نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال هشتم، شماره ۲، تابستان ۱٤۰۰
صفحات ۸۳ – ۱۰۰

عوامل مؤثر در اغتشاشات عمق لایه مرزی غرب ایران در فصول تابستان و زمستان (مورد مطالعه: ایستگاه جو بالای کرمانشاه)

حسین جهان تیغ؛ استادیار جغرافیای طبیعی، گروه احیا و بهره برداری از مناطق خشک و بیابانی، مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، ایران.

زینب دولتشاهی؛ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

زهرا زارعی چقابلکی؛ دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.

میثم طولابی نژاد؛ دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران[1]

دریافت مقاله : ۱۳۹۹/۱۰/۱۹ پذیرش نهایی:۱۳۹۹/۰۳/۲۹

چکیده

در این تحقیق با استفاده از مدل پیشنهادی هافتر عمق لایه آمیخته و ارتفاع لایه مرزی ایستگاه کرمانشاه برای دو ماه آگوست و فوریه سال ۲۰۱۲ بررسی شد. در این راستا از داده‌های مربوط به پیمایش قائم جو در موقعیت ایستگاه کرمانشاه از پایگاه داده‌های اقلیمی Wyoming استفاده گردید. با ترسیم و تحلیل گراف‌های Skew-T و براساس روش وارونگی بحرانی Heffter، دو ماه فوریه و آگوست بعنوان نماینده های فصل زمستان و تابستان انتخاب و سقف وارونگی به عنوان سقف لایه مرزی اتمسفری در نظر گرفته شد. سپس عوامل موثر در کمینه و بیشینه شدن لایه آمیخته این دو ماه (آگوست و فوریه) شامل وضعیت همدیدی موجود در منطقه مورد مطالعه، فرارفت گرما، رطوبت، چینش قائم و سرعت باد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در ماه آگوست عمق لایه در طول ماه بین ۳۶۸۰ تا ۱۰۲۹۲ متر بوده است. در این ماه فرارفت دما، نوع سامانه های همدید و چینش قائم باد به طور مستقیم در رشد یا تضعیف لایه نقش داشته اند. در ماه فوریه نوسانات چشمگیری در مقادیر عمق لایه آمیخته در طول ماه مشاهده شده که بین ۲۲۷۳ تا ۷۰۱۷ متر بوده است. در این ماه نیز فرارفت دما، چینش قائم باد و سامانه های همدیدی در تغییرات عمق لایه آمیخته موثر بوده اند. با مقایسه نتایج بدست آمده از هردو ماه می توان گفت که مقدار شار سطحی در فصل تابستان بیشتر از فصل زمستان است؛ بنابراین عمق متوسط لایه در ماه آگوست تقریباً به دو برابر ماه فوریه رسیده است. در کل نوسانات عمق لایه آمیخته در فصل زمستان بدلیل عبور سامانه های مختلف و ناپایداری های جوی، تغییرات بیشتری نسبت به فصل تابستان داشته است.

واژه های کلیدی: **لایه آمیخته، مدل هافتر، چینش باد، فرارفت دما، کرمانشاه.**

۱-نویسنده مسئول: Email: meysam.toulabi@gmail.com

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

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.83]

مقدمه

چرخه روزانه گرمایش تابشی ناشی از طلوع و غروب خورشید، منجر به چرخه روزانه شارهای گرمای محسوس و نهان بین سطح زمین و جو می‌شود. این شارها که مستقیماً نمی‌توانند به کل جو برسند، به لایه کم عمق نزدیک سطح، به نام لایه مرزی جو[1] محدود می‌شوند(Stull, ۲۰۰۰). لایه مرزی جو بخشی از جو است که مستقیماً تحت تأثیر شرایط سطحی است و به واداشت‌های سطحی در مقیاس زمانی کوچک پاسخ می‌دهد (Stull, ۱۹۹۸). عمق آن بسته به زمان و شبانه روز و سال و شرایط همدیدی از چند ده متر تا چند کیلومتر تغییر می کند (طولابی نژاد،۱۳۹۴). فرایندهایی که که در این لایه رخ می‌دهند، ازجنبه‌های گوناگون مانند دینامیک شارش‌ها و سامانه‌های جوی، تابش سطحی، چرخه آب‌شناسی و تحقیقات آلودگی هوا دارای اهمیت هستند. ضخامت لایه مرزی جو متغیری وابسته به زمان و مکان است و اندازه آن در خشکی از چند صدمتر تا چند کیلومتر در شرایط مختلف تغییر می‌کند(Stull, ۱۹۹۸). این ضخامت به عوامل متعدد از قبیل نوع سامانه‌های جوی و ساختار آنها، شارش‌های سطحی، چینش قائم تندی و جهت باد و پوشش سطحی بستگی دارد(Liu et al, ۲۰۱۰). 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(Panofsky et al, ۱۹۸٤). زیرا آلودگی که بیشتر در سطح زمین ایجاد می شود، از طریق فرایندهای تلاطمی در تمامی این لایه مخلوط می شود(احمدی گیوی، ۱۳۸۸). روش‌هایی 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. با توجه به ترزیق دائم آلاینده ها به لایه مرزی، در شرایط پایداری غلظت آلاینده ها به شدت افزایش می یابد و هر چه مدت زمان پایداری افزایش یابد و ارتفاع پایداری کمتر باشد مانع اختلاط این سطح با سطوح بالاتر جو شده و در نتیجه آلودگی هوا تشدید می شود(طاوسی، ۱۳۹۶).

لایه اتمسفر مرزی را می‌توان به چندین زیر لایه تقسیم نمود، که عبارتند از: لایه مرزی سطحی یا لایه سطحی که به صورت مستقیم در ارتباط با سطح زمین است، دراین لایه گرادیان شدید دما، رطوبت، باد و سایر متغیرها وجود دارد که به طور متوسط۵ الی ۱۰ درصد لایه مرزی را در برمی‌گیرد(Wyngaard, ۱۸۹۳). بعد از لایه سطحی لایه اختلاط همرفتی وجود دارد که مشخصه بارز آن اختلاط همرفتی است(Lin Jin, ۲۰۱۰). این لایه معمولا ۴۰ تا ۸۰ درصد لایه مرزی را در برگرفته و مشخصه بارز آن این است که بادهای موجود در این لایه و همچنین سایر عناصر مانند رطوبت و دمای پتانسیل نیز غالباً دارای پروفایل عمودی ثابتی هستند(Kaimal et al, ۱۹۷٦). در بالای لایه اختلاط لایه درپوش قرار دارد که مانع گسترش اختلاط و توربولانس به لایه‌های بالایی می‌گردد. در این لایه که گاهاً بسیار نازک بوده و در برخی مواقع تا ۴۰ درصد لایه مرزی را تشکیل دهد، وارونگی های دمایی به وفور رخ می‌دهد(Holtslag, ۱۹۹۳). از مهمترین ویژگی‌های این لایه، افزایش شدید سرعت باد با ارتفاع، افزایش شدید دمای پتانسیل با ارتفاع، کاهش شدید نسبت اختلاط بخار آب با ارتفاع، و کاهش شدید تراکم یا غلظت آلاینده‌ها در این لایه با افزایش ارتفاع می‌باشد(Hong Song, ۱۹۹٦).

باتوجه به اثراتی که آلودگی هوا بر روی آب، خاک، هوا، اقلیم، موجودات زنده و از جمله تاثیری که بر سلامت انسان دارد، بررسی شرایط به وجود آورنده و تشدید کننده ی غلظت آلودگی هوا الزامی می باشد، که پایداری هوا یکی از

[1] .Atmospheric Boundary Layer

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

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.83]

عوامل افزایش دهنده میزان و شدت آلاینده هاست(عقلمند،۱۳۹۳). پایداری هوا یکی از مسائل شهرها بویژه متروپل ها در مناطق برون حاره در بخشی از فصول سال است. این مسئله در پاره ای از مواقع سبب پایداری های جوی طولانی مدت شده و این پایداری ها به حدی است که غلظت آلودگی های شهری را به مرز هشدار های جدی می رساند(کریمی و درخشان، ۱۳۸۴). وارونگی نقش مهمی در اخلال در کیفیت هوا در مناطقی دارد که در آن وجود دارد(Yasmeen et al, ۲۰۱۱). با شروع پدیده وارونگی در مناطق صنعتی و یا شهرهای بزرگ و یا حتی نواحی این شهرها، جابه جایی عمودی هوا متوقف شده و آلودگی های تولید شده توسط گازهای خروجی از اگزوز ماشین ها یا کارخانه ها و... در مجاورت سطح زمین انباشته می شود و در این صورت غلظت عناصر آلاینده در مجاورت سطح زمین به بیش از حد مجاز رسیده و باعث آثاری چون مه دود، کاهش دید، سوزش چشم، تنگی نفس در بیماران ریوی و حمله قلبی شده و این وضعیت برای کودکان و افراد سالخورده بسیار خطرناک می باشد(نوروزیان، ۱۳۹۴). پدیده وارونگی دما همچنین باعث سرما زدگی در ختان در اواخر فصل زمستان و اوایل فصل بهار و یا ایجاد تاثیراتی بر روی امواج رادیویی و تلوزیونی می شود و یا بر روی ستون دود کارخانه ها تاثیر گذاشته و کیفیت هوا را تغییر می دهد(هدایت، ۱۳۸۵). از جمله عواقب دیگر پدیده وارونگی دمایی می توان به تیرگی هوا، تراکم ذرات معلق و مه، شکست در زاویه انتشار الکترومغناطیس اشاره کرد(Liu et al, ۲۰۰۳).

