نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال دهم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲

صفحات ۱۳۹ – ۱۶۲

تحلیل وارونگی دمایی شهر بندرعباس با استفاده از شاخص شدت وارونگی

زینب دولتشاهی؛ دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

مهری اکبری[1]؛ دانشیار اقلیم شناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

بهلول علیجانی؛ استاد اقلیم شناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

داریوش یاراحمدی؛ دانشیار اقلیم شناسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.

میثم طولابی نژاد؛ دکتری اقلیم شناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

دریافت مقاله :۱۴۰۰/۱۰/۰۹ پذیرش نهایی:۱۴۰۱/۰۳/۰۳

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی انواع وارونگی و شدت آن‌ها با استفاده از شاخص های ترمودینامیکی جو از قبیل شاخص SI، LI، KI و TT در ایستگاه بندرعباس برای دوره ۲۰۱۰ -۲۰۲۰ به رشته تحریر در آمده است. در این پژوهش داده های رادیوسوند جو بالای ایستگاه همدید بندرعباس برای ساعت ۰۰ گرینویچ(۳/۵ محلی) طی ۱۱ سال اخیر (۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰) از دانشگاه وایومینگ اخذ و مورد استفاده قرار گرفت. نتایج تحلیل ها نشان داد که میانگین تعداد رخداد پدیده وارونگی در بندرعباس برابر ۵۰۱ مورد در سال می‌باشد چرا که در برخی روزها چند نوع وارونگی در ارتفاع متفاوت مشاهده شد. از این تعداد وارونگی ، حدود ۳۱/۶ درصد آن مربوط به وارونگی دمای تشعشعی، ۴/۳ درصد جبهه ای، و ۶۴/۱ درصد دیگر مربوط به وارونگی از نوع فرونشینی می‌باشد. به دلیل نشست هوا در زیر پرفشار جنب‌حاره، سهم وارونگی‌های فرونشست بیشتر از انواع دیگر وارونگی می‌باشد. در این میان شدیدترین وارونگی ها از نوع فرونشست با ۱۳۵۴ مورد و ضعیف ترین وارونگی ها نیز با ۲۹ مورد و از نوع جبهه ای بوده است. بطور کلی میانگین بلندمدت ضریب شدت وارونگی های ایستگاه بندرعباس با ضریب ۰/۰۶۲ نشان می‌دهد که شدت وارونگی های این شهر اکثرا از نوع بسیار شدید هستند که این رخداد می تواند آثار بسیار مخربی هم از نظر محیط زیستی و هم سلامت جسمی ساکنین شهر بندرعباس در پی داشته باشد. همچنین همبستگی بین عناصر وارونگی نشان داد که با کاهش ضخامت لایه وارونگی، شدت وارونگی دمایی نیز افزایش می باشد.

واژه‌های کلیدی: وارونگی دمایی، ضخامت جو، شدت وارونگی، آلودگی جو، بندرعباس.

۱ . نویسنده مسئول: Email: akbari@khu.ac.ir

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.9.6]

[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.139]

مقدمه

دمای هوای محیط در تروپوسفر معمولا با افزایش ارتفاع کاهش می یابد(به ازاء هر ۱۰۰۰ متر افزایش ارتفاع ۵ الی ۶ درجه سانتیگراد دما کاهش می بابد) ولی گاهی با افزایش ارتفاع دمای هوا افزایش یافته که به این وضعیت وارونگی دمایی یا اینورژن می گویند(Ghosh A.K. et al,۱۹۹۹) وارونگی دما زمانی رخ می دهد که لایه ای از هوای گرم بالای هوای سرد مجاورت کره زمین قرار می گیرد. (Nodz et al, ۲۰۰۶). درچنین شرایطی پایداری هوا ایجاد می شود و به جای آنکه با افزایش ارتفاع کاهش دما داشته باشیم تا چند صد متر از سطح زمین با افزایش ارتفاع افزایش دما خواهیم داشت Pankajakshan et al, ۱۹۹۹). می توان گفت معیار تشخیص و ارزیابی این پدیده، دو فاکتور ارتفاع و تغییرات دما می باشد که در حالت وقوع پدیده وارونگی، این پدیده ها با یکدیگر ارتباط مستقیم دارند(Ogino S.Y. et al,۲۰۰۶).

وارونگی دما با توجه به نحوه شکل گیری به ۴ نوع تقسیم می شود.

