نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال سوم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵

صفحات ٦٤-٥١

بررسی تغییرات ارتفاع و ضخامت لایه مرزی در شرایط گردوغباری شهر اهواز

بهروز نصیری، استادیار اقلیم شناسی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

زهرا زارعی چقابلکی[1]، دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

منصور حلیمی، دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

محمد رستمی فتح آبادی، دانش آموخته کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۹/۲۳ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۳/۱۰

چکیده

ارتفاع لایه مرزی، یکی از مهمترین مولفه های تعیین کننده، وسعت آمیزش آلاینده‌ها و کیفیت هوای لایه نزدیک به سطح زمین می‌باشد. هدف اساسی این تحقیق مطالعه تغییرات و ارتفاع و ضخامت لایه مرزی استان خوزستان در شرایط گردوغبار شدید میباشد. در این تحقیق طی یک دوره ۷ روزه (۲۷ژانویه ۲۰۱۵ تا ۱ فوریه ۲۰۱۵) که یک رخداد حاد گردوغبار در استان خوزستان رخ داد ارتفاع لایه مرزی در همان روزها از داده های دقت بالای پایگاه میان برد اروپایی(ECMWF) اخذ گردید، داده های مربوط به غلظت گردوغبار نیز از سنجش های میدانی سازمان محیط زیست بدست آمد در نهایت با تحلیل سینوپتیک و تحلیل فراوانی ارتفاع لایه مرزی و غلظت گردوغبار شرایط لایه مرزی مورد بررسی قرار میگیرد. نتایج نشان داد ارتباط مستقیم و معنی درای بین شدت گرد وغبار و ارتفاع و ضخامت لایه مرزی در استان خوزستان وجود دارد که با در نظر گیری کم فشاری که در منطقه مورد مطالعه در همان روزها در سطوح میانی جو مستقر شده و باعث شده منطقه مورد مطالعه در جلوی فرود حاصله از این سامانه کم فشاری قرار گرفته بگیرد توجیه میشود. بر خلاف آلودگی هوا که غالبا منشا محلی دارند و در شرایطی ایجاد میشوند که شرایط پایداری شدید حاکم بوده و کم بودن ارتفاع لایه مرزی مانع تلاطم و گسترش آلاینده شده و تمرکز آن را در نزدیکی سطح زمین ایجاد میکند، گردو غبار خوزستان در شرایطی ایجاد و تشدید میشود که شرایط ناپایداری برقرار بود این رفتار گردوغبار به این دلیل است که برخلاف آلودگی هوا، گردوغبار منشاء خارجی داشته و توسط سامانه های کم فشار و شرایط سینوپتیک ناپایدار که موجب افزایش ارتفاع لایه مرزی میشوند، وارد منطقه میشود.

واژگان کلیدی: گردوغبار، لایه مرزی، نمودار Skew-T، کم فشار، اهواز

[1]- نویسنده مسئول Email: zzarei۲۹@gmail.com

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.51]

مقدمه

لایه نازک جو که در مجاورت سطح زمین قرار دارد و عمق آن بسته به زمان و شبانه روز و سال و شرایط همدیدی از چند ده متر تا چند کیلومتر تغییر می‌کند، لایه مرزی جو[۲] نامیده می‌شود. توزیع غیر یکنواخت ناهمواری، شار گرمایی و توزیع سرعت باد، لایه مرزی جو را متأثر می‌سازد. در مباحث مربوط به آلودگی هوا، ضخامت لایه مرزی به عمق لایه آمیخته معروف است، زیرا آلودگی که بیشتر در سطح زمین ایجاد می‌شود، از طریق فرایندهای تلاطمی در تمامی این لایه مخلوط می‌شود(احمدی گیوی،۱۳۸۷ :۱۰۷). در اکثر اوقات مرز بالای این ناحیه بطور مشخص بر روی شهرهای بزرگ و صنعتی قابل رویت است. عمق لایه آمیخته در میزان غلظت آلودگی هوا دارای تأثیر مهمی است که خود وابسته به شدت و مدت تابش خورشیدی و سرعت باد می‌باشد. معمولاً پس از گذشت ۲ تا ۳ ساعت از زمان بیشینه تابش خورشیدی، دمای هوای نزدیک سطح زمین به مقدار بیشینه خود می‌رسد، در این زمان همرفت‌های گرمایی در هوای مجاور سطح زمین شکل گرفته و باعث انتقال گرما از سطح به ارتفاعات بالاتر می‌شود و این حرکت‌های قائم باعث ایجاد تلاطم‌های جوی و افزایش شدت ناپایداری می‌گردد. این زمانی است که رشد لایه آمیخته به بیشترین مقدار خود می‌رسد. پس از غروب خورشید وارونگی دمایی شبانه در نزدیکی سطح زمین رخ می‌دهد. این وارونگی دما در اثر سرد شدن سریع سطح زمین به وقوع می‌پیوندد. در این حالت لایه هوای سرد در پائین و لایه هوای گرم در بالای آن قرار می‌گیرد و هوا در وضعیت پایدار قرار می‌گیرد. در نتیجه تجمع آلودگی، در صورت وجود چشمه‌های آلاینده، در لایه نزدیک سطح زمین می‌تواند افزایش یابد. اگر در طول روز شرایط پایدار باقی بماند لایه آمیخته رشد چندانی نخواهد داشت و درنتیجه حجم آلودگی در لایه کم عمق مجاورت سطح زمین باعث کاهش تابش خورشیدی می‌گردد. از طرفی میزان آلودگی هوا با سرعت و جهت باد رابطه دارد با افزایش سرعت باد تلاطم و حرکت‌های قائم در لایه آمیخته افزایش می یابد که سبب پخش آلودگی در حجم بیشتر و درنتیجه کاهش غلظت آلودگی می شود. همچنین اگر باداز سمت مناطق آلوده بوزد، باعث افزایش غلظت آلاینده ها می شود. وارونگی دمایی معمولا بسته به فصل و شرایط آب و هوایی دارای شدت های متفاوتی است(استال[۳] ،۱۹۹۸:۶۷۰) عمق لایه مرزی با روش‌های متفاوتی قابل محاسبه است. این عمق که ضخامت ناحیه تلاطمی نزدیک سطح را نشان می‌دهد، عمدتاً عمق لایه آمیخته و یا عمق آمیختگی نامیده می‌شود(پانوفسکی[۴] و داتون[۵]،۱۹۸۴:۳۹۷) روش هایی که برای تعیین لایه مرزی جو یا عمق لایه آمیخته بکار می‌رود، معمولاً در بررسی آلودگی هوا به کار می‌رود. برآورد کردن عمق لایه آمیخته، یکی از مهمترین پارامترها در مدل پخش آلاینده‌ها است. بیشترین تحلیل‌هایی که برای تشخیص عمق لایه آمیخته صورت می‌گیرد، براساس نمایه قائم دما و یا عدد ریچاردسون بحرانی است. در تعیین عمق لایه آمیخته بر پایه نمایه قائم دما، از ویژگی این لایه که در آن دمای پتانسیلی یکنواخت است، استفاده می‌شود. از سوی دیگر، مدلهای عددی عمدتاً از عدد ریچاردسون بحرانی برای تعیین عمق لایه آمیخته، استفاده می‌کنند. مطالعاتی در خصوص مدلهای لایه مرزی منطقه شهری برای شرایط مختلف پایدار و ناپایدارانجام گرفته است. یکی از آنها مدل رشد لایه آمیخته روزانه جو شهری است که