ارتفاع لایه مرزی، یکی از مهمترین مولفه های تعیین کننده، وسعت آمیزش‌آلاینده‌ها می‌باشد بنابراین محققان مختلف روش‌های تجربی و تئوریک مختلف و متعددی را برای برآورد این مولفه ارائه نموده‌اند. برخی از روش‌های مبتنی بر تحلیل پروفایل عمودی دما در لایه تلاطم یا آمیخته دارند. (Holzworth, ۱۹٦۷)، از اولین کسانی بود که با استفاده از دمای صبحگاه و دمای حداکثر مطلق ظهر(با فرض افت اهنگ خشک) محاسبه حداکثر عمق لایه اختلاط را انجام داد. (Hanna, ۱۹٦۹)، سقف لایه مرزی را برابر ارتفاع پائین‌ترین یا اولین ناپیوستگی، در پروفایل دمایی، منطقه دانسته است. (Deardroff et al, ۱۹۷٤)، مدل رشد لایه آمیخته روزانه جو شهری را انجام داده و با استفاده از آهنگ تغییر عمق لایه آمیخته، غلظت آلودگی هوا را بررسی نمودند. (Yamada, ۱۹۷۹)، از پژوهشگرانی بود که ارتفاع لایه مرزی را تا جایی دانسته که، یک سرمایش معنی‌دار در لایه مرزی شب هنگام، گسترش می‌یابد. (Heffter, ۱۹۸۰)، روش وارونگی بحرانی را برای تخمین عمق لایه مرزی پیشنهاد داد. روش ایشان منوط به پیدا کردن یک وارونگی بحرانی در دمای پتانسیل بود. و بعدها محققین متعددی، تغییراتی را در روش وی داده و در برخی موارد این روش را بسط دادند.. (SandroFinardi et al, 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 می‌گردد. وارونگی‌ها و یا نمایه های قائم دمای بسیار پایدار در ارتفاعات صفر و دوهزار متری در موارد آلودگی‌های شدید دیده می‌شود. (Brümmer and Schultze, ۲۰۱۵)، با اندازه گیری وارونگی دما در ارتفاع ۲۸۰ متری در ایستگاه هواشناسی هامبورک نشان داد که واگرایی جریان تابشی فرایند بسیار مهمی برای تشکیل و انحلال لایه وارونگی دما هست. (Bei et al, ۲۰۱٦)، تاثیر شرایط سینوپتیک بر آلودگی هوا در فصل زمستان را در حوضه گان ونگ چین را با استفاده از شش مدل برای شش روز از سال ۲۰۱۳ بررسی کردند و تغییرات PM ۲.۵ را به وارونگی دمای سطح پایین، سرعت باد افقی، سرعت باد عمودی، همگرایی و وقوع شرایط سینوپتیکی نامساعد در طی فصل زمستان مربوط دانستند. (Zeng ,and Zhang, ۲۰۱۷)، با مطالعه تاثیر هواشناسی بر

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

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.83]

تداوم آلودگی های سنگین هوا در منطقه چنگدو چین نشان دادند که نه تنها فاکتورهای سطحی هواشناس، بلکه ساختار لایه مرزی و وجود وارونگی های دمایی نقش مهمی در انتشار عمودی آلاینده ایفا می کند.

در ایران یکی از اولین مطالعات انجام گرفته ارائه یک مدل انتگرالی برای پیش یابی غلظت آلاینده‌های هوای تهران توسط بیدختی و بنی هاشم (۱۳۷۶) است که بر اساس شبیه‌سازی لایه آمیخته و قانون بقای جرم استوار است. نتایج بدست آمده ایشان نشان می‌دهد که غلظت آلاینده‌ها می‌تواند در اوایل روز به مقدار بسیار بالایی برسد. احمدی گیوی و همکاران(۱۳۸۸) 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 می‌کند در حالیکه در زمستان، تغییرات شارهای سطحی و نوسانات لایه آمیخته چشمگیر تر است، رشد این لایه بیشتر متأثر از ساختار سامانه‌های 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. شمسی پور و همکاران(۱۳۹۲)، 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. کرمپور و همکاران(۱۳۹۵)، در تحقیقی به بررسی آلودگی هوای شهر تهران به روش وارونگی بحرانی هافتر پرداختند. نتایج نشان داد که در نمونه های آلوده، وارونگی‌ها در ساعات صبحگاهی از نوع تابشی بوده که مشخصه بارز آن ها، ضخامت کم و خیزآهنگ زیاد دمای پتانسیل می‌باشد. در حالی که در ساعات ظهر وارونگی‌ها ناشی از فرونشینی هوا بوده و مهمترین ویژگی آن‌ها، ضخامت زیاد و خیز آهنگ کم دمای پتانسیل می‌باشد. همچنین مشاهده گردید 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 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. پناهی و همکاران(۱۳۹۵)، به بررسی رابطه بین غلظت آلاینده های ذرات معلق(PM۱۰)، منواکسید کربن و دی اکسید گوگرد با پارامترهای هواشناسی مانند دید افقی، فشار، رطوبت نسبی، دما، سرعت باد، حداکثر سرعت باد، شاخصKI، ارتفاع راس لایه وارونگی دمایی، عمق وارونگی دمایی و شدت وارونگی دمایی در شهر تبریز پرداخت. نتایجی که محققین از رگرسیون چند متغیره گام به گام بدست آوردند نشان داد که شدت وارونگی دمایی تنها متغییری که به هر سه آلاینده مزبور همبستگی مثبت داشته است. طاوسی و همکاران(۱۳۹۶)، به منظور بررسی وارونگی دمای لایه مرزی هوای شهر تهران طی سالهای ۲۰۱۴-۲۰۱۰ در مقیاس زمانی روزانه، ماهانه و فصلی، پارامترهای ارتفاع پایه و ارتفاع راس وارونگی، دمای لایه پایه و راس وارونگی، اختلاف دما بین دو لایه مزبور، عمق لایه وارونگی، مقدار فشار هوا در لایه پایه و لایه راس وارونگی در دوره آماری ۲۰۱۴-۲۰۱۰ مورد بررسی قرار دادند. وارونگی دمایی در زمستان ضخامت کمتر و شدت بیشتری داشت؛ همچنین روزهای با تداوم پدیده می‌تواند سهم زیادی در پایداری هوا در لایه های نزدیک سطح زمین به ویژه در فصول سرد سال و معضلات ناشی از آن داشته باشد. حسین‌آبادی و همکاران(۱۳۹۸)، در پژوهشی روند وارونگی‌های دمایی کلان شهرهای ایران(تهران، مشهد، تبریز) را مطالعه کردند. در این راستا، از داده‌های پیمایش قائم جو سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۱۷ ساعت صفر(۰۰) ایستگاه‌های هواشناسی تهران، مشهد و تبریز از پایگاه داده-

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

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.83]

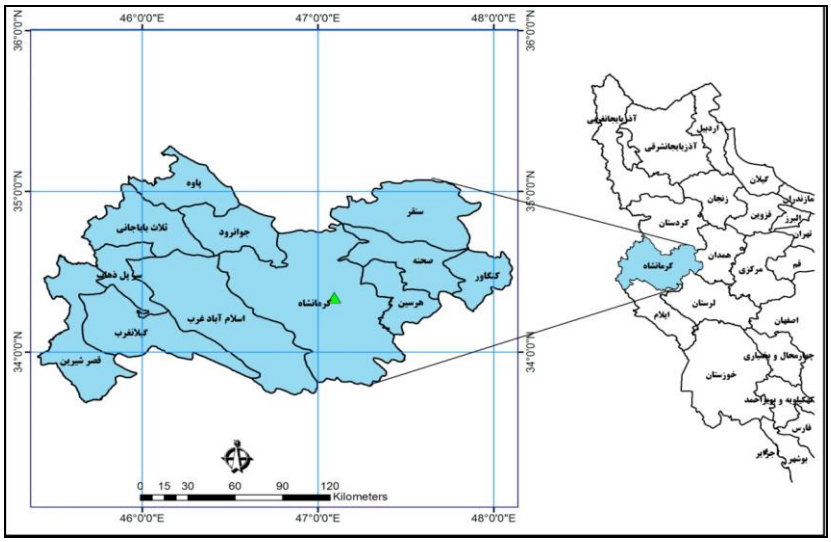
های اقلیمی وایومینگ استفاده کردند. نتایج نشان داد که نوع تیپ‌های وارونگی در دوره ی ۲۰۰۷-۲۰۱۷ از تیپ‌های وارونگی خالص به تیپ های ترکیبی و چند لایه و به طور شاخص تیپ تابشی- فرونشینی تغییر یافته است. ماه فروزی و همکاران(۱۳۹۹)، نیز با استفاده از داده های ساعتی و میانگین روزانه از مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت هوا و دپارتمان علوم جوی دانشگاه وایومینگ برای دوره ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۷ به بررسی تغییرات سالانه ارتفاع لایه مرزی شهر تهران پرداخته و دریافتند که سقف متوسط ارتفاع لایه مرزی در حدود ۸۵۰ متری سطح زمین قرار دارد و در شرایط شبانه به‌طور متوسط تا حدود ۸۰ متری و در شرایط روزانه تا حدود ۲۳۰۰متری سطح زمین پایین و بالا می‌رود. این متغیر در کل دوره سالانه در حدود ۵ متر افزایش ارتفاع داشته است. به لحاظ الگوی فضایی، کمینه ارتفاع در هر یک از سه متغیر موردبررسی در شمال شرقی تهران و بیشینه آن در جنوب و جنوب غربی تهران رخ داده است.

