــک افقـــی ۲/۵ × ۲/۵ درجـــه (Kalnay, et al ،۱۹۹۶؛ Kistler,et al ،۲۰۰۱) اســـتفاده شـــد. داده هـــای جـــوی شـــامل فشـــار تـــراز دریـــا، ارتفـــاع ژئوپتانســـیل، ســـرعت قـــائم و مؤلفـــه هـــای مـــداری(u) و نصـــف النهـــاری(v) بـــاد بـــرای ترازهـــای مختلـــف جـــو از ۴۸ ســـاعت قبـــل و در حدفاصـــل زمـــانی۶ ســـاعته مـــی باشـــد. عـــلاوه بـــر آن از داده هـــای جـــو بـــالای ایســـتگاه مشـــهد (فرودگـــاه مشـــهد) بـــرای دوره مشـــابه اســـتفاده شـــد. داده هـــای جـــو بـــالا از ســـایت دانشـــگاه وایومینـــگ (http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html) بـــرای روزهـــای مـــورد مطالعـــه اخـــذ گردیـــده و شـــامل دمـــای هـــوا، دمـــای نقطـــه شـــبنم، جهـــت و شـــدت بـــاد و شـــرایط پایـــداری و ناپایـــداری جـــو (بـــر اســـاس منحنـــی هـــای اســـکیوتی- logP) مـــی گـــردد. ایـــن داده هـــا بـــرای ایســـتگاه مشـــهد تنهـــا بـــرای ســـاعت صـــفرگرینویچ موجـــود مـــی باشـــند. از خروجـــی هـــای مـــدل HYSPLIT نیـــز بـــه عنـــوان داده هـــای تکمیلـــی بـــرای ردیـــابی ذرات معلـــق در روزهـــای ۱۰تـــا۱۵ نـــوامبر اســـتفاده شـــد. در ایـــن مطالعـــه نســـخه ۴.۹ مدل HYSPLIT مورد استفاده قرار گرفت.



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

از منظـــر روش شناســـی، پـــژوهش حاضـــر از یـــک روش همدیـــدی ترکیبـــی بـــرای شناســـایی نقـــش الگوهـــای گـــردش جـــو بـــر وقـــوع روزهـــای بســـیار آلـــوده در مشـــهد اســـتفاده نمـــوده اســـت. پـــژوهش در چنـــد مرحلـــه بـــه شـــرح زیـــر بـــه انجـــام رســـیده اســـت:- در نخســـتین مرحلـــه از تحقیـــق بـــا بهـــره گیـــری از داده هـــای آلـــودگی ثبـــت شـــده در ایســـتگاه وحـــدت (شـــکل۱)، وضـــعیت آلـــودگی هـــوا در شـــهر مشـــهد بـــرای یکـــدوره ۷ ســـاله مـــورد بررســـی قـــرار گرفـــت.وپس ازتجزیـــه وتحلیـــل آمـــاری، روزهـــای بســـیارآلوده (PSI > ۲۰۰) درمشـــهد شناســـایی گردیـــد. بـــا توجـــه بـــه ایـــن کـــه هـــدف از مطالعـــه حاضـــر تبیـــین ســـاختار گـــردش جـــو در مقیـــاس همدیـــدی بـــرای یـــک دوره بـــا بـــالاترین میـــزان غلظـــت آلاینـــده هـــای هـــوای شـــهری در ســـطح شـــهر مشـــهد بـــوده اســـت؛ لـــذا روزهـــای۱۳و۱۴ نـــوامبر۲۰۰۷ (۲۲و۲۳آبـــان ۱۳۸۶)کـــه بـــر اســـاس بررســـی انجـــام شـــده بـــالاترین میـــزان آلـــودگی جـــوی را داشـــته‌اســـت ،جهـــت مطالعـــه انتخـــاب گردیـــد.-در مرحلـــه بعـــد بـــا بهـــره گیـــری از داده هـــای رقـــومی دوبـــاره تحلیـــل شـــده از مراکـــز ملـــی پـــیش بینـــی محیطـــی/ مرکـــز ملـــی پـــژوهش جـــوی (NCEP/NCAR) بـــا تفکیـــک افقـــی ۲/۵ × ۲/۵ درجـــه (کـــالنی و همکـــاران، ۱۹۹۶)، الگـــوی جریـــان و شـــرایط جـــوی حـــاکم ازســـه روز قبـــل از

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[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 ترازهـای۸۵۰، 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 درهرنیمکره 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 درهرنیمکره تصورنموده ایم که درآن هرذره یک جایگاه ثابت دارداماهنگامی که ماذره ای را(یابسته 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 چرخندهاسن یابی هواکاربردهای گسترده ای دارداز آنجایی 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 isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[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 مدل HYSPLIT ، 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.