۲. planetary boundary layer (PBL)
۳. Stull
۴. Panofsky
۵. Dutton

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.51]

توسط دیردروف[۶](۱۹۷۴) انجام شده که با استفاده از آهنگ تغییر عمق لایه آمیخته، غلظت آلودگی هوا را بررسی نموده‌اند. فیناردی[۷] و پلیگنی[۸](۲۰۰۲) شرایط همدیدی حاکم بر یک مورد آلودگی بسیار شدید هوای شهری را در دره پو ایتالیا بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که فرارفت هوای گرم بر روی لایه های سرد نزدیک سطح زمین منجر به ایجاد ساختار دمایی پایدار در اتمسفر پایین می گردد. وارونگی ها و یا نمایه های قائم دمای بسیار پایدار در ارتفاعات صفر و دوهزار متری در موارد آلودگی های شدید دیده می شود. در تحقیقی دیگر هارلی با بهره گیری از روش EDMF ،لایه مرزی همرفت خشک را در بعداز ظهر یک روز تابستانی شبیه سازی کرد. نتایج حاصل از مقایسه این مدل با آزمایشگاه و مشاهدات در چارچوب مقیاس لایه آمیخته نشان داد که روش EDMF می تواند زمینه های اشفتگی در سطوح بالای لایه مرزی را به خوبی پیش بینی کند. هارلی[۹](۲۰۰۷). بر اساس نتایج تحقیقات واردولسکی[۱۰] و کاسمنوس[۱۱](۲۰۰۸) در دو شهر آتن یونان و بیرمنگام انگلیس مشخص شد که طی فصل سرد، همبستگی مثبتی بین آلاینده $PM_{۱۰}$ و آلاینده های CO و NO_x و تابش خورشیدی و همبستگی منفی بین آلاینده $PM_{۱۰}$ و ازن و سرعت باد و بارش وجود دارد و این همبستگی‌ها در طی فصل گرم ضعیف شده است. همچنین بررسی دوره‌های حاد آلودگی $PM_{۱۰}$ در آن دو شهر نشان داده که اکثر این دوره‌ها در بیرمنگام منشأ فرامحلی و در آتن منشأ محلی داشته است. ین[۱۲] و همکاران(۲۰۱۱) تأثیر فضای سبز پارک‌ها بر کاهش غلظت آلاینده‌ها در ۶ پارک واقع در شانگهای چین بررسی کرده‌اند. طبق نتایج آن‌ها میزان کاهش در فصول مختلف سال به‌ترتیب برای آلاینده‌های ذرات معلق ۳۵-۲، برای SO۲، ۲۷-۲ و برای NO۲ ۲۱-۱ درصد محاسبه شده است. بنابراین بیش‌ترین اثر کاهشی فضای سبز بر ذرات معلق بوده است. درایران یکی از اولین مطالعات انجام گرفته ارائه یک مدل انتگرالی برای پیش یابی غلظت آلاینده های هوای تهران توسط بیدختی و بنی هاشم(۱۳۷۶) است که بر اساس شبیه سازی لایه آمیخته و قانون بقای جرم استوار است. نتایج بدست آمده نشان می دهد که غلظت آلاینده ها می تواند در اوایل روز به مقدار بسیار بالایی برسد. احمدی گیوی و همکاران(۱۳۸۷) در مطالعه‌ای به بررسی نوسان عمق لایه آمیخته جو شهری تهران با استفاده از مدل MM۵ پرداختند نتایج نشان داد که روند کلی تغییرات ماهانه عمق لایه آمیخته، خصوصاً در فصل تابستان به علت شرایط آرام جو بوده و مستقیماً از روندهای تغییرات شارهای سطحی پیروی می کند در حالیکه در زمستان، تغییرات شارهای سطحی و نوسانات لایه آمیخته چشمگیر تر است، رشد این لایه بیشتر متأثر از ساختار سامانه های همدیدی و چینش قائم باد است. همچنین قسامی و همکاران(۱۳۸۹)، به مطالعه تغییرات گرادیان قائم دمای پتانسیل در لایه مرزی برای شرایط پایدار شبانه و ناپایدار روزانه در چند دوره بحران آلودگی هوای تهران پرداختند. و به این نتیجه رسیدند که تغییرات مقادیر بیشینه غلظت برخی آلاینده های هوای تهران مانند NOx، ۲SO و CO با تغییرات گرادیان قائم دمای پتانسیل همبستگی خوبی نشان می دهد. این ضریب همبستگی با توجه به حالات بررسی شده دراین مطالعه حدود

[۶] .Deardroff
[۷] .Finardi
[۸] .Pellegini
[۹] .Hurley
[۱۰] . Vardoulakis
[۱۱] .Kassomenos
[۱۲] .Yin

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.51]

۰/۴ می‌باشد. شمسی پور و همکاران(۱۳۹۱)، با شبیه سازی الگوی پراکنش آلودگی شهر تهران در شرایط باد به این نتیجه رسیدند که در شرایط وزش باد، میزان انرژی جنبشی ناشی از سرعت باد افزایش می یابد و درشرایط ناپایدار جوی، با انتقال افقی آلاینده ها و ایجاد حرکات قائم سبب تعدیل آلودگی می گردد. شرعی پور و بیدختی(۱۳۹۳)، با بررسی توزیع مکانی زمانی آلاینده های هوا در شهر تهران برای ماه های سرد سال های ۲۰۱۳-۲۰۱۱ به این نتیجه رسیدند که توزیع مکانی زمانی میانگین آلاینده ها طی ماه دسامبر۲۰۱۲ نشان می‌دهد که غلظت آلاینده‌های گازی از جنوب به شمال و غلظت آلاینده های ذرات معلق از شمال به جنوب و از شرق به غرب افزایش می‌یابد. مقایسه نقشه‌های توزیع آلاینده CO به‌هنگام ظهر و شب نشان می‌دهد که به‌هنگام ظهرگرادیان شدیدی (شمال جنوبی) بر هم مقدارهای آلاینده CO حاکم است و در شب این گرادیان کاهش یافته و توزیع یکنواخت‌تر می شود. این نشان از انتقال آلاینده های گازی توسط باد آناباتیک (دشت به کوه) به سوی شمال در روز هنگام و بر عکس آن در شب با باد کاتاباتیک (کوه به دشت) کوهستان است که اغلب بر این منطقه، به‌ویژه در فصل سرد، حاکم است. عمق لایه مرزی (افزایشی به سوی جنوب) نیز روی این توزیع ها موثر است. کیخسروی و لشکری(۱۳۹۳) به بررسی رابطه بین ضخامت و ارتفاع وارونگی و شدت آلودگی هوا در شهر تهران پرداختند نتیجه مطالعه آنها نشان داد که زمانیکه اینورژن ها به سطح زمین نزدیک شده است بر شدت آلودگی هوا افزوده شده و در اینورژن های با منشأ دینامیکی شرایط اقلیمی به گونه ای است که چایداری عمیقی در لایه های نزدیک سطح زمین ایجاد نموده است. احمدی و محمودی(۱۳۹۲) به تحلیل داده های آلودگی هوای تهران در دهه اخیر (۱۳۸۸-۱۳۷۹)پرداختند نتایج آنها نشان داد که طی یک دهه اخیر کیفیت هوای شهر تهران از نظر آلاینده های مونواکسید کربن، ذرات معلق، دی اکسید گوگرد و دی اکسید نیتروژن بهبود یافته در حالی که در غلظت ازن افزایش یافته است. کزازی و سیاه پیرانی(۱۳۸۹) به تحلیل سینوپتیکی آلودگی هوای شهر تهران پرداختند انها دریافتند که استقرار پرفشار منطقه ای (منطقه ایران)، از نوع سامانه های عرضهای میانی در ناحیه حاکم باشد غلظت آلاینده ها افزایش یافته و بعضاً آنرا دو تا سه برابر، بیشتر از حد مجاز می نماید. ککویلو و اندراد(۲۰۰۲) در تحقیقی که در برزیل درمورد ارتباط سیستم های هواشناسی با غلظت آلاینده ذرات معلق انجام دادند به این نتیجه رسدند که غلظت آلاینده ها در درون سیستم های سینوپتیک دارای فشار بالا، بخصوص سیستم پرفشار جنب حاره ای اطلس جنوبی افزایش پیدا می کند. مفیدی و همکاران(۱۳۹۳)، باروش های تحلیل همدید دستی، ردیابی پسگرد ذرات معلق و بررسی شرایط ترمودینامیک جو نقش الگوهای گردش مقیاس منطقه‌ای جو بر وقوع روزهای بسیارآلوده در شهر مشهد را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج آنان بیانگر آن است که روزهای بسیار آلوده در شهر مشهد در قالب چهار الگوی گردشی اصلی شامل: الگوی ترکیبی پرفشارسیبری-پشته جنب حاره ای، پرفشار مهاجر، پشته جنب حاره‌ای و الگوی کم فشار برون حاره، قابل طبقه‌بندی می‌باشند. سالانه هزاران تن آلاینده های گازی و ذرات معلق در فضای کلانشهر تهران منتشر می شود که با توجه به موقع جغرافیایی و وضعیت اقلیمی تهران، پدیده وارونگی هوا چندان دور از انتظار نیست. با ایجاد لایه وارونگی، این آلاینده ها برای مدت زیادی در مجاورت سطح زمین باقی می مانند که مشکلات قلبی و تنفسی زیادی با خود به همراه می آورد. کرمپور و همکاران(۱۳۹۵) به بررسی ارتفاع لایه آمیخته با استفاده از روش وارونگی بحرانی و نقش آن در آلودگی شهر تهران پرداختند نتایج نشان داد که در نمونه های پاک(فصل گرم و سرد سال) وارونگی ها در ساعات صبح و بعد از ظهر از نوع فرونشینی و شدت خیزآهنگ دمای پتانسیل مساوی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.51]