بیشترین تحلیل‌هایی که برای تشخیص عمق لایه آمیخته صورت می‌گیرد، براساس نمایه قائم دما و یا عدد ریچاردسون یا روش شاره‌های سطحی می‌باشند. در تعیین عمق لایه آمیخته بر پایه نمایه قائم دما، از ویژگی این لایه که در آن دمای پتانسیل یکنواخت است، استفاده می‌شود. از سوی دیگر، مدلهای عددی عمدتاً از عدد ریچاردسون بحرانی برای تعیین عمق لایه آمیخته، استفاده می‌کنند(Marsik,۱۹۹۵). با توجه به اینکه شناخت عمق و ارتفاع لایه آمیخته جو از مهمترین مباحث در اقلیم شناسی است، بنابراین با توجه به اهمیت این لایه از اتمسفر، هدف اساسی این تحقیق بررسی علل نوسانات ماهانه ارتفاع لایه مرزی غرب ایران با توجه به داده های ایستگاه کرمانشاه به عنوان تنها ایستگاه جو بالا در این منطقه از ایران می‌باشد..

داده و روش کار

الف) منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه این تحقیق مربوط به ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه می‌باشد که در موقعیت جغرافیایی، ۳۴درجه و ۲۶ دقیقه شمالی و ۴۷ درجه و ۱۱ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۳۲۲ متر از سطح دریا قرار دارد(شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت ایستگاه مورد مطالعه

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

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.83]

ب) روش کار

داده‌های مربوط به وارونگی‌های ایستگاه هواشناسی کرمانشاه، طی ماه های فوریه و آگوست سال ۲۰۱۲؛ از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. همچنین داده‌های مربوط پیمایش قائم جو در این ایستگاه که توسط رادیوسوند جمع آوری شده‌اند مورد استفاده قرار گرفته و آمار پیمایش عمودی روزانه جو بالای ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه از پایگاه داده‌های اقلیمی دانشگاه وایومینگ[۱] اخذ گردید.

پس از اخذ اطلاعات مربوط به پیمایش قائم جو در ایستگاه کرمانشاه، ، نمودار Skew-T، شاخص‌ها و اطلاعات نیمرخ شرایط جوی برای شناخت وضعیت دینامیکی و ترمودینامیک جو طی روز های منتخب در محیط نرم افزار RAOB ترسیم شد. سپس به منظور بررسی دقیق‌تر جو تحتانی تغییرات نمایه قائم دمای پتانسیل، با استفاده از داده‌های روزانه رادیوسوند به رسم منحنی‌های تغییرات دمای پتانسیل بر حسب ارتفاع اقدام گردید. در ادامه با استفاده از از روش محاسباتی هافتر، روزهای همراه با وارونگی بحرانی در دمای پتانسیل محاسبه شدند. سپس با استفائه از داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل، باد و صعود قائم (امگا) اقدام به بررسی علل سینوپتیکی نوسانات عمق لایه مرزی(آمیخته) و عوامل مؤثر در آن گردید. در ادامه به طور مختصر روش هافتر توضیح داده می‌شود.

- **روش هافتر**

روش هافتر از روش های مبتنی بر تحلیل پروفایل عمودی دمای پتانسیل می‌باشد. دمای پتانسیل یک بسته هوا، عبارت است از دمایی که بسته هوا در صورتی که از تراز مربوطه به صورت بی دررو، به تراز ۱۰۰۰میلی باری انتقال داده شود به دست خواهد آمد که از رابطه ۱ به دست می‌آید:

رابطه (۱).

$$\theta = T\left(\frac{P0}{P}\right)R/Cp$$

که در آن θ دمای پتانسیل بسته هوا برحسب درجه کلوین،T دمای خشک بسته هوا(برحسب کلوین)، P فشار بسته هوا برحسب میلی‌بار، و P۰ نیز فشار استاندارد بوده که معمولا برابر ۱۰۰۰ میلیبار در نظر گرفته می‌شود، R نیز ثابت گازها بوده و cp نیز ظرفیت گرمای ویژه هوا در فشار ثابت می‌باشد. که حاصل کل R/cp تقریبا برای هوا برابر ۰/۲۸۶ درنظر گرفته می‌شود.

شرح و تفسیر نتایج

در پژوهش حاضر روش هافتر برای دو دوره یک ماهه از سال۲۰۱۲، یعنی ماه آگوست(از فصل گرم) و فوریه (از ماه سرد) انجام شده است. شار سطحی در حدود ساعت۸:۳۰ صبح به وقت گرینویچ (ساعت ۱۲ ظهر محلی) به بیشینه مقدار خود می رسد و ۳ تا ۴ ساعت بعد از آن تقریباً ساعت ۳ بعد از ظهر به وقت محلی، عمق لایه آمیخته به حداکثر خود می رسد. این تأخیر زمانی بیانگر آن است که مدتی طول می کشد تا گرمایش ناشی از سطح که منجر به ایجاد فرایندهای تلاطمی می شود، تأثیر خود را در رشد لایه بگذارد؛ از این رو بررسی ها در ساعت ۱۲ گرینویچ(۱۵:۳۰ به وقت محلی)، صورت گرفته است که در این ساعت لایه آمیخته رشد کاملی داشته است.

۱.Wyoming

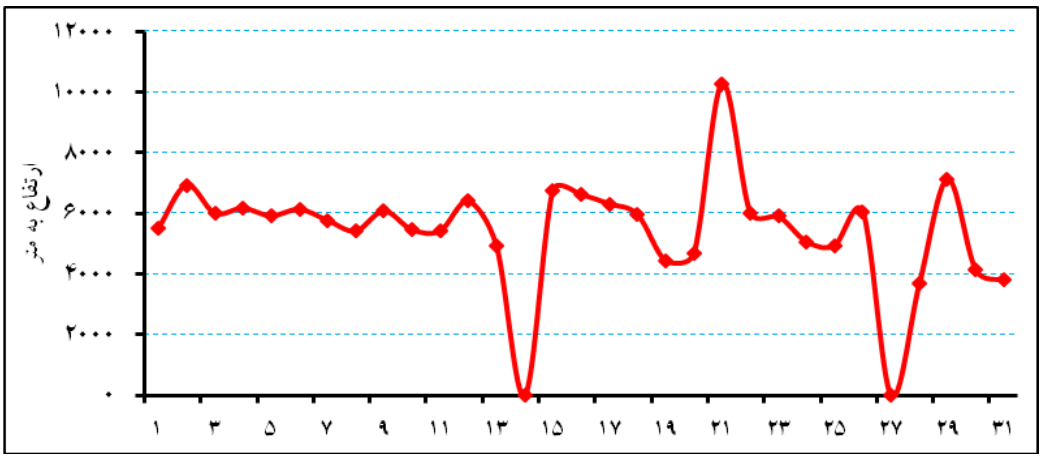
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.83]

- **نوسان عمق لایه آمیخته در ماه آگوست ۲۰۱۲**

در بررسی های ماه آگوست، دو روز یعنی، روزهای ۲۱ و ۲۸ آگوست که با استفاده از روش محاسباتی هافتر دارای بیشترین و کمترین عمق لایه آمیخته بوده اند جدا شده و با استفاده از روش سینوپتیک علل تغییرات عمق طی این دو روز مورد تحلیل قرار گرفت(اشکال ۲ و ۳).

در ماه آگوست نوسانهای زیادی در عمق لایه آمیخته وجود ندارد و تغییرات روزانه در این ماه برای لایه آمیخته در شکل (۲) نشان داده شده است. با نزدیک شدن به روزهای آخر ماه، در تغییرات عمق لایه آمیخته روند رشد نزولی به چشم می خورد. در این تغییرات بدلیل اینکه در فصل تابستان ناپایداری های جوی کمتر است و سامانه های کمتری از منطقه عبور می کنند، نظم خاصی مشاهده می شود. در بررسی های این ماه نیز روزهای ۲۸ و ۲۱ آگوست به ترتیب کمترین و بیشترین عمق لایه آمیخته را با روش هافتر داشته اند(شکل ۳).