۱- وارونگی تشعشعی یا سطحی این نوع وارونگی در نزدیکی سطح زمین رخ می دهد و نقش مهمی در کیفیت هوا دارد(ویتمن ۱۹۸۱). این نوع وارونگی در اثر زمینتاب در شب و سرد شدن هوای سطح زمین نسبت به جو بالا ایجاد می شود و معمولا در شبهای بدون ابر و همراه باد ضعیف پدید می آید(Yasuda I.۲۰۰۵)؛

۲-وارونگی فرونشینی که در اثر فرونشینی هوا به دلیل همگرایی هوا در سطح فوقانی و واگرایی همزمان هوا در سطح زمین رخ می دهد(Brandt, R.et al,۲۰۰۵)؛

۳-وارونگی تلاطمی که قدرت باد و تربولانس ایجاد شده در یک حد معیین سبب ایجاد وارونگی عمیق تروبولانسی در سط ح زمین و گاهی در سطوح فوقانی می گردد(Lehmacher G.A.et al, ۲۰۰۶)؛

۴- وارونگی جبهه ای در هنگام عبور یک توده هوای سرد از زیر یک توده هوای گرم به وجود می آید ، در این صورت توده هوای گرم به وسیله توده هوای سرد به سطوح بالاتر جو رانده می شود ، این نوع وارونگی زودگذر است و از عمر کوتاهی برخوردار بوده و علاوه بر این وقوع وارونگی جبهه ای اغلب با بارندگی همراه است و از این لحاظ باعث پاک شدن هوا از مواد آلاینده می گردد .علاوه بر وارونگیهای اشاره شده در بالا ، وارونگی موضعی یا منطقه ای نیز در برخی مناطق خاص به وقوع می پیوندد . برای مثال هنگامی که یک توده هوای متحرک گرم از بالای سطح آبهای سرد می گذرد نوعی وارونگی موضعی اتفاق می افتد ، این مسئله هنگام شب درکوهستان با لغزش هوای سرد کوهستان به زیر هوای گرم دره ها نیز مشاهده می شود(کریمی و درخشان،۱۳۸۴).

زمانی اهمیت پدیده وارونگی دما دو چندان می شود که به بررسی اثرات حاصل از پدیده وارونگی دما پرداخته شود. پدیده وارونگی دما به این دلیل حائز اهمیت است که باعث ایجاد پدیده فیومیگیشن(Fumigation) می شود. این پدیده هنگامی روی می دهد که برای مدت کوتاهی بعد از طلوع آفتاب، اشعه تابشی آفتاب لایه هوای ناپایدار در مجاورت سطح زمین ایجاد کند سپس این لایه با مواد پراکنده واقع در لایه وارونه شبانه ترکیب یافته و باعث می شود مواد پراکنده به سطح زمین برگردند. در نتیجه غلظت مواد آلاینده در مدت کوتاهی به شدت افزایش می یابد و پدیده فیومیگیشن ایجاد می شود(اسمیت، ۱۳۸۶). نقش پارامترهای آب و هوایی از جمله وارونگی دما، بر روی تشدید غلظت آلاینده های شهرهای صنعتی از مهمترین عوامل تاثیرگذار بر روی افزایش یا کاهش مرگ و میر و ابتلا به بیماریها و اثرات که بر روی گیاهان و جانوران دارد محسوب می شود.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.9.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.139]

با توجه به گسترش شهرها و افزایش منابع آلاینده های هوا، هوای اغلب شهرهای بزرگ و صنعتی آلوده می باشد. در عین حال به جهت خطراتی که این آلودگی برای سلامت افراد ساکن در مناطق آلوده دارد شناخت و آگاهی نسبت به جوانب مختلف این مسئله از اهمیت بسزایی برخودار می باشد و تنها با آگاهی و شناخت از این مساله امکان جلوگیری یا کاهش خطرات آن وجود دارد(رنجبر، ۱۳۸۵). گسترش شهر نشینی و توسعه شهرها به همراه افزایش شتابان جمعیت و توسعه فعالیت های صنعتی با مصرف بی رویه سوختهای فسیلی، به شدت آلودگی ها را افزایش داده، که عواقب آن در درجه اول بصورت انواع امراض و بیماری های تنفسی، تشدید بیماریهای قلبی و ریوی، متوجه ساکنان شهرها می شود(درویش محمدی،۱۳۹۱). 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 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). اگرچه پدیده وارونگی یک خصیصه اقلیمی است، که نمی توان مدل وقوع کلی آنرا متحول ساخت، ولی احتمال این مطلب که بتوان پایداری آنرا در حدی نگه داشت که نتواند موجب افزایش غلظت آلوده کننده ها به مرز هشدارهای جدی برسد، وجود دارد. این پدیده از بین نخواهد رفت مگر اینکه به هر طریقی اختلاف دما و یا اختلاف فشاری بین لایه های مختلف جو ایجاد بشود، در صورت عدم وجود چنین عواملی به مرور به ضخامت لایه آلودگی ها و ذرات غبار معلق در هوا افزوده می شود. یکی از این آلودگی ها گاز منواکسید کربن است که تنفس این گاز بی رنگ و بو باعث سردرد و سرگیجه و در پایان مرگ می شود اتفاقی که بارها در بعضی از کشورها به هنگام بروز این رخداد طبیعی باعث مرگ چندین نفر شده است(درویش محمدی،۱۳۹۱). بنابراین با توجه به مسائل و مشکلاتی که آلودگی هوا و وارونگی دما برای جانداران خصوصا زندگی انسانها بوجود می آورد و با توجه به اینکه مطالعات محدودی در ایران در زمینه‌ی تفکیک انواع وارونگی‌های دمایی، تحلیل زمانی- فضایی رخداد وارونگی دمایی و بررسی ارتباط وارونگی دمایی با توجه به مولفه‌های مختلف آن صورت گرفته است، لذا شناخت دقیق این مولفه ها و تحلیل زمانی-مکانی وقوع آنها ضروری به نظر می رسد.