بوده است. در نمونه های فصل گرم سال از نوع پاک، وارونگی مشاهده شده در ساعت صبحگاهی از نوع فرونشینی و درساعت بعدازظهر هیچ نوع وارونگی ای مشاهده نشده است. علاوه بر کارهای فوق الذکر شرعی پور و بیدختی ۱۳۸۸، شرعی پور ۱۳۸۹، بلوکی ۱۳۷۹ ، عابدینی ۱۳۷۸اشاره کرد. در این مطالعه با ستفاده از داده های پایگاه داده های میان برد اروپایی[۱۳] عمق لایه آمیخته برای روزهای ۲۷ ژانویه ۲۰۱۵ تا ۱ فوریه ۲۰۱۵(۷ بهمن ماه تا ۱۲ بهمن ماه) سال ۱۳۹۳ برای شهر اهواز محاسبه و بررسی شده است.

داده ها و روش کار

منطقه مورد مطالعه این تحقیق مربوط به ایستگاه سینوپتیک اهواز می‌باشد که در موقعیت جغرافیایی، ۳۱درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و ۴۸درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۲/۵ از سطح دریا قرار دارد. هجوم ریزگردها که در اولین هفته بهمن‌ماه ۱۳۹۳ شروع شده بود در اهواز ادامه داشت و به مدت ۳هفته زندگی اهالی شهر را تعطیل کرد. اولین موج ریزگردها هفتم بهمن ماه به اهواز رسید و به فاصله دو روز دومین موج هم از راه رسید و مدارس و ادارات را تعطیل کرد. سازمان هواشناسی اعلام کرد که دستگاه ها غلظت گرد و غبار را ۶۶ برابر حد مجاز نشان می دهند و توانایی تخمین بیش از این را ندارند. وضعیت آلودگی هوا در روزهای بعد کما بیش ادامه داشت تا با هجوم موج سوم، باز هم غبار به اندازه ای زیاد شد که زندگی را مختل کرد. این بار باز هم شدت گرد و غبار به بیش از ۶۶برابر حد مجاز رسید. پنجشنبه ۹ بهمن ماه ۱۳۹۳ (برابر با ۲۹ ژانویه ۲۰۱۵ میلادی) میزان غلظت آلاینده ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون در کلانشهر اهواز به بیش از ۱۰ هزار میکروگرم بر متر مکعب رسید که بالاترین میزان غلظت ثبت شده در سال جاری محسوب می شود (سایت خبری محیط زیست،۹ بهمن ۱۳۹۳) .



شکل ۱ روز ۹ بهمن ماه شرایط آلودگی در اهواز

داده های مورد استفاده در این تحقیق عبارت است از داده های مربوط به غلظت گرد وغبار که از سازمان محیط زیست خوزستان برای روزهای ۲۷ ژانویه تا ۱ فوریه سال ۲۰۱۵(شمسی) اخذ گردید. داده های مربوط به ارتفاع لایه مرزی منطقه

[۱۳] .European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.51]

برای ساعت UTC۱۲ ، با رزلوشن فضایی ۰/۱۲۵ درجه قوسی برای منطقه مورد مطالعه اخذ گردید. داده های مربوط به ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ میلی بار و ضخامت جو نیز از پایگاه داده های میان برد اروپایی با رزلوشن ۰/۱۲۵ (یک هشتم درجه قوسی) اخذ گردید. و داده‌های مربوط پیمایش قائم جو در ایستگاه اهواز که توسط رادیوسوند تولید شده‌اند استفاده گردید. آمار پیمایش عمودی روزانه جو بالای ایستگاه سینوپتیک اهواز از پایگاه داده‌های اقلیمی دانشگاه وایومینگ[۱۴] اخذ گردید. داده های مورد استفاده در این تحقیق و مشخصات آن ها به صورت جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۱ داده های مورد استفاده در این تحقیق

	نوع	قدرت تفکیک	تفکیک زمانی	منبع اخذ
داده های مربوط به گردوغبار	ایستگاهی		روزانه	سازمان محیط زیست خوزستان
داده های ارتفاع لایه مرزی	شبکه بندی	۰/۱۲۵ درجه قوسی	ساعت ۱۲ یو تی سی	ECMWF
داده های فشار و ضخامت	شبکه بندی	۰/۱۲۵ درجه قوسی	ساعت ۱۲ یو تی سی	ECMWF
داده‌های مربوط پیمایش قائم جو			ساعت ۱۲ یو تی سی	پایگاه داده‌های اقلیمی دانشگاه وایومینگ