شکل ۲. تغییرات روزانه عمق لایه آمیخته در ساعت UTC ۱۲ در ماه آگوست۲۰۱۲؛ (روزهایی که عمق لایه صفر نشان داده شده است هیچ نوع وارونگی ای مشاهده نشده است).

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

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.83]

شکل ۳. نمودار مربوط به پیمایش قائم جو برای روزهای ۲۸(الف) و ۲۱آگوست(ب) طی فصل گرم سال

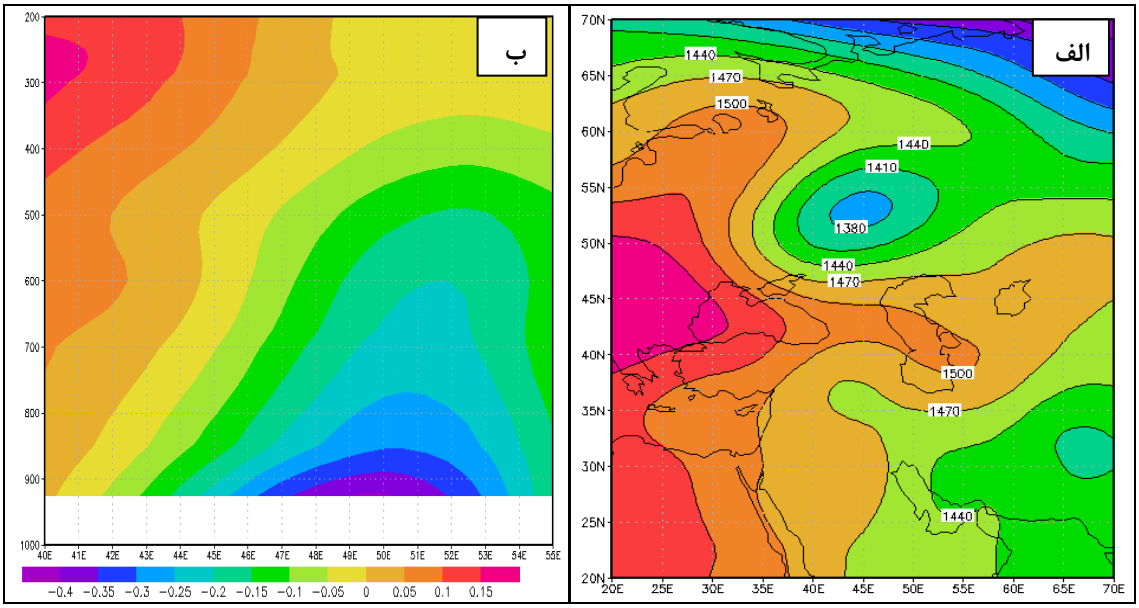
- **ویژگیهای بیشینه عمق لایه آمیخته(۲۱ آگوست)**

در این بخش عوامل احتمالی موثر در بیشینه عمق لایه آمیخته بررسی می شود. از جمله شرایط همدیدی این روز می توان به استقرار سامانه کم فشار در مرکز ایران اشاره کرد شکل (۴ الف) حرکات بالاسوی ناشی از این سامانه یکی از عواملی است که می تواند در عمیق شدن لایه در این روز نقش داشته باشد. در این روز رطوبت نسبی ۱۷ درصد از اطلاعات رادیو سوند بدست آمده است. شکل(۴ ب) وجود حرکات بالاسوی بر فراز ایستگاه در برش قائم را نشان می دهد. در این شکل مقادیر منفی متناظر با حرکات بالاسو و مقادیر مثبت نشان دهنده حرکات پایین سو است. همچنین فرارفت هوای گرم باعث افزایش ضخامت ستون هوا و در نتیجه بیشتر شدن عمق لایه می شود. بعلاوه وزش باد از سمت جنوب(با جهت ۲۱۸درجه) که سبب فرارفت هوای گرم به سمت ایستگاه شده است که می تواند یکی دیگر از عوامل تاثیر گذار در بیشینه شدن عمق لایه آمیخته در این روز بشمار رود.

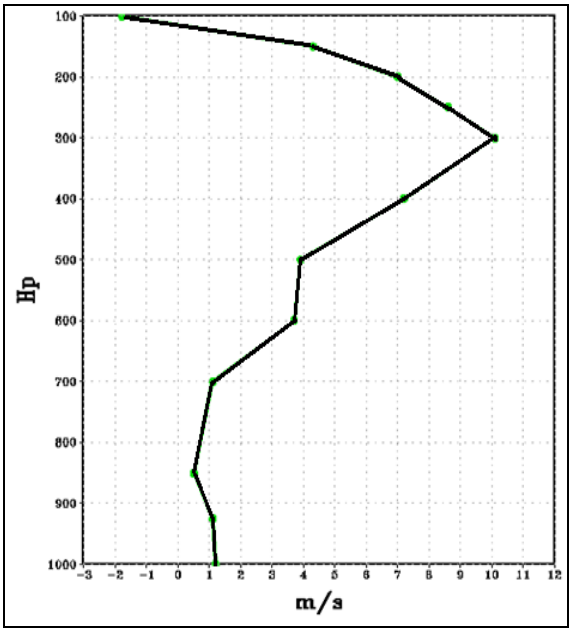
عامل دیگر که اثر آن نیز در رشد لایه آمیخته مورد بررسی قرار گرفت، چینش قائم باد است. با توجه به نمایه قائم سرعت افقی باد در ایستگاه کرمانشاه، مشاهده می شود که چینش باد بخصوص در پایین ورد سپهر مقدار کمی داشته و تقریباً ثابت است. از این رو لایه آمیخته می تواند براحتی رشد کند (شکل ۵).

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

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.83]



شکل ۴. الف) نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل ۸۵۰ هکتوپاسکال روز ۲۱ آگوست ۲۰۱۲. ب)سطح مقطع قائم حرکت های قائم در روز ۲۱ آگوست ۲۰۱۲(مقادیر مثبت و منفی بر حسب PS/S به ترتیب نشانگر حرکتهای صعودی و نزولی هستند. طول جغرافیایی کرمانشاه(۴۷/۱۱) می باشد.



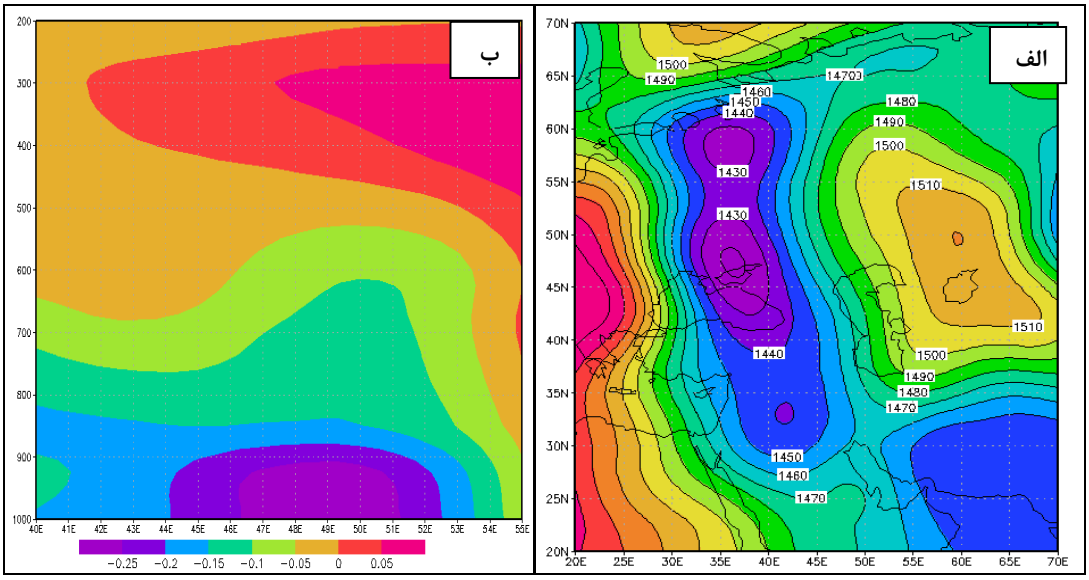
شکل ۵ . نمایه قایم شدت باد افقی بر حسب متر بر ثانیه در ایستگاه کرمانشاه طی روز ۲۱ آگوست ۲۰۱۲

- **ویژگیهای کمینه عمق لایه آمیخته(۲۸ آگوست)**

کمترین عمق لایه آمیخته در ماه آگوست در رو بیست و هشتم در ساعت ۱۲ ظهر، و حدود ۳۵۵۵ متر برآورد شده است. این عمق مقدار قابل توجهی برای ارتفاع لایه آمیخته است اما در مقایسه با روزهای دیگر ماه، کمترین عمق لایه مخلوط در طول این ماه است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.83]