نمونه ای از مطالعاتی که تاکنون در سطح جهان و ایران صورت گرفته است ب شرح زیر می باشند:

(Donald, G.B.et al,۱۹۹٦) ، از اولین پژوهشگرانی است که به بررسی فراوانی، زمان شروع، تداوم و شدت وارونگی های دما و تاثیر آن روی آلودگی کلانشهر پائول، در طی دوره زمانی ۸ ساله از (ماه ژوئن ۱۹۶۱ تا ماه ژوئیه ۱۹۶۸) پرداخت. وی به این نتیجه رسید که اکثر وارونگی های شدید در ماه اکتبر روی داده، به طوری که ۴۸ درصد از وارونگی های این ماه بیش از ۱۰ ساعت طول کشیده که میانگین آنها ۸ ساعت بوده است. همچنین در مقایسه با شاخص وارونگی، پایین ترین میزان آلودگی مربوط به ماه های آوریل، مارس و مه بوده است. همچنین Thadathil.P, (A.et al,۱۹۹۹)، در بررسی «وارونگی دمای لایه سطحی جنوب شرق دریای عرب در زمستان» از داده های ۱۱۳۲ ایستگاه استفاده کردند. نتایج نشان داد که وارونگی یکی از ویژگی های فصلی پایدار زمستان است و این وارونگی به آب های ساحلی محدود شده است. لایه وارونگی در این محدوده ضخامتی حدود ۱۰ تا ۸۰ متر دارد و گرادیان از صفر تا ۱و ۲ درجه است. علت ایجاد این وارونگی فرا رفت هوای سرد خلیج بنگال بر روی آب گرم دریای عرب در امتداد

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.9.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.139]

سواحل غرب هند است. همچنین براساس مطالعه ی (Kankanala, P,۲۰۰۷) ، به مطالعه وارونگی های سطح پایین آلاسکا پرداخت. وی عقیده داشت که پوشش ابر برروی ساختار وارونگی تاثیر می گذارد و (Bourne, S.M.et al,۲۰۰۸)، به مطالعه وارونگی های سطح پایین آلاسکا پرداختند و به این نتیجه رسیدند که پارامترهایی از قبیل ضخامت، اختلاف دما و فراوانی وارونگی دما دارای روند کاهشی بلند مدت می باشند. تجزیه و تحلیل داده ها ۷ ساله توسط (Brümmer, B, Schultze, M,۲۰۱۵) ، صورت گرفت، وارونگی دما اندازه گیری شده در ارتفاع ۲۸۰ متری در ایستگاه هواشناسی هامبورک نشان داد که واگرایی جریان تابشی فراییند بسیار مهمی برای تشکیل و انحلال لایه وارونگی دما هست. سپس(Bei, N. et al, ۲۰۱٦) ، تاثیر شرایط همدید بر آلودگی هوا در فصل زمستان را در حوضه گان ونگ چین با استفاده از مدل 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 همدیدی نامساعد در طی فصل زمستان مربوط دانستند. همچنین(Zeng, S., Zhang, Y,۲۰۱۷)، با مطالعه تاثیر هواشناسی بر تداوم آلودگی های سنگین هوا در منطقه چنگدو چین طی بهار ۲۰۱۴ نشان داد 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 مطالعه ای که (Dergunov, A. et al,۲۰۲۰)،در پژوهشی به بررسی و تجزیه و تحلیل وارونگی دما در طول دوره های شرایط نامساعد جوی در کراسنویارسک در دوره زمستانی ۲۰۱۹-۲۰۲۰ پرداخته اند. در این پژوهش به جستجوی روابط بین آلودگی جو کراسنویارسک توسط ذرات معلق و وارونگی دما - افزایش دما با ارتفاع در سطح لایه جو پرداخته اند. این تحقیق بر اساس داده های تحلیل مجدد بوده است. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش به این صورت است ک درجه بالایی از همبستگی بین این مقادیر و وارونگی دمایی وجود دارد و این امکان وجود دارد که از داده‌های مدل GFSبرای پیش‌بینی وضعیت محیطی استفاده شود.