برای تحلیل ارتباط بین میزان غلظت گردوغبار و ضخامت و ارتفاع لایه مرزی از تحلیل همبستگی پیرسون در سطح معنی‌داری، ۰/۹۵ (P_value =۰.۰۵) به صورت ماهیانه استفاده گردید. برای بررسی ویژگیهای لایه مرزی از داده های مربوط به پایگاه داده های اقلیمی دانشگاه وایومینگ استفاده شد پس از اخذ اطلاعات مربوط به پیمایش قائم جو در ایستگاه اهواز در بهمن ماه سال ۱۳۹۳ هجری شمسی(برابر با ژانویه و فوریه ۲۰۱۵ میلادی)، در محیط نرم افزار RAOB، نمودار Skew-T و شاخص‌ها و اطلاعات نیمرخ شرایط جوی در آن نمونه‌ها برای شناخت وضعیت دینامیکی و ترمودینامیک جو تهیه گردید. با استفاده از داده‌های رادیوسوند روزانه اخذ شده از سازمان هواشناسی کشور به منظور بررسی دقیق‌تر جو تحتانی تغییرات نمایه قائم دمای پتانسیل، اقدام به رسم منحنی‌های تغییرات دمای پتانسیل بر حسب ارتفاع گردید سپس به توزیع فضایی ارتفاع لایه مرزی در رزوهای با گردوغبار شدید در استان خوزستان و شهرستان اهواز(براساس پایگاه داده ECMWF، ارتفاع ساعت UTC ۱۲ پرداخته شد در نهایت با تحلیل سینوپتیک و تحلیل فراوانی ارتفاع لایه مرزی و غلظت گردوغبار شرایط لایه مرزی در رخدادهای حاد گردوغبار مورد بررسی قرار کرفت.

شرح و تفسیر نتایج

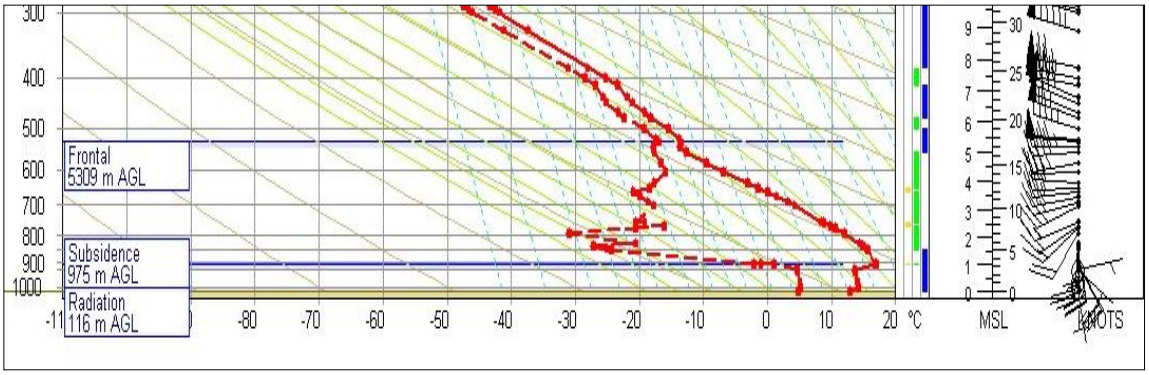
جهت بررسی ویژگیهای لایه مرزی اقدام به ترسیم و تهیه نمودارهای ترمودینامیک جو براساس پایگاه داده های اقلیمی دانشگاه وایومینگ شد که با توجه به نمودارهای Skew-T همان روزها که در ادامه ارائه شده اند(شکل ۲). همانطور که در نمودارهای Skew_T مشاهده می‌گردد، روز ۲۷ ژانویه ۲۰۱۵ PBL ، در ارتفاع ۱۱۲۱ متری مشاهده گردید و ضخامت آن

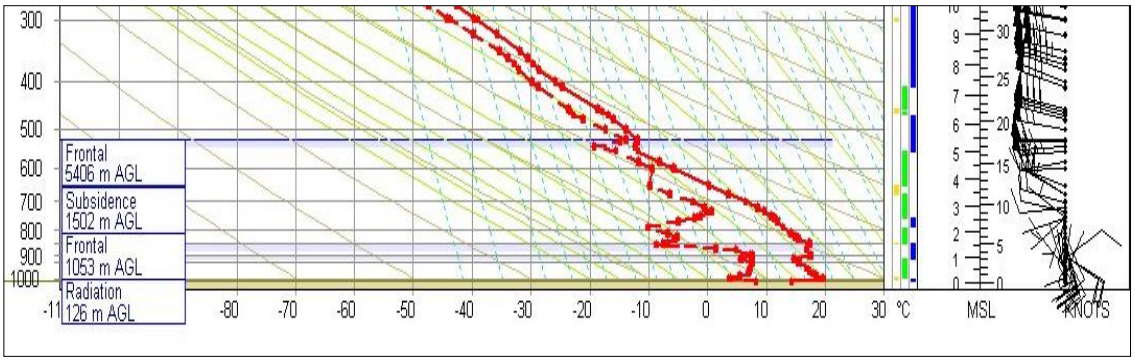
[۱۴].Wyoming

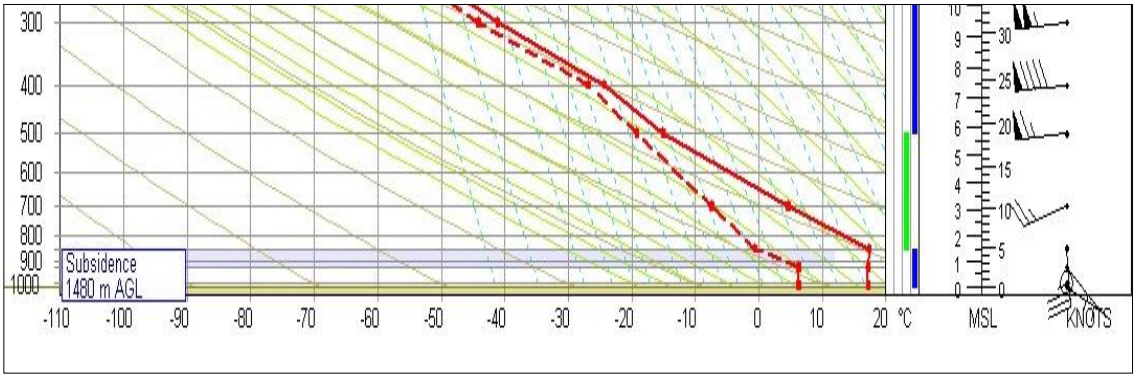
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.51]

۲۰۴ متر می‌باشد، در روز ۲۸ ژانویه در ارتفاع ۱۱۸۴ متری قرار دارد و ضخامت آن به ۱۸۴ متر رسیده است. بیشترین ارتفاع ضخامت را در روز ۲۹ ژانویه دارد که به ترتیب به ۱۳۴۲و ۷۲۲ متر می باشد. در روز ۳۰ ژانویه ارتفاع لایه مرزی به ۱۳۲۱ متر رسید و ضخامت این لایه ۳۴۲ متر می باشد. روز ۳۱ ژانویه میزان ارتفاع لایه مرزی به ۱۲۷۵ متر رسید که ضخامت لایه نیز ۲۰۱ متر می باشد. روز ۱ فوریه ۲۰۱۵ میزان ارتفاع لایه مرزی ۱۱۵۳ متر بود که ضخامت آن ۲۵۱ متر می باشد.