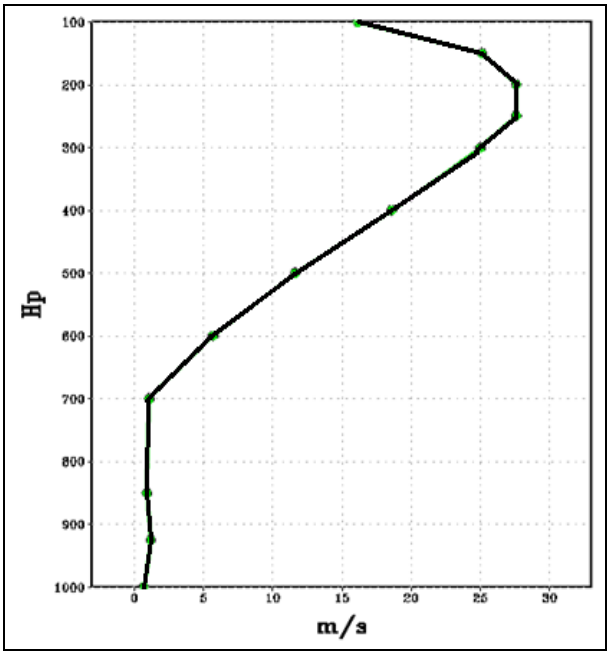
شرایط همدیدی در این روز شکل(۴ الف) استقرار سامانه پرفشاری در شمال دریای خزر، شرایط مساعدی را برای رشد لایه مرزی فراهم کرده است. از طرف دیگر وزش باد جنوبی در ایستگاه (۲۶۵) همراه با فرارفت هوای گرم است که با توجه به زاویه ای که جهت باد با خطوط همدما دارد مقدار آن کم است. در شکل (۴ ب) سطح مقطع سرعتهای قائم در رشد لایه ارائه شده است با توجه به شکل، سرعتهای قائم بسیار ضعیف (بین ۰ تا ۰/۰۵) می باشد پس در این روز سرعتهای قائم نقش چندانی در رشد و عمق لایه مرزی نداشته است. در شکل (۷) نقش چینش باد در کمینه شدن ارتفاع لایه مرزی در این روز را می توان دید وجود چینش باد قابل ملاحظه در ارتفاعات زیرین، نشانگر تاثیر منفی این عامل در رشد لایه مرزی است که مانع از رشد لایه مرزی می شود. باتوجه به مقایسه نقش عوامل موثر در بیشینه و کمینه شدن عمق لایه مرزی در ماه آگوست می توان گفت در نتایج حاصله دیده می شود که در بیشینه شدن عمق لایه آمیخته همه عوامل نقش مثبت دارند در حالیکه در کمینه شدن عمق لایه در این ماه چینش قائم باد نقش اساسی دارد.



شکل ۶. الف) نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل ۸۵۰ هکتوپاسکال روز ۲۸ آگوست .ب) سطح مقطع حرکات قائم در روز ۲۸ آگوست ۲۰۱۲(مقادیر مثبت و منفی بر حسب PS/S به ترتیب نشانگر حرکتهای صعودی و نزولی هستند).

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

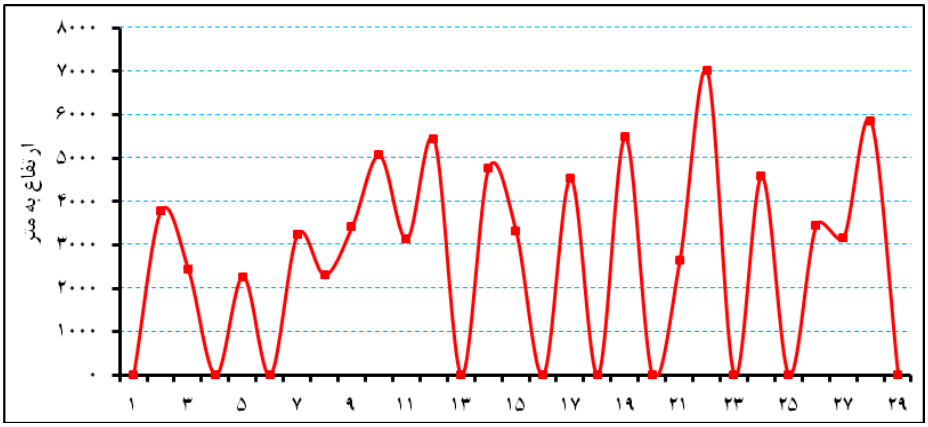
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.83]



شکل ۷. نمایه قایم شدت باد افقی برحسب متر بر ثانیه در ایستگاه کرمانشاه طی روز ۲۸ آگوست ۲۰۱۲

- **نوسان عمق لایه آمیخته در ماه فوریه ۲۰۱۲**

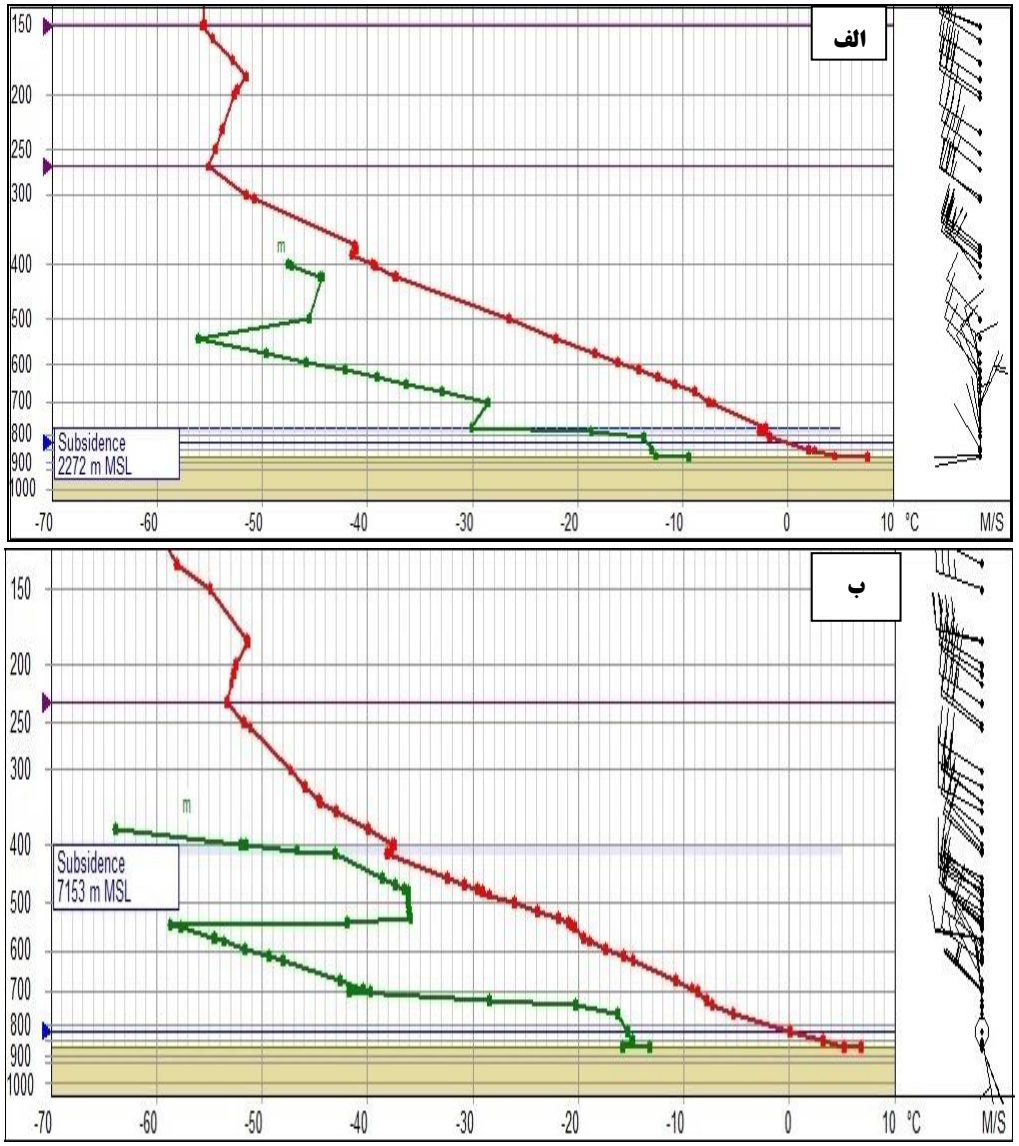
در ماه فوریه نوسانهای بیشتری در عمق لایه آمیخته وجود دارد تغییرات روزانه در ماه فوریه برای لایه آمیخته در شکل (۸) نشان داده شده است. با نزدیک شدن به روزهای آخر ماه، در تغییرات عمق لایه آمیخته روند رشد صعودی به چشم می خورد. در این تغییرات بدلیل اینکه در فصل زمستان ناپایداری های جوی بیشتر است و سامانه های متفاوتی از منطقه عبور می‌کنند، نظم خاصی مشاهده نمی شود. در بررسی های این ماه نیز روزهای ۵ و ۲۲ فوریه به ترتیب کمترین و بیشترین عمق لایه آمیخته را با روش هافتر داشته اند(شکل ۹).