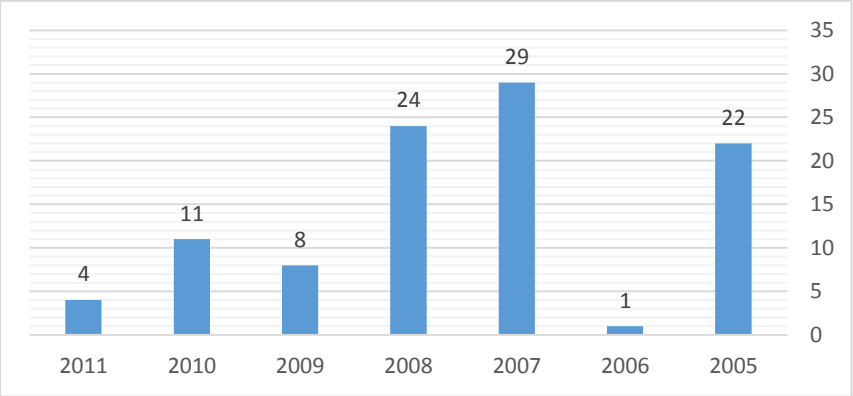
جدول۱: تعدادودرصدسالانه روزهای آلوده درشهرمشهد(۲۰۰۵-۲۰۱۱)

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
/	/۱۴ ۶	۳۵ ۸	۲ ۲	/۵۵ ۰	۱۸ ۱	۱	/۹۸ ۷	۳۶ ۳	۲ ۹	/۱۴ ۷	۳ ۳۶	۲ ۴	/۳۸ ۲	۳۳ ۵	۸	/۶۴ ۳	۳۰ ۲	۱ ۱	/۲۴ ۱	۳۲ ۲	۴

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 isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[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 وموردبررسی قرارگرفت.