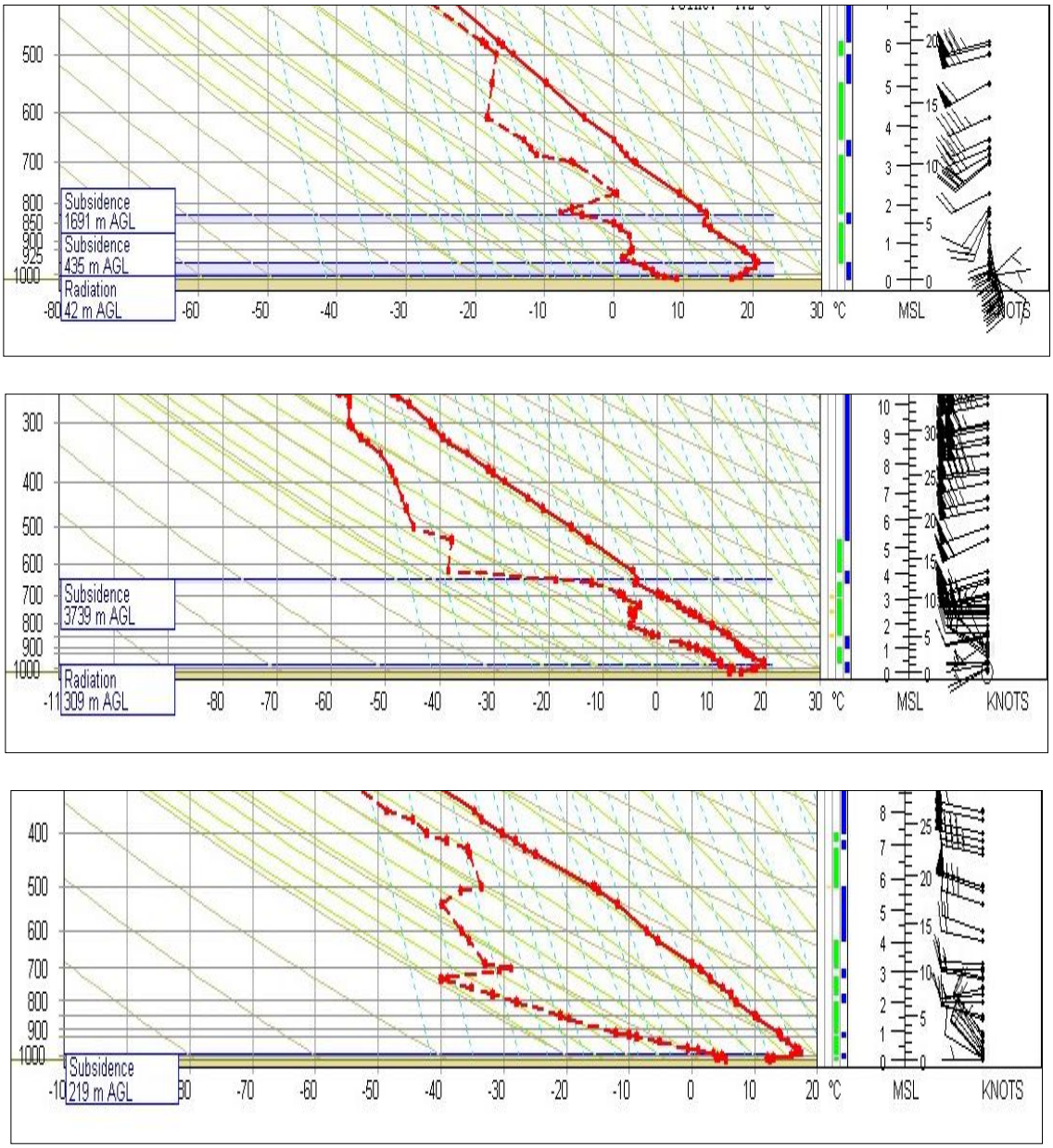






[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.51]



شکل ۲ نمودار های مربوط به پیمایش های قائم جو(SKEW-T) برای روز های ۲۷ ژانویه تا ۱ فوریه ۲۰۱۵ (به ترتیب از بالا به پایین)

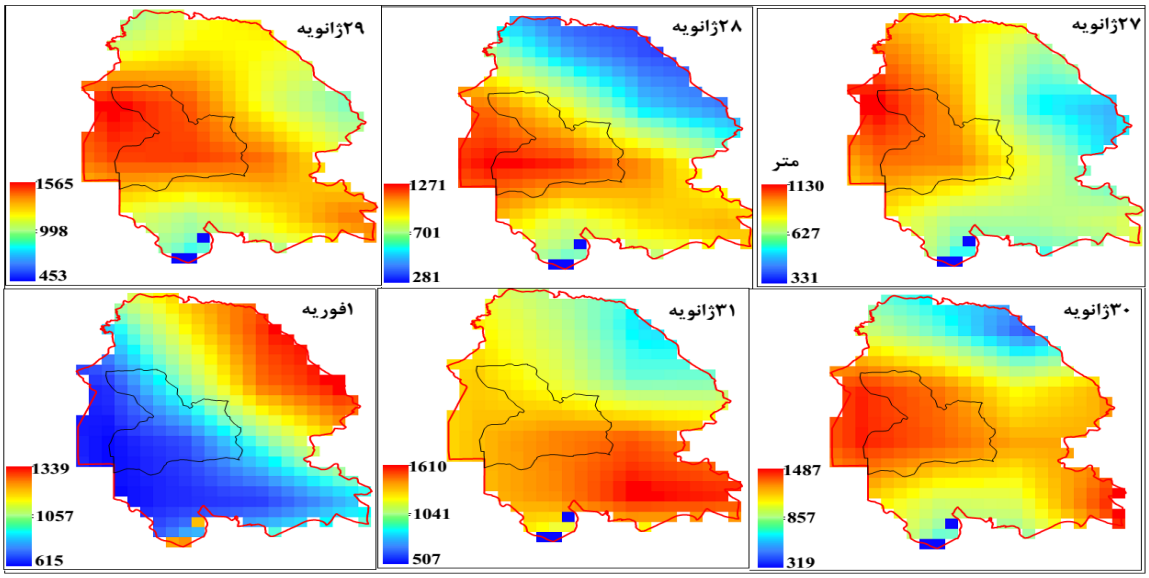
با بررسی داده‌ها، طی روزهای ۷ تا ۱۲ بهمن ماه ۱۳۹۳(۲۷ ژانویه تا ۱ فوریه سال۲۰۱۵ میلادی)، مشخصات مربوط به ارتفاع و ضخامت لایه مرزی استخراج شد و در جدول ۲ ارائه شده است. شکل ۳ توزیع فضایی ارتفاع لایه مرزی در رزوهای با گردوغبار شدید در استان خوزستان و شهرستان اهواز را براساس پایگاه داده ECMWF، نشان می دهد. همانطوری که دیده می شود ماکزیمم ارتفاع و ضخامت لایه مرزی در روز ۲۹ژانویه می باشد که همزمان با بیشترین میزان غلظت گرد وغبار است و کمترین ضخامت و ارتفاع لایه مرزی مربوط به روزهای ۲۷ ژانویه و اول فوریه می باشد که روز ۲۷ ژانویه مصادف با روز شروع ورود گردوغبار به منطقه می باشد. در جدول ۲ ویژگی های لایه مرزی روزهای ۲۷ ژانویه ۲۰۱۵

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.51]

تا ۱ فوریه ۲۰۱۵ ارائه شده است. ارتفاع و ضخامت لایه مرزی ارائه شده و مربوط به میانگین فضایی استان خوزستان میباشد، در حالی که داده های مربوط به غلظت گردوغبار تنها مربوط به سنجش های میدانی شهرستان اهواز میباشد. همانطور که مشاهده میشود، بالاترین ارتفاع و ضخامت لایه مرزی مربوط به روز ۲۹ ژانویه میباشد که این روز غلظت گردوغبار به بالاترین میزان خود رسیده است به طوری که سنسورهای سنجش گردوغبار شهرستان اهواز بیشترین میزانی را که میتوانستند سنجش کنندنشان میدادند، همانطور که مشاهده میگردد در اکثر روزها، به جز دو روز آخر موج گردوغبار یعنی ۳۱ ژانویه و ۱ فوریه، بیشتر میزان ارتفاع لایه مرزی در شهرستان اهواز متمرکز شده است. درحالی که در روز ۱فوریه و ۳۱ ژانویه ارتفاع لایه مرزی در شهرستان اهواز کاهش پیدا کرده و به همین ترتیب غلظت گردوغبار نیز در این دو رزو در شهرستان اهواز نسبت به روزهای قبل کاهش پیدا کرده است.