سپس(Coshkun, M. et al, ۲۰۲۰) ،وارونگی دما در فصل زمستان در اطراف کارابوک – سافرانبولو، اثرات احتمالی بر محیط طبیعی و انسانی را بررسی کردند. هدف از این پژوهش تعیین تأثیر تغییر دمای زمستان بر مردم و سایر موجودات زنده منطقه با تعیین حد، درجه، زمان و تأثیرات احتمالی بر محیط طبیعی و انسانی بوده است. (Khalesi, B. et al, ۲۰۲۰) ، تحلیل زمانی وارونگی دما در لایه مرزی جوی شهر تهران طی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷ را مورد بررسی قرار داده اند. در این پژوهش با استفاده از داده‌های صوتی هوای فوقانی در مقیاس‌های زمانی مختلف طی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷، ویژگی‌های وارونگی مبتنی بر سطح را در شهر تهران، پایتخت ایران، ارزیابی کرده اند. در این تحقیق برخی ویژگی‌ها از جمله ارتفاع و دمای لایه‌های وارونگی علاوه بر میزان لغزش محیطی و شاخص شدت وارونگی مورد بررسی قرار داده اند. نتایج این تحقیق به این صورت بود که در طول روزهای وارونگی تشعشعی، از جمله وارونگی های شدید در دوره های پاییز و زمستان، متغیرهای اقلیمی تابش موج بلند رو به بالا، دمای سطح زمین، شار حرارتی محسوس سطحی و حرکت عمودی توده هوا در سطح حداقلی در سراسر لایه مرزی اتمسفر بودند، در حالی که غلظت دی اکسید نیتروژن به طور معنی داری در بالاترین مقدار بود. در ایران نیز محققین زیادی از جمله لشکری(۱۳۸۴)، « تحلیل همدیدی اینورژن های شدید شهر تهران»، سلطانی(۱۳۸۵)، «وارونگی دمایی شهر تبریز»، عظیمی(۱۳۸۷)، به « ارزیابی تاثیر وارونگی دما بر روندآلودگی هوای شهر اهواز»، علیجانی (۱۳۸۸)، بررسی الگوهای همدیدی اینورزن در مشهد با استفاده از تحلیل عاملی، کرمپور(۱۳۹۵)، به «بررسی آلودگی هوای شهر تهران به روش وارونگی بحرانی هافتر» طاوسی(۱۳۹۶)،به« ارزیابی شاخص های وارونگی دمای لایه مرزی هوای شهر تهران» حسین آبادی(۱۳۹۸)،به « بررسی روند وارونگی های دمایی کاتن شهرهای ایران(تهران، مشهد و تبریز» پرداخته اند. عساکره و احدی(۱۳۹۹)

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.9.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.139]