شکل ۸. تغییرات روزانه عمق لایه آمیخته در ساعت UTC ۱۲ در ماه فوریه۲۰۱۲؛ (روزهایی که عمق لایه صفر نشان داده شده است هیچ نوع وارونگی ای مشاهده نشده است).

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

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.83]



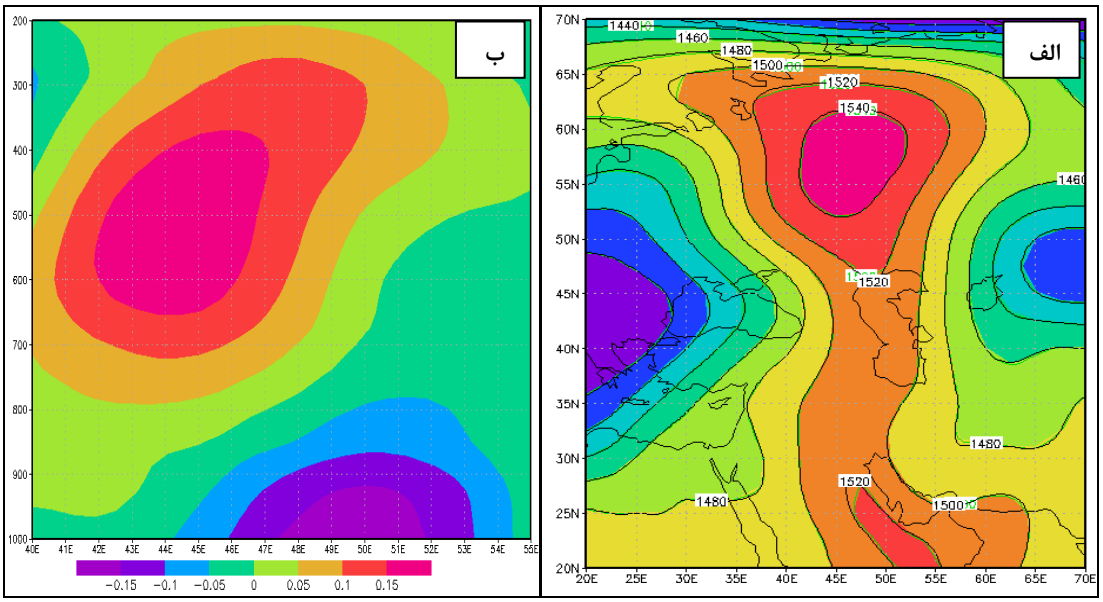
شکل ۹. نمودار مربوط به پیمایش قائم جو برای روزهای ۵ (الف) و ۲۲ فوریه(ب) طی فصل سرد سال

• ویژگیهای بیشینه عمق لایه آمیخته(۲۲فوریه)

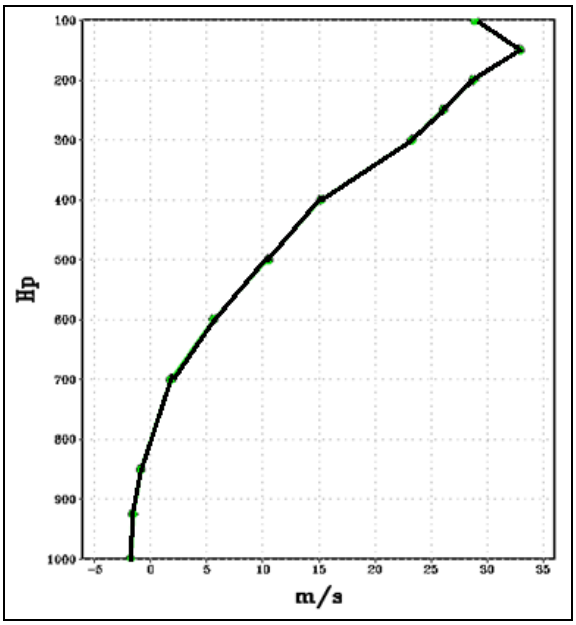
در روز ۲۲ فوریه که بیشترین عمق لایه آمیخته در این ماه برآورد شده است، وضعیت همدیدی به اینصورت است که در شمال ایران یک سامانه پرفشاری حاکم است شکل(۱۰ الف) بعلت واقع شدن منطقه مورد مطالعه در جلوی ناوه با حرکات صعودی همراه است که این حرکات صعودی خود می تواند بعنوان عاملی اثر گذار در عمیق شدن لایه مرزی باشد. وزش باد جنوبی سبب فرارفت های قوی شده و هوای گرم می تواند منجر به بیشتر شدن عمق لایه آمیخته نسبت به شرایط معمول شوند. در شکل (۱۰ ب) سطح مقطع سرعت قائم روز ۲۲ فوریه ارائه شده است. همانطور که در شکل مشاهده می شود سرعت حرکات صعودی دارای مقادیر بسیار کوچکی است. این مقادیر اندک تا ارتفاع لایه آمیخته در طول این روز کشیده شده اند و بالاتر از این ارتفاع حرکات نزولی بچشم می خورد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.83]

در ادامه نقش چینش قائم باد در رشد لایه مرزی نمایه سرعت افقی بـاد در مکـان ایسـتگاه در شـکل (۱۱) درج شـده است. با توجه به این شکل، مشاهده می شود که مولفه افقی سرعت باد در ارتفاعات متفاوت تغییرات چشمگیری نـدارد و همین عامل باعث شده که لایه آمیخته بتواند رشد کند.



شکل ۱۰. الف) نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل ۸۵۰ هکتوپاسکال روز ۲۲ فوریه ۲۰۱۲. ب) سطح مقطع قائم حرکت های قائم در روز ۲۲ فوریه ۲۰۱۲(مقادیر مثبت و منفی بر حسب PS/S به ترتیب نشانگر حرکتهای صعودی و نزولی هستند.



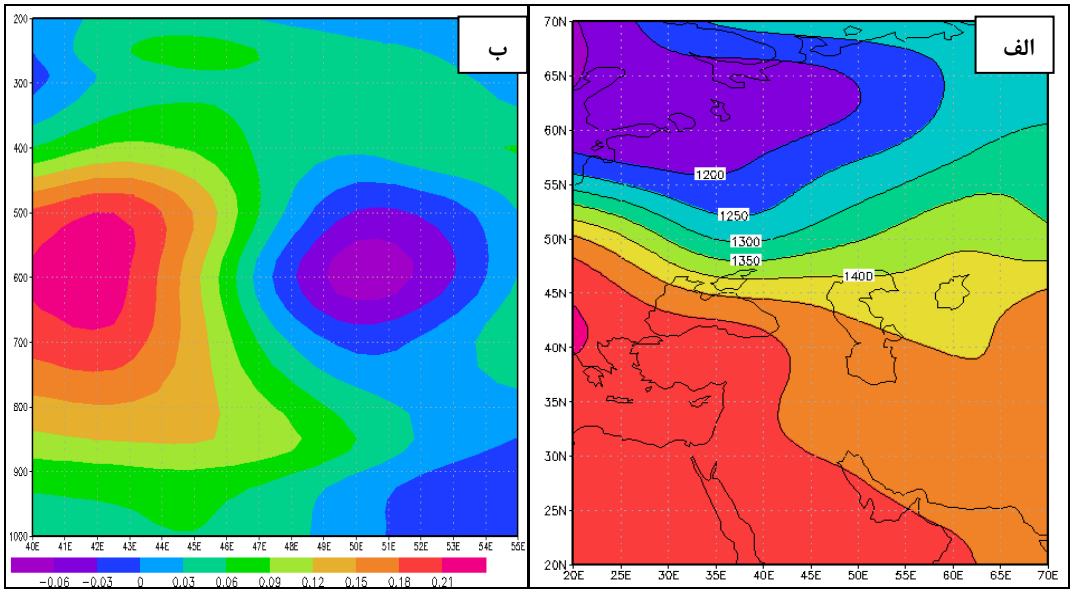
شکل ۱۱. نمایه قایم شدت باد افقی بر حسب متر بر ثانیه در ایستگاه کرمانشاه طی روز ۲۲ فوریه ۲۰۱۲