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

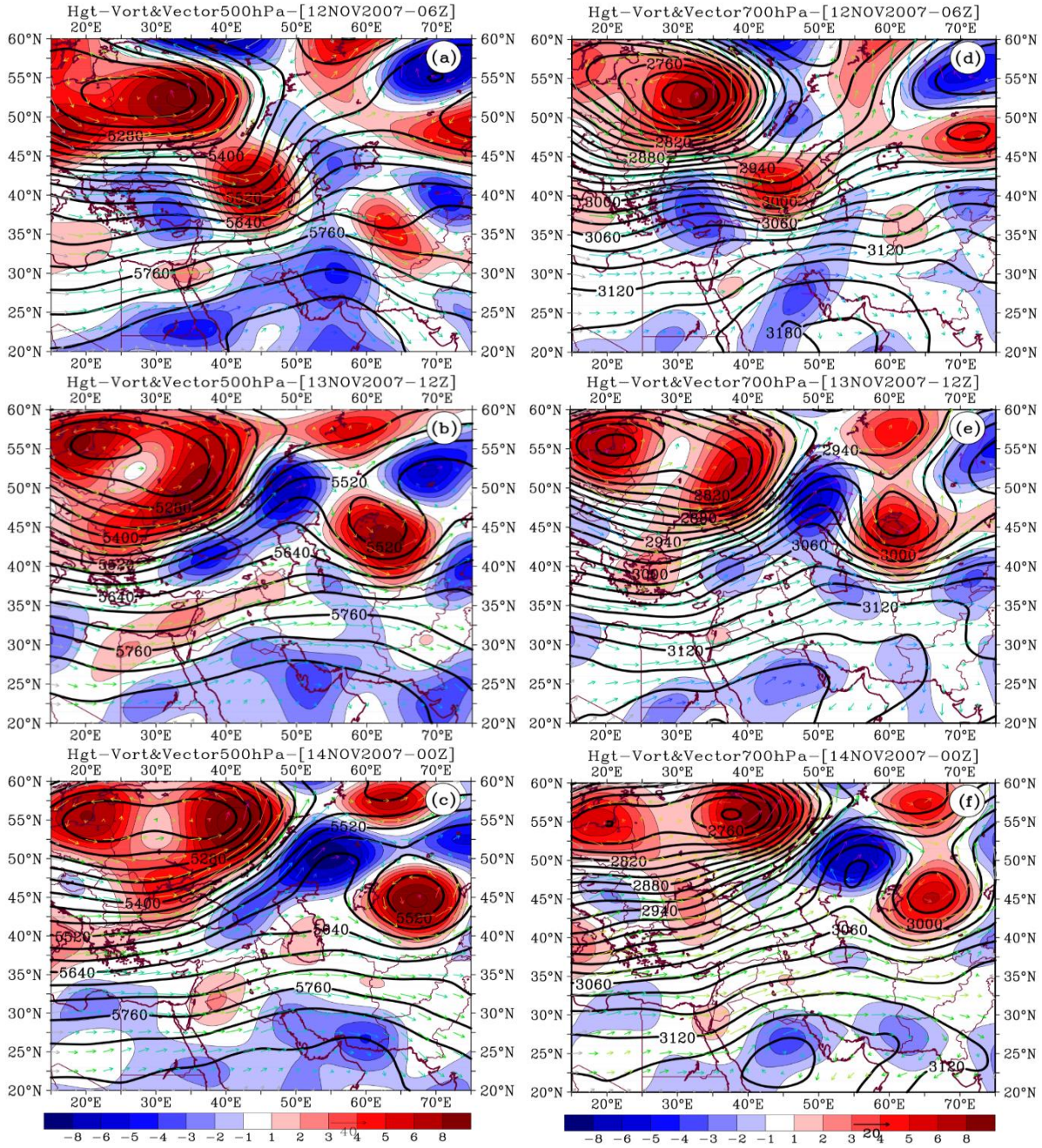
پس از بررسی وضعیت فشار، تاوایی نسبی، مقادیر سرعت قائم، شدت و جهت جریان و مناطق همگرایی و واگرایی هوا در ترازهای مختلف جو، الگوهای همدیدی اولیه برای دوره مورد مطالعه شناسایی شد. اما به جهت فراهم نمودن درکی عمیق تر از ساختار گردش جو، علاوه بر مؤلفه های یاد شده، داده های جو بالا، و خروجی های مدلHYSPLIT 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 isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.4.95]