جدول ۲ ارتفاع و ضخامت لایه مرزی و غلظت گردو غبار در روزهای مطالعاتی

تاریخ	ارتفاع لایه مرزی(متر)	ضخامت لایه مرزی(به متر)	غلظت غبار(میکروگرم بر متر مکعب)
۲۷ ژانویه	۱۱۲۱	۲۰۴	۲۳۳۵
۲۸ ژانویه	۱۱۸۴	۱۸۲	۲۹۸۷
۲۹ ژانویه	۱۳۴۲	۷۲۲	۱۰۰۰۰
۳۰ژانویه	۱۳۲۱	۳۴۲	۴۲۱۶
۳۱ژانویه	۱۲۷۵	۲۰۱	۴۹۵
۱فوریه	۱۱۵۳	۲۵۱	۳۱۵



شکل ۳ توزیع فضایی ارتفاع لایه مرزی در رزوهای با گردوغبار شدید در استان خوزستان و شهرستان اهواز(براساس پایگاه داده ECMWF، ارتفاع ساعت UTC ۱۲)

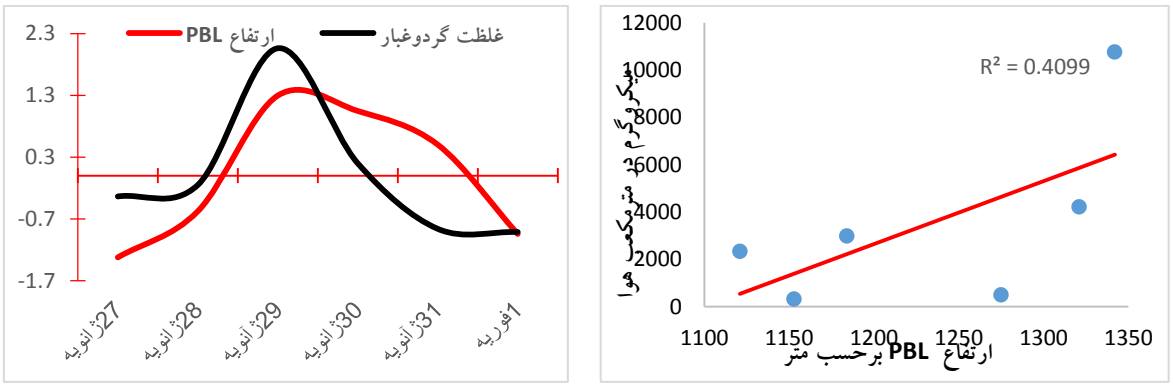
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.51]

در جدول ۳ برای تحلیل ارتباط بین میزان آلودگی با ارتفاع و ضخامت لایه مرزی از تحلیل همبستگی پیرسون در سطح اطمینان، ۰/۹۵ (P_value =۰.۰۵) استفاده گردید. همانطور که مشاهده می‌گردد، میزان همبستگی مثبت می باشد. این بدان معناست که میزان آلودگی با ارتفاع و ضخامت لایه مرزی رابطه مستقیمی دارد. بر اساس مقادیر ارائه شده در جدول شماره ۳ میزان همبستگی میزان آلاینده با ضخامت و ارتفاع لایه مرزی به ترتیب برابر ۰/۹۳ و ۰/۵۴ می‌باشد.

جدول۳ میزان همبستگی غلظت گردوغبار (میکروگرم بر مترمکعب) با ضخامت و ارتفاع لایه مرزی در روزهای مورد مطالعه

	میزان همبستگی	Sig
ارتفاع لایه مرزی	۰/۵۴	۰/۰۰۱
ضخامت لایه مرزی	۰/۹۳	۰/۰۰۰

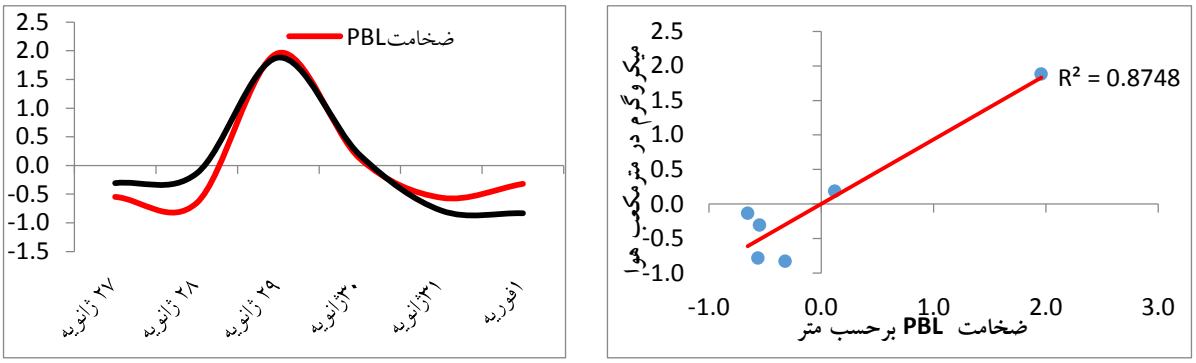
در اشکال۴ و ۵، به بررسی ارتباط میزان آلودگی و ارتفاع و ضخامت لایه مرزی ، اقدام گردید. همانطور که مشاهده می‌گردد، می‌توان ارتباط مستقیمی را در دو سری زمانی استاندارد شده(سری زمانی میزان غلظت گردوغبار در اهواز، و سری زمانی مربوط به ارتفاع و ضخامت لایه مرزی) مشاهده نمود. بگونه‌ای که در روزهایی که میزان غلظت گردوغبار بالاتر از میانگین بوده است، مقادیر ارتفاع و ضخامت لایه مرزی افزایش یافته است و برعکس در شرایطی که میزان گردوغبار پایینتر از میانگین بوده است ارتفاع و ضخامت لایه مرزی کاهش یافته است.