- **ویژگیهای کمینه عمق لایه آمیخته(۵ فوریه)**

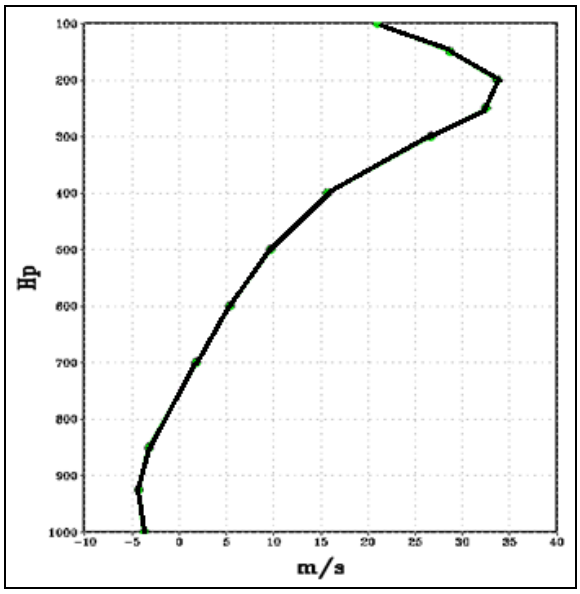
در روز ۵ فوریه کمترین عمق لایه آمیخته برآورد شده است. نقشه همدیدی سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال در این روز شـکل (۱۲ الف) استقرار سامانه پرفشاری در شمال دریای خزر و کشیده شدن آن به منطقه مورد مطالعه می باشد. باتوجه بـه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.83]

اینکه منطقه در عقب ناوه حاصل از این سامانه قرار گرفته است انتظار حرکات صعودی و بارش وجود دارد. با توجه به اینکه رطوبت نسبی ایستگاه کرمانشاه در این روز ۳۵ درصد بوده و در طی این روز بارشی گزارش نشده است می توان گفت که وجود رطوبت؛ علاوه بر اینکه مانعی در رشد لایه مرزی نبوده تا حدودی نیز به رشد لایه مرزی کمک نموده است. همچنین وجود بادهای شمالغربی (با زاویه ۲۷۷ درجه) موجب فرارفت هوای سرد به ایستگاه مورد نظر شده که این عامل در کاهش عمق لایه آمیخته موثر بوده است. عامل دیگر که می تواند در کمینه شدن رشد لایه مرزی موثر باشد، چینش قائم باد افقی است(شکل ۱۳). بر اساس این شکل در ارتفاعات زیرین؛ چینش قائم قابل توجهی دیده می شود که احتمالاً این عامل در جلوگیری از رشد لایه مرزی نقش موثری ایفا کرده است.



شکل ۱۲. الف) نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل ۸۵۰ هکتوپاسکال روز ۵ فوریه ۲۰۱۲. ب) سطح مقطع قائم حرکت های قائم با مدل در روز ۵ فوریه ۲۰۱۲(مقادیر مثبت و منفی بر حسب PS/S به ترتیب نشانگر حرکتهای صعودی و نزولی هستند.



شکل ۱۳. نمایه قایم شدت باد برحسب متر بر ثانیه در ایستگاه کرمانشاه طی روز ۵ فوریه ۲۰۱۲

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.83]

نتیجه گیری

نتایج حاصل از بکارگیری روش هافتر در برآورد عمق لایه آمیخته جوی شهر و تغییرات روزانه آن برای ایستگاه کرمانشاه به عنوان نماینده منطقه غرب ایران در ماه های آگوست و فوریه سال ۲۰۱۲ می باشد. در این راستا عوامل موثر در کمینه و بیشینه شدن لایه آمیخته در هر دوماه (آگوست و فوریه) از جمله: وضعیت همدیدی موجود در منطقه مورد مطالعه در روزهای منتخب، فرارفت گرما، رطوبت، چینش قائم و شدت سرعت باد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در ماه آگوست ماه فرارفت دما، نوع سامانه های همدید و چینش قائم باد به طور مستقیم در رشد یا تضعیف لایه نقش بارزی داشته اند. با توجه به مقایسه نقش عوامل موثر در بیشینه و کمینه شدن عمق لایه مرزی در ماه آگوست می‌توان نتیجه گرفت که در بیشینه شدن عمق لایه آمیخته همه عوامل نقش مثبت دارند؛ در حالیکه در کمینه شدن عمق لایه در این ماه چینش قائم باد نقش اساسی دارد. اما در ماه فوریه نوسانات چشمگیری در مقادیر عمق لایه آمیخته در طول ماه مشاهده شده است. در این ماه نیز فرارفت دما، چینش قائم باد و سامانه های همدیدی در تغییرات عمق لایه آمیخته موثر بوده اند. با مقایسه نتایج بدست آمده از هر دو ماه می توان گفت که مقدار شار سطحی در فصل تابستان بیشتر از زمستان است؛ بنابراین عمق متوسط لایه آمیخته در ماه آگوست تقریباً به دو برابر ماه فوریه رسیده است. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که نوسانات عمق لایه آمیخته در فصل زمستان بدلیل عبور سامانه‌های مختلف و بوجود آمدن ناپایداری‌های جوی، تغییرات بیشتری نسبت به فصل تابستان دارند.

همچنین، نتایج دیگر نشان داد که در فصول گرم، نوسانها در عمق لایه آمیخته و تغییرات روزانه لایه آمیخته نسبت به فصول سرد کمتر است. در ماه های گرم با نزدیک شدن به روزهای آخر ماه، در تغییرات عمق لایه آمیخته روند رشد نزولی به چشم می خورد اما در ماه های سرد روند رشد صعودی برخوردار است. این تغییرات با توجه به اینکه در فصل تابستان ناپایداری های جوی کمتر است و سامانه های کمتری از منطقه عبور می کنند، نظم خاصی مشاهده می شود، اما در فصل پاییز و زمستان بدلیل عبور سامانه های مختلف جوی از منطقه لایه آمیخه از نظم خاصی تبعیت نمی کند و دائم در حال تغییر و نوسان می باشد. همچنین بررسی لایه آمیخته نشان داد که حرکات بالاسوی ناشی از عبور سامانه های سینوپتیک، چینش قائم باد و وجود رطوبت در رشد لایه مرزی موثر می باشند.

با بررسی نتایج تحقیق حاضر با سایر تحقیقات داخلی می توان گفت که نتیجه این تحقیق با تحقیقات پژوهشگرانی همانند طاووسی و همکاران(۱۳۹۶)، که دریافتند وارونگی دمایی در زمستان ضخامت کمتر و شدت بیشتری داشت؛ و تحقیق شمسی پور و همکاران(۱۳۹۲) که دریافتند میزان انرژی جنبشی ناشی از سرعت باد افزایش می‌یابد و در شرایط ناپایدار جوی، با انتقال افقی آلاینده ها و ایجاد حرکات قائم سبب تعدیل آلودگی می گردد در یک راستا می باشد. در سطح بین المللی نیز نتایج این پژوهش با تحقیق یامادا(۱۹۷۹) که نتیجه گرفت ارتفاع لایه مرزی را تا جایی دانسته که، یک سرمایش معنی‌دار در لایه مرزی شب هنگام، گسترش می‌یابد و پژوهش بی و همکاران(۲۰۱۶) که دریافتند آلودگی هوا به وارونگی دمای سطح پایین، سرعت باد افقی، سرعت باد عمودی، همگرایی و وقوع شرایط سینوپتیکی نامساعد در طی فصل زمستان مربوط است. همچنین نتایج این پژوهش با تحقیق ژنگ و ژانگ(۲۰۱۷) که ابراز می دارند ساختار لایه مرزی و وجود وارونگی های دمایی نقش مهمی در انتشار عمودی آلاینده ایفا می کند، در یک جهت می باشد.

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

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.83]

منابع

احمدی‌گیوی، فرهنگ، سمانه ثابت قدم، عباسعلی علی‌اکبری‌بیدختی. (۱۳۹۶). بررسی نوسان عمق لایه آمیخته جو شهری تهران با استفاده از مدل MM۵ و عوامل موثر در آن. *مجله فیزیک زمین و فضا*، **۳۵ (۲)**: ۱۰۵- ۱۱۷.

بیدختی، علی اکبری، عباسعلی، تاج الدین بنی هاشم. (۱۳۷۶). لایه آمیخته شهری و آلودگی هوا. *مجله محیط شناس*،**۲۰(۳)**:۵۱-۶۱.

پناهی، علی. (۱۳۹۷). بررسی ارتباط بین آلاینده های شاخص کیفیت هوا و پارامترهای هواشناسی در اینورژن های شدید شهر تبریز، *فصلنامه ی علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی*، **۱۸(۶۲)**: ۷۶-۶۳.

حسین آبادی، نسرین، تقی طاوسی، عباس مفیدی، محمود خسروی. (۱۳۹۸). بررسی روند وارونگی های دمایی کاتن شهرهای ایران(تهران، مشهد و تبریز). *مجله پژوهش های جغرافیای طبیعی*، **۵۱(۴)**: ۶۹۳-۷۱۳.

شمسی پور، علی اکبر، فهیمه نجیب‌زاد، زینب، حسین‌پور .(۱۳۹۱). شبیه‌سازی الگوی پراکنش آلودگی هوای تهران در شرایط باد. *فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی*، **۱۹(۴)**؛ ۱۹-۳۶.