غربـــی در منطقـــه اوراســـیا بـــوده اســـت. در چنـــین شـــرایطی و در مراحـــل عبـــور مـــوج از روی منطقـــه، اســـتقرار پشـــته ای قـــوی در محـــدوده رشـــته کـــوه هـــای اورال و دریـــای خـــزر بـــا یـــک اریـــب شـــرق ســـو، شـــکل گیـــری مرکـــز گـــردش واچرخنـــدی را در حدفاصـــل دریـــای خـــزر تـــا بخـــش هـــای شـــمالی خراســـان در ترازهـــای زیـــرین بـــه همـــراه داشـــته، کـــه در نهایـــت موجـــب پایـــداری هـــوا و افـــزایش غلظـــت آلاینـــده هـــا در منطقـــه گردیـــده اســـت. بـــا توجـــه بـــه بررســـی نقشـــه هـــای تـــراز ۵۰۰هکتوپاســـکال از یـــک روزقبـــل ازروزهـــای آلـــوده تـــا یـــک روزبعـــددر الگـــوی پرفشـــار مهـــاجر، یـــک نـــاوه نســـبتا عمیـــق همـــراه بـــاکم ارتفـــاع بریـــده درمحـــدوده شـــرق اروپـــا ودریـــای ســـیاه تســـلط یافتـــه کـــه درجانـــب راســـت خـــود و بـــر روی نیمـــه شـــرقی دریـــای خـــزر بـــا گســـترش یـــک پشـــته همـــراه گردیـــده اســـت. (شـــکل هـــای ۳aو۳b).پشـــته شـــرق خزربـــه واســـطه گســـترش شـــمال ســـوی پـــر ارتفـــاع جنـــب حـــاره بـــر روی منطقـــه خاورمیانـــه و یکـــی شـــدن آن بـــا پشـــته یـــاده شـــده ،یـــک محـــدوده گـــردش واچرخنـــدی گســـترده را در ترازهـــای میـــانی جـــو در روز۱۲ نـــوامبر بـــر روی بخشـــهای وســـیعی از ایـــران ایجـــاد نمـــوده اســـت. اســـتقرار ایـــن پشـــته جنـــب حـــاره ای و پشـــته شـــرق خـــزر ســـبب نـــزول گســـترده هـــوا در بخـــش هـــای وســـیعی از شـــمال ایـــران و غـــرب خاورمیانـــه گردیـــده اســـت (شـــکل۴a). بـــه طـــور همزمـــان شـــکل گیـــری یـــک نـــاوه همـــراه بـــا گـــردش چرخنـــدی درمحـــدوده شـــرق دریاچـــه آرال ســـبب تشـــکیل یـــک ســـامانه کـــم فشـــار در ایـــن محـــدوده و درشـــرق پشـــته شـــده اســـت (شـــکل۳d). نکتـــه دیگـــری کـــه ازنقشـــه هـــای تـــراز میـــانی بـــرای روز۱۲ نـــوامبر مـــی تـــوان اشـــاره نمـــود ایـــن اســـت کـــه منطقـــه شـــمال شـــرق کشـــور در ایـــن روز در شـــرایط انتقـــال از حالـــت گـــردش چرخنـــدی بـــه حالـــت گـــردش واچرخنـــدی بـــوده اســـت. بـــه ایـــن معنـــی کـــه در ســـاعات اولیـــه روز۱۲ نـــوامبر نفـــوذ نـــاوه دریاچـــه آرال ســـبب تســـلط یـــک گـــردش چرخنـــدی در منتهـــی الیـــه شـــمال شـــرق کشـــورگردیده اســـت (شـــکل ۳d،۳a)کـــه درطـــی ســـاعات بعـــدازظهر بـــه جهـــت تقویـــت پشـــته روی دریـــای خـــزر و گســـترش شـــرق ســـوی آن، منطقـــه شـــمال شـــرق ایـــران بـــه تـــدریج گـــردش واچرخنـــدی را تجربـــه نمـــوده اســـت. درســـاعات اولیـــه روز ۱۳ نـــوامبر تقویـــت قابـــل ملاحظـــه پشـــته مـــوج غربـــی و تـــداوم گســـترش شـــمال ســـوی پرفشـــارجنب حـــاره ای ســـبب تســـلط گـــردش واچرخنـــدی بـــر روی تمـــامی منـــاطق واقـــع در حدفاصـــل دریـــای ســـیاه و دریـــای خـــزر و منـــاطق شـــمال و شـــمال شـــرق ایـــران گردیـــده اســـت. (شـــکل ۳e،۳b)در ایـــن زمـــان بـــه واســـطه تســـلط گـــردش واچرخنـــدی و شـــکل گیـــری یـــک مرکـــز پرفشـــار در حدفاصـــل دریـــای خـــزر و شـــمال شـــرق ایـــران (شـــکل۴b) تمـــامی منـــاطق واقـــع درشـــمال شـــرق ایـــران، منطقـــه دریـــای خزرتـــا کـــوه هـــای اورال یـــک نـــزول قـــوی در ترازهـــای زیـــرین جـــو را تجربـــه نمـــوده انـــد (شـــکل ۳b). ایـــن امرســـبب پایـــداری هـــوا در محـــدوده مـــورد مطالعـــه و شـــهر مشـــهد (تفـــی گـــرام ۱۳نوامبرشـــکل ۶b)گردیـــده اســـت. در واقـــع اســـتقرار پشـــته مهـــاجرموج غربـــی و نـــزول دینـــامیکی ناشـــی ازآن، ضـــمن ایجادپایـــداری هـــوا غلظـــت بـــالای آلاینـــده هـــای جـــو را در مشـــهد بـــه دنبـــال داشـــته اســـت. نکتـــه قابـــل ذکـــرآن کـــه تقویـــت وگســـترش شـــمال ســـوی پشـــته ســـبب تقویـــت گـــردش چرخنـــدی مســـتقر بـــر روی دریاچـــه آرال شـــده اســـت و بـــه طورهمزمـــان یـــک مرکـــز کـــم ارتفـــاع بســـته را درعـــرض هـــای بـــالاتر و در شـــرق پشـــته و در آســـیای مرکـــزی شـــکل داده اســـت کـــه بـــه واســـطه گســـترش پشـــته مـــوج غربـــی اثـــرات آن بـــرروی شـــمال شـــرق

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[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).