شکل ۴ ارتباط میزان غلظت گردوغبار و ارتفاعPBL (داده ها جهت مقایسه پذیری استاندارد شده اند)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.51]



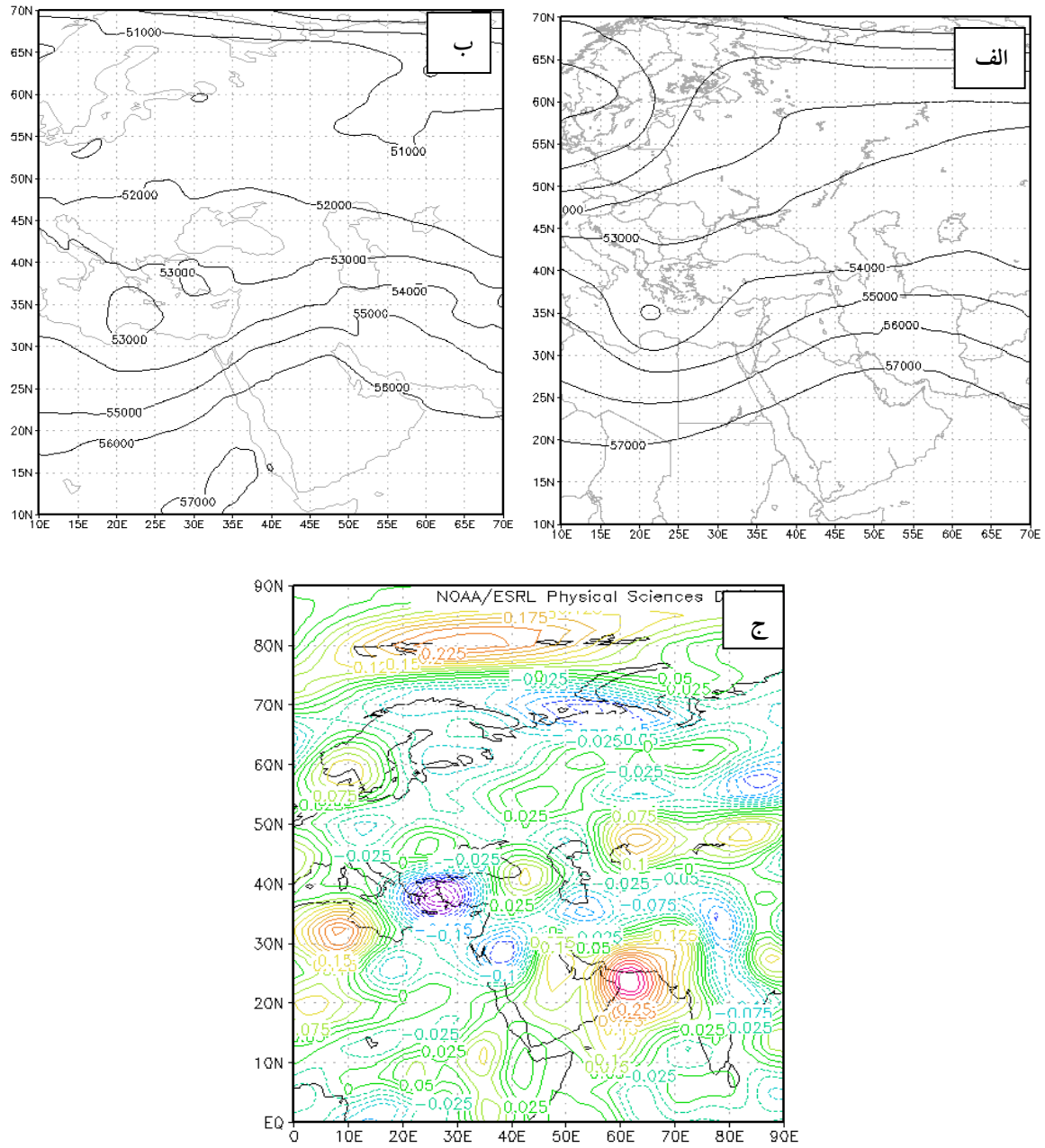
شکل ۵ ارتباط میزان غلظت گردوغبار و ضخامت PBL (داده ها جهت مقایسه پذیری استاندارد شده اند)

تحلیل سینوپتیک

با توجه به شرایط همدیدی می توان به استقرار ناوه حاصل از سامانه کم فشاری که بر روی غرب ایران (شرق مدیترانه) قرار دارد و وزش باد قابل ملاحظه اشاره کرد (شکل ۶ الف) در این روز وزش باد در محل ایستگاه ۲۴۶ درجه(جنوبغربی) است سبب فرارفت هوای گرم عرض های پایین به محل ایستگاه شده است ولی باتوجه به زاویه ای که جهت باد دادر این فرارفت ضعیف می باشد. همچنین فرارفت هوای گرم (شکل ۶ ب) می تواند در حکم یکی دیگر از عوامل تأثیر گذار در بیشینه شدن عمق لایه آمیخته بشمار رود چرا که فرارفت هوای گرم باعث افزایش ضخامت هوا و در نتیجه بیشتر شدن عمق لایه مرزی می شود. (شکل۶ ج) جریانات قائم هوا را در این روز نشان می دهد مقادیر حرکت قائم هوا(امگا) در روز مذکور منفی بوده و نشان از حرکات صعودی ضعیفی در این روز دارد مقدار امگا حدود ۰/۰۵ تا ۰/۱ پاسکال بر ثانیه بوده است. می توان به این نکته توجه کرد که دلایل ایجاد شرایط آلوده در اهواز با تهران کاملاً متفاوت است. در تهران که با توجه به مطالعات انجام شده مهمترین دلیل ایجاد آلودگی ها ناشی از اینورژن می باشد و در واقع الگوی سینوپتیکی حاکم بر آلودکی های تهران تحت شرایط پرفشاری می باشد که به دنبال آن شرایط پایداری را در منطقه دارد که هوا در این لایه کاملاً آرام و بی حرکت است و باعث تجمیع آلاینده ها در این لایه شده است. در اهواز برخلاف تهران، با توجه به نتایج بدست آمده در این تحقیق شرایط سینوپتیکی کم فشاری و شرایط سیکلونی بوده است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.51]



شکل۶ نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (الف) ، نقشه ضخامت(ب) و نقشه حرکات قائم جو (ج)

نتیجه گیری

هدف اساسی این تحقیق بررسی شرایط ارتفاع لایه مرزی در شرایط گردوغباری میباشد. نتایج این تحقیق نشان داد که ارتباط مستقیم بسیار معنی درای بین شدت گرد وغبار (برحسب میکروگرم در مترمکعب هوای خوزستان) و ارتفاع و ضخامت لایه مرزی در استان خوزستان وجود دارد. به طوری که در روز ۲۹ ژانویه ۲۰۱۵ که مقدار گردوغبار به ۱۰۰۰۰ میلیگرم بر مترمکعب رسیده بود ارتفاع و ضخامت لایه مرزی نسبت به روزهای قبل افزایش معنی داری نشان داده بود.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.51]

ارتباط نامانوس مستقیم و معتی دار غلظت گردوغبار و ارتفاع و ضخامت لایه مرزی در استان خوزستان، با در نظر گیری کم فشاری که در منطقه مورد مطالعه در همان روز در سطوح میانی جو مستقر شده و باعث شده منطقه مورد مطالعه در جلوی فرود حاصله از این سامانه کم فشاری قرار گرفته بگیرد (که مقادیر منفی حرکت قائم هوا نشان از حرکات صعودی هـوا دارد و شرایط ناپایدار دارد) توجیه میشود. بر خلاف آلودگی هوا که غالبا منشا محلی دارند، (الودگی هوای تهران) و در شـرایطی ایجاد و تشدید میشوند که شرایط پایداری شدید حاکم بوده و کم بودن ارتفاع لایه مرزی مـانع تلاطـم و گسـترش آلاینـده شده و تمرکز آن را در نزدیکی سطح زمین ایجاد میکند، گردو غبار خوزستان در شرایطی ایجاد و تشدید میشود که شـرایط سینوپتیک ناپایدار برقرار بود و به دلیل آن ارتفاع لایه مرزی بالا باشد به طوری که ارتباط مستقیم و معنی دار بـین غلظـت غبار و ارتفاع لایه مرزی نی زاین نکته را تایید میکند. این رفتار گردوغبار بـه ایـن دلیـل اسـت کـه بـرخلاف آلـودگی هـوا، گردوغبار منشائ خارجی داشته و توسط سامانه های کم فشار و شرایط سینوپتیک ناپایدار که موجب افـزایش ارتفـاع لایـه مرزی میشوند، وارد منطقه میشود در حالی که آلودگی هوا غالبا منشائ محلی داشـته و پایـداری هـوا کـه موجـب کـاهش ارتفاع لایه مرزی میشود غلظت آن را در هوای نزدیک سطح زمین بالا میبرد.