طاوسی تقی، حسین آبادی نسرین. (۱۳۹۶). ارزیابی شاخص های وارونگی دمای لایه‌مرزی هوای شهر تهران. *فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی*، **۳۲(۲)** :۱۳۲-۱۲۰.

عقلمند، فریبا. (۱۳۹۳). بررسی تاثیر پایداری های جوی بر پتانسیل آلودگی هوای شهر تبریز. پایانامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، شهریور ۱۳۹۳.

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

کرمپور، مصطفی؛ سلیقه، محمد؛ طولابی نژاد، میثم؛ زارعی چغابلکی زهرا. (۱۳۹۵). بررسی آلودگی هوای شهر تهران به روش وارونگی بحرانی هافتر، *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*. ۳ (۱) :۶۴-۵۱.

کریمی، محسن، حسین درخشان. (۱۳۸۴). بررسی وارونگی دمایی(اینورژن) در شهر اصفهان. *مجموعه مقالات دوازدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران*، صص۶-۱.

مجتبی مهدیان ماه فروزی، علی اکبر شمسی پور، مصطفی کریمی احمدآباد، پیمان زواررضا، (۱۳۹۹). تغییرات سالانه ارتفاع لایه مرزی شهر تهران. *فصلنامه پژوهش های جغرافیای طبیعی*، ۵۲(۱۱۱): ۵۰-۳۷ .

نوروزیان، مرضیه. (۱۳۹۴). *بررسی* ساختار وارونگی دما در کلان شهر تهران. پایانامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، شهریور ۱۳۹۴.

هدایت، پریسا. (۱۳۸۸). بررسی سینوپتیکی سیستم‌های اقلیمی موثر بر آلودگی هوای شهر تهران و بیماری‌های قلبی و ریوی. پایانامه ی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

Aghlmand, F. ۲۰۱٤.The effect of atmospheric stability on the potential of air pollution in Tabriz. M.Sc. Thesis, University of Tabriz. September ۲۰۱٤.

Ahmadi Givi, F, Sabet Ghadam, S, Ali Akbari Beidokhti, A. .۲۰۰۹. Investigation of the depth oscillation of the mixed layer of Tehran urban atmosphere using the MM۵ model and its effective factors. Journal of Earth and Space Physics, **۳۵ (۲)**: ۱۰۵-۱۱۷.

Ali Akbari Bidokhti, A, Bani Hashem. T. ۱۹۹۷. Urban Mixed Layer and Air Pollution**.** Journal of Environmental Studies, **۲۰(۳)**: ٥۱-٦۱.

Bei, N, Li, G., Huang, R, Cao, J, Meng, N, Feng, T, Liu, S, Zhang, T, Zhang, Q. and Molina, L.T. ۲۰۱٦. Typical synoptic situations and their impacts on the wintertime air pollution in the Guanzhong basin, China. Journal Atmospheric Chemistry and Physics, **۱۰(٤)**: ۱-۳٤**.**

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

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.83]

Brümmer, B., Schultze, M .۲۰۱۵. Analysis of a ۷-year low-level temperature inversion data set measured at the ۲۸۰ m high Hamburg weather mast. Meteorologische Zeitschrift, **۲٤(٥):** ٤٨١-٤٩٤.

Deardroff, J.W. ۱۹۷٤. three-dimensional numerical study of the height and mean structure of heated planetary boundary layer, pp ۲٥-۳٥.

Hanna, S, R. .۱۹٦۹. the thickness of the planetary boundary layer. Atmos, Envir, ۳,٥۱۹-٥۳٦.

Hedayat, P. ۲۰۰۲. Synoptic study of climatic systems affecting air pollution in Tehran and heart and lung diseases. Master Thesis. Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University.

Heffter,J.L. ۱۹۸۰.Transport Layer Depth Calculations. Second Joint Conference on Applications of Air pollution Meteorology,NewOrleans,LA(۱۹۸۰).

Holtslag, A.A.M., B.A. Boville .۱۹۹۳. Local versus Nonlocal Boundary-Layer Diffusion in a Global Climate Model. Journal of Climate, **٦(۱۳):**۱۸۲٥–۱۸٤۲.

Holzworth, G. ۱۹٦۷. Mixing depths, Wind speeds and air pollution potential from selected Locations in the United States. J, Appl.Met, **٦(٦):** ۱۰۳۹-۱۰٤٤.

Hong, Song-You, Hua-Lu Pan. ۱۹۹٦. Nonlocal Boundary Layer Vertical Diffusion in a Medium-Range Forecast Model. Monthly Weather Review, ۱(۲٤): ۲۳۲۲–۲۳۳۹.

Hosseinabadi, N, Tavousi. T, Mofidi A, Khosravi. M. ۲۰۱۹. Investigation of Temperature Inversions of Cotton in Iranian Cities (Tehran, Mashhad and Tabriz)**.** Journal of Natural Geography Research, **٥۱ (٤):** ٦۹۳-۷۱۳.

Kaimal, J. C, Wyngaard, D. A. Haugen, O. R. Coté, Y. Izumi, S. J. Caughey, and C. J. Readings. ۱۹۷٦. Turbulence Structure in the Convective Boundary Layer. J. Atmos. Sci., **۳۱(۳):** ۲۱٥۲–۲۱٦۹.

Karimi, M. Hussein, D. ۲۰۰٥. Investigation of Temperature Inversion (Inversion) in Isfahan. Proceedings of the ۲۰th Geophysical Conference of Iran, pp. ۱-٦.

Lin, Jin-Tai, Michael B. MaElroy. ۲۰۱۰. Impacts of boundary layer mixing on pollutant vertical profiles in the lower troposphere: Implications to satellite remote sensing. Atmospheric Environment, **٤٤(۳):** ۱۷۲٦–۱۷۳۹.

Liu, Y. and Key, J. ۲۰۰۳. Detection and analysis of clear sky, low-level atmospheric temperature inversion with MODIS. J.Atmos. Oceanic Technol, **۲۰(٥):** ۱۷۲۷-۱۷۳۷.

Liu. S and XZ Liang. ۲۰۱۰. Observed Diurnal Cycle Climatology of Planetary Boundary Layer Height. Journal of Climate, **۲۳(٦):** ٥۷۹۰–٥۸۰۷.

Marsik FJ, KW Fischer, TD McDonald, and PJ Samson. ۱۹۹٥. Comparison of Methods for Estimating Mixing Height Used During the ۱۹۹۲ Atlanta Field Intensive. Journalof Applied Meteorology, **۳٤(۸):** ۱۸۰۲–۱۸۱٤.

Nowruzian, M. ۲۰۱٥. Study of temperature inversion structure in Tehran metropolis. M.Sc. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, September ۲۰۱٥.

Panahi, A. .۲۰۱۸. The study of the relationship between air quality index pollutants and meteorological parameters in severe inversions of Tabriz. Journal of Geographical Space, **۱۸ (٦۲):** ۷٦-٦۳.

Panofsky, H.A., and Dutton, J, A. ۱۹۸٤. Atmospheric eturbulence .NewYourk, Willey&Sons, Inc., ۳۹۷ pp.

Qassami, T. Bidakhti Ali Akbari, A, Sedaqat Kardar A. Sahraeian. F. ۲۰۱۰**.** Investigation of vertical changes in potential temperature in several critical periods of air pollution in Tehran. Environmental Science and Technology, **۱۲ (۳):** ۱۳-۲٤.

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

Shamsipoor, A, Najibzad F, Hosseinpour Z. ۲۰۱۲. Simulation of Tehran air pollution distribution pattern in wind conditions. Geography and Environmental Hazards, **٤(۳):** ۱۹-۳٦.

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

Stull.R, B. ۲۰۰۰. Meteorology for scientists and engineers,Brooks Cole ,٥۰۲pp.

Tavousi T, Hosseinabadi. N. ۲۰۱۷. Evaluation of temperature inversion indices of the air border layer of Tehran. Geographical Research. **۳۲ (۲):** ۱۲۰-۱۳۲.

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

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.83]

Wyngaard, John C.; Richard A. Brost. ۱۹۸۳.Top-down and bottom-up Diffusion of a scalar in the convective boundary layer. Journal of the atmospheric sciences, **۱(٤۱):** ۱۰۲–۱۱۲.

Yamada, T. ۱۹۷۹. Prediction of the nocturnal surface inversion height. J, Appl.Met, **۱۸(٤):** ٥۲٦-٥۳۱.

Yasmeen, Z. ۲۰۱۱. Inversion Layer and its Environmental Impact over Karachi. Pakistan Journal of Meteorology**, ۱٤(۷):** ٦۳-۷۹

Zeng, S., Zhang, Y. ۲۰۱۷. The Effect of Meteorological Elements on Continuing Heavy Air Pollution, A Case Study in the Chengdu Area during the ۲۰۱٤ Spring Festival, Atmosphere**, ۸(٤):** ۸٥-۹٤.

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

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.83]