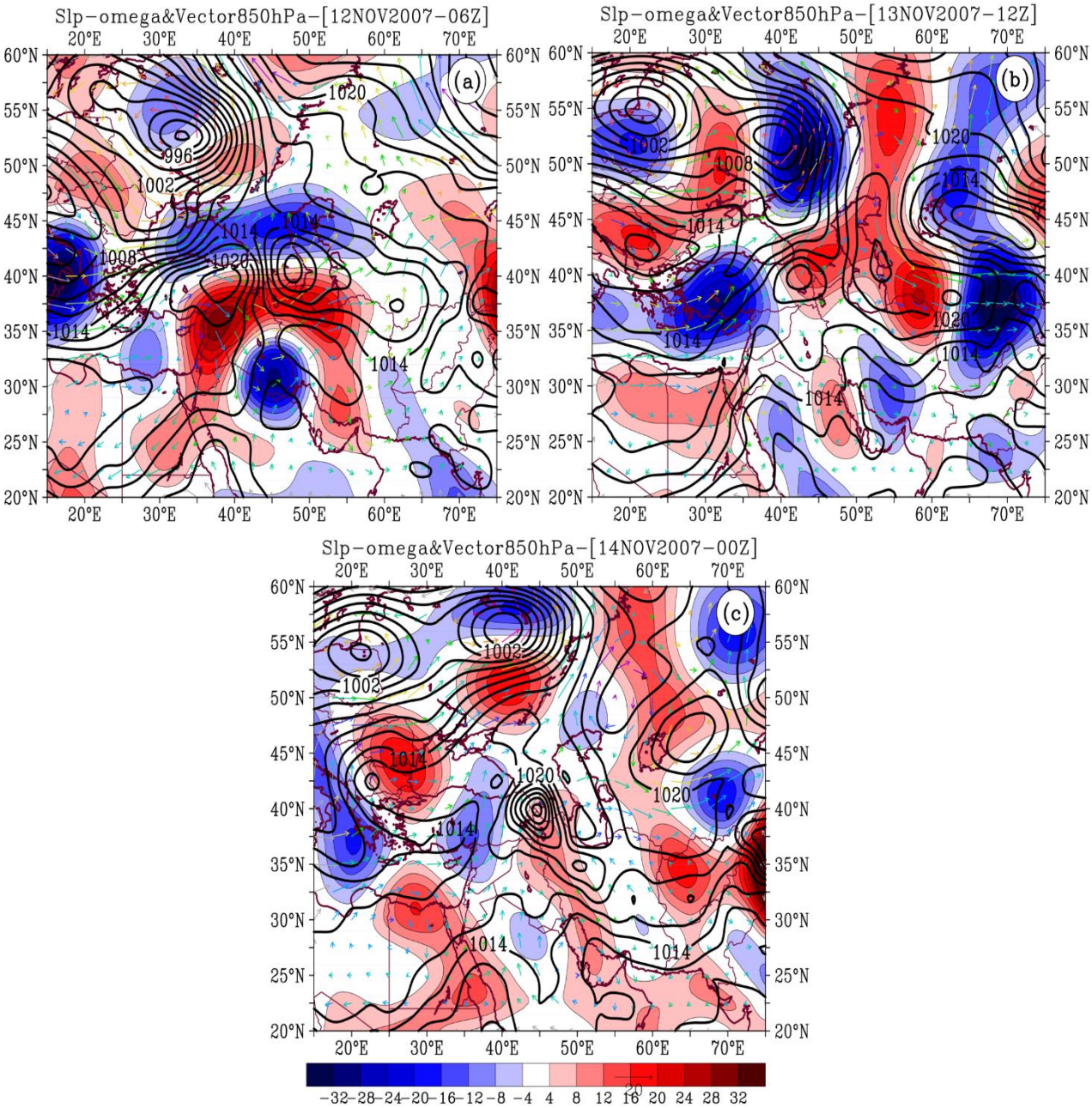


شکل۳) وضعیت همدیدی در الگوی پرفشارمهاجر برای ساعات مختلف روزهای آلوده. ارتفاع ژئوپتانسیل (کنتورها با حدفاصل ۲۵ ژئوپتانسیل متر)، تاوایی نسبی (رنگ ها 10^{-5} s^{-1}*) و باد برداری (پیکان های سبزرنگ) در تراز ۵۰۰ (سمت چپ) و تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (سمت راست).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.4.95]