منابع

احمدی گیوی،فرهنگ، سمانه ثابت قدم و عباسعلی علی اکبری بیدختی. ۱۳۸۷. بررسی نوسان عمق لایه آمیخته جو شهری تهران با استفاده از مدلMM۵ و عوامل موثر در آن، *مجله فیزیک زمین و فضا*، **۲** : ۱۰۵- ۱۱۷.

اسکانی کزازی، غلامحسین و میترا لاله سیاه پیرانی. ۱۳۸۹. تحلیل سینوپتیکی آلودگی هوای شهر تهران، *فصلنامه علمی پژوهشی جغرافیا*.

احمدی مقدم، مهدی و پرویز محمودی. ۱۳۹۲. تحلیل داده های آلودگی هوای تهران در دهه اخیر (۱۳۸۸-۱۳۷۹)، *مجله سلامت و محیط، فصلنامه ی علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران*، **۱**: ۳۳ - ۴.

بلوکی میترا. ۱۳۷۹. مطالعه و بررسی آلودگی هوای اصفهان و عوامل اقلیمی موثر بر آن، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه جغرافیای دانشگاه اصفهان.

سایت خبری محیط زیست،۹ بهمن. ۱۳۹۳. http://www.mohitzist.ir/fa/content/۱۵۸۲

شرعی پور ، زهرا و عباسعلی علی اکبری بیدختی. ۱۳۹۳. بررسی توزیع مکانی زمانی آلاینده های هوا در شهر تهران برای ماه های سرد سال های ۲۰۱۳-۲۰۱۱ ، *علوم و تکنولوژی محیط زیست* ، **۱۶(۱)**: ۱۴۹-۱۶۶ .

شرعی پور، زهرا و عباسعلی علی اکبری بیدختی. ۱۳۸۸. شرایط هواشناسی جو بالا و وضعیت حاد آلودگی هوا، مطالعه موردی شهر تهران، *مجله محیط شناسی*، **۵۲**: ۱-۱۴

شرعی پور، زهرا. ۱۳۸۹. بررسی غلظت آلاینده های هوا و ارتباط آن با پارامترهای هواشناسی، *مجموعه مقالات فیزیک و فضا، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک تهران ۲۱ تا ۲۳ اردیبهشت ۱۳۸۹*: ۲۱۳-۲۱۶.

شمسی پور، علی اکبر، فهیمه نجیب زاده و زینب حسین پور .۱۳۹۱. شبیه سازی الگوی پراکنش آلودگی هوای تهران در شرایط باد، *فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی*، **۴**: ۱۹-۳۶.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.51]

صادقی، سلیمان، مفیدی، عباس، جهانشیری، مهین و دوستان، رضا .۱۳۹۳. نقش الگوهای گردش مقیاس منطقه‌ای جو بر وقوع روزهای بسیارآلوده در شهر مشهد، *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، **۳(۱۰)**: ۱-۳۶.

عابدینی، علی. ۱۳۷۸. اثر پایداری هوا بر تمرکز آلودگی هوای شهرهای دره ای، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه هواشناسی، دانشگاه تربیت مدرس

علی اکبری بیدختی،عباسعلی و تاج الدین بنی هاشم. ۱۳۷۶ .لایه آمیخته شهری و آلودگی هوا، *مجله محیط شناسی*، **۲۰**: ۶ -۵۱

قسامی، طاهره ، بیدختی، علی‌اکبر ، صداقت کردار، عبدالله و صحرائیان، فاطمه .۱۳۸۹. بررسی تغییرات قائم دمای پتانسیل در چند دوره بحرانی آلودگی هوای تهران، *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، **۱۲(۳)**: ۱۳-۲۴.

کرمپور، مصطفی، محمد سلیقه، میثم طولابی نژاد و زهرا زارعی چغابلکی .۱۳۹۵. بررسی آلودگی هوای شهر تهران به روش وارونگی بحرانی هافتر، *مجله تحلیل فضایی مخاطرات محیطی* **۱**:۵۱-۶۴

کیخسروی، قاسم و حسن لشکری. ۱۳۹۳. تحلیل رابطه بین ضخامت و ارتفاع وارونگی و شدت آلودگی هوا در شهر تهران، *نشریه علمی پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی*، **۴۹**: ۲۳۱-۲۵۷

Ccoyllo, S. O. R., and Andrade, M. F. ۲۰۰۲. The influence of meteorological conditions on the behavior of pollutants concentrations in Sمo Paulo, Brazil; Environmental Pollution, ۱۱٦, Issue ۲, ۲۵۷-۲٦۳

Deardroff,J.W,۱۹۷٤,Three dimensional numerical study of the height and mean structure of heated planetary boundary layer , Boundary-Layer Meteorology ,pp۲۵-۳۵

Hurley, P . ۲۰۰۷. Modelling mean and turbulence fields in the dry convective boundary layer with the eddy-diffusivity/mass-flux approach, Boundary-Layer Meteorology, **۱۲۵**:۵۲۵–۵۳٦. DOI:۱۰.۱۰۰۷/s۱۰۵٤٦-۰۰۷-۹۲۰۳-۸.

Panofsky,H.A.,andDutton,J,A.,۱۹۸٤,Atmosphericeturbulence.NewYourk,Willey&Sons,Inc ,۳۹۷ pp.

Stull,R, B .۱۹۸۸. An Introduction to Boundary Layer Meteorology.Dordrecht, Kluwer Academic publishers.٦۷۰pp.

SandroFinardi,and Umberto Pellegini,۲۰۰۲,Systematic snalysis of meteorological conditions causing severe urban air pollution episodes in the central PO Valley ,ARIANET,viaGilino ۹,۲۰۱۲۸ Milano,Italia.

Vardoulakis, S.; Kassomenos, P. ۲۰۰۸. Sources and factors affecting PM۱۰ levels in two European cities: Implications for local air quality management, Atmospheric Environment, **٤۲** (۱۷): ۳۹٤۹-۳۹٦۳, DOI: ۱۰.۱۰۱٦/j.atmosenv.۲۰۰٦.۱۲.۰۲۱.

Yin, S.; Shen, Z.; Zhou, P.; Zou, X.; Che, S.; Wang, W .۲۰۱۱. Quantifying air pollution attenuation within urban parks: An experimental approach in Shanghai, China, Environmental Pollution, **۱۵۹**(۸-۹): ۲۱۵۵-۲۱٦۳, DOI: ۱۰.۱۰۱٦/j.envpol.۲۰۱۱.۰۳.۰۰۹

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.51]