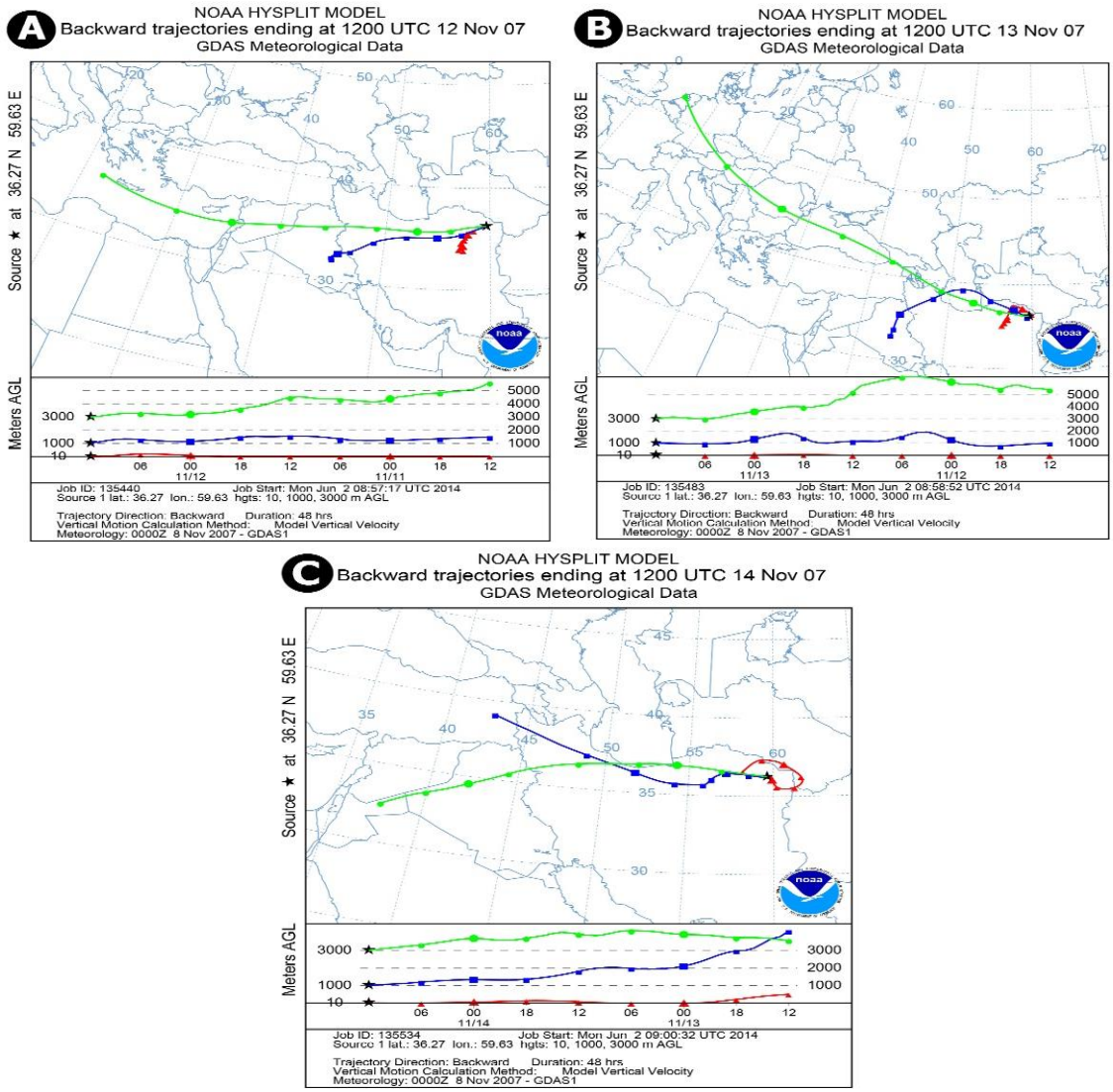
شـــرایط یادشـــده درتمـــامی ســـاعات روز ۱۳نـــوامبر بـــر روی شـــمال شـــرق ایـــران حـــاکم بـــوده و در روز ۱۴نـــوامبر تـــداوم یافتـــه اســـت کـــه درایـــن روز همـــانطوری کـــه شـــکل ۳f،۳c) نشـــان مـــی دهنـــد پشـــته مهـــاجر مـــوج غربـــی همچنـــان در ترازهـــای میـــانی بـــر روی منطقـــه اســـتقرار داشـــته و همـــین امرتـــداوم گـــردش واچرخنـــدی و در پـــی آن تـــداوم فشـــاربالا و نـــزول هـــوا در محـــدوده شـــمال شـــرق کشـــور را رقـــم زده اســـت (شـــکل۴c). ایـــن امرتـــداوم پایـــداری و وارونگـــی دمـــا را در شـــهر مشـــهد در پـــی داشـــته کـــه 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 isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[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).



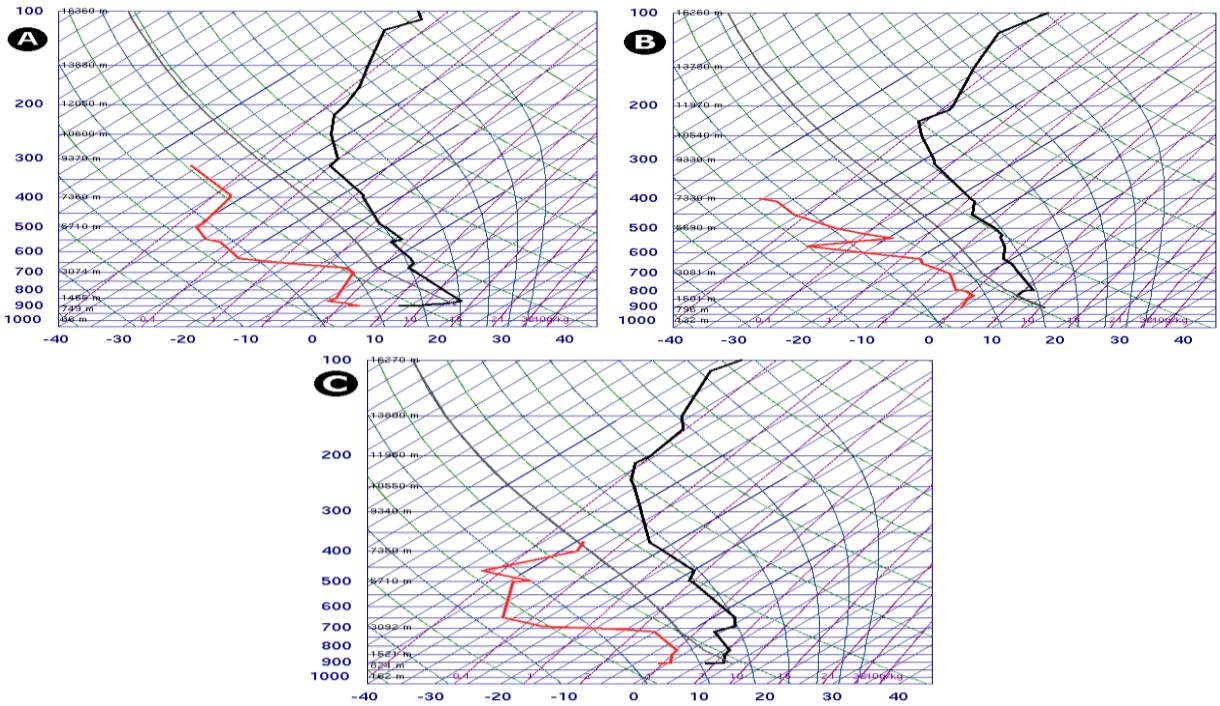
شکل۵) ردیابی ذرات معلق به روش پسگرد برای الگوی پرفشارمهاجر برای روزهای (a) ۱۲نوامبر (b)۱۳نوامبر و (c)۱۴ نوامبر۲۰۰۷. ذرات در شهرمشهد برای ارتفاع ۱۰متری (خط قرمز)و ۱۰۰۰متری (خط آبی) و۳۰۰۰متری (خط سبز) ازسطح زمین از زمان اوج آلودگی تا۴۸ ساعت قبل درحدفاصل زمانی۶ ساعت ردیابی شدند.

- **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 isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[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 ۶b)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 ۰۰.۰ 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 isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[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 isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[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، (۲۹۵۷۶۷* /http://www.tabnak.ir/fa/news).

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): ۲۲۷-۲۰۵.

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 isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[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 isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[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 isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[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 isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.4.95]