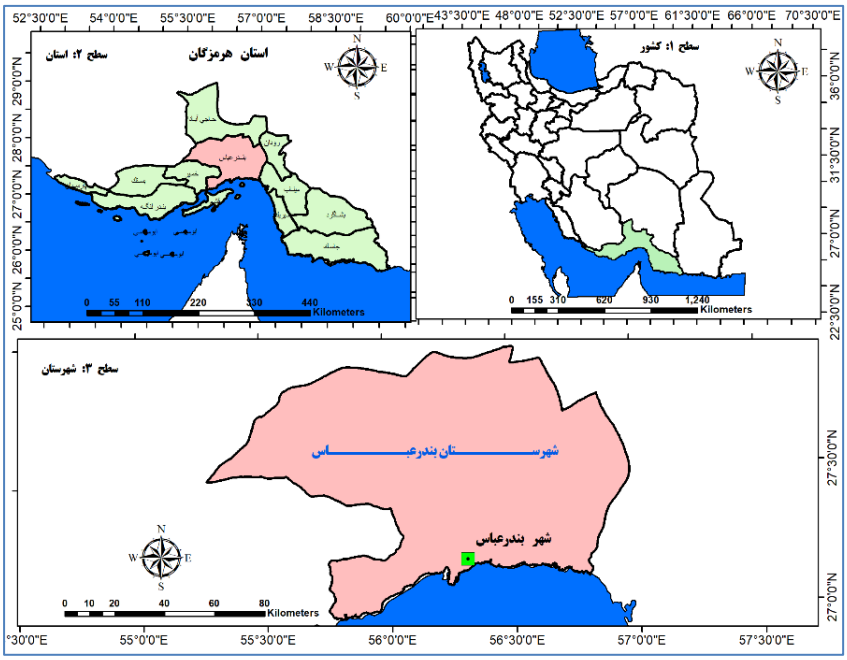
رابطهٔ تیپ‌های هوایی تبریز و آلودگی هوا را بررسی کردند. نتایج نشان داد باد غالب جنوب غربی– شمال شرقی با سرعت کم است که حاصل استقرار مرکز پُرفشار اروپا و سیبری در شمال غربی و شمال شرقی ایران است، آلودگی صنایع را به مرکز شهر هدایت می‌کند. شهر بندر عباس از دیدگاه تجاری، صنعتی و تاریخی یکی از مهمترین شهرهای ایران می باشد که در دهه های اخیر توسعه زیادی داشته است. رشد صنایع، ازدیاد وسائط نقلسه، مهاجرپذیر بودن و از طرفی وجود عوامل تشدید کننده آلودگی هوا مانند وضعیت خاص جغرافیایی و شرایط آب و هوایی از لحاظ اقلیم حاکم بر منطقه پتانسیل بروز آلودگی هوا در شهر بندعباس را افزایش می دهد(Breed CA.et al,۲۰۰۲).در سطح حوزه بندرعباس آلودگی هوا ناشی از حوادث طبیعی و سایر عوامل انسان ساخت را می توان ب اختصار شرح داد:۱- آلودگی ناشی از حرکت ماسه های روان و پخش گرد و غبار ناشی از طوفان و بادهای شدید. ۲- آلودگی ناشی از پخش گازهای آلاینده از مناطق باتلاقی و ساحلی و یا آلودگی و مکلات ناشی از امواج گرما در مناطق ساحلی۳- آلودگی وای ناشی از فعالیت صنایع بزرگ استان نظیر آلومینیوم، روی، فولاد، نیروگاهها، پالایشگاه نفت،گاز و غیره۴-آلودگی ناشی از جابه جایی مواد فله ای معدنی توسط اسکله ی منطقه ی ویژه اقتصادی خلیج فارس ۵- آلودگی هوای ناشی از فعالیت واحد نیروگاه توانیر بندر عباس که در حال حاضر ۷۰ تا ۸۰ درصد آلودگی هوای شهر بند عباس و پیرامون آن مربوط به این نیروگاه است ۶- آلودگی هوای ناشی از حوادث غیر مترقبه طبیعی از جمله مخازن سوخت و سایر مواد نفتی صنایع منطقه و جایگاه های تخلیه و بارگیری دپوی مواد فله ای آلاینده در منطقه و .... (بیگلری و عامری سیاهویی، ۱۳۹۴). از آنجایی که همزمان با پیشرفت صنعت، احتمال ورود آلاینده های هوا به اتمسفر نیز بیشتر می شود، در نتیجه این آلودگی هوا، محیط زندگی ساکنین بخصوص بیماران قلبی عروقی شهر بندرعباس با چالش های عدیده ای مواجه خواهد شد، لذا بررسی آلودگی شهر بندر عباس ضروری می نماید.

داده ها و روش کار

الف) قلمرو جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

شهرستان بندرعباس با پهنه ای حدود ۱۳۲۵۵/۱ کیلومتر مربع، در شمال تنگه هرمز، در ۲۷ درجه و ۱۱ دقیقه ی پهنای شمالی و ۵۶ درجه و ۱۷ دقیقه ی خاوری نسبت به نیم روز گرینویچ قرار گرفته و بلندی آن از سطح دریا ۶ متر است. آب و هوای شهرستان بندرعباس به دلیل شرایط ویژه خود، گوناگون بوده و از آنجا که پارامترهای بارش، دما و رطوبت نسبی پارامترهای وابسته به یکدیگر محسوب می شوند و تغییرات آنها تاثیر بسزایی بر نوع اقلیم این منطقه دارد. وزش بادهای شمالی در این شهرستان همراه با گردو غبار بوده و گاهی با رطوبت زیاد دریا همراه است و هوای بسیار گرم مرطوبی را به وجود می آورد. دمای هوای شهر بندرعباس در گرم ترین روزها به ۴۵ درجه سانتیگراد نیز رسیده است. میانگین بارش بندرعباس در حدود ۲۰۰ میلیمتر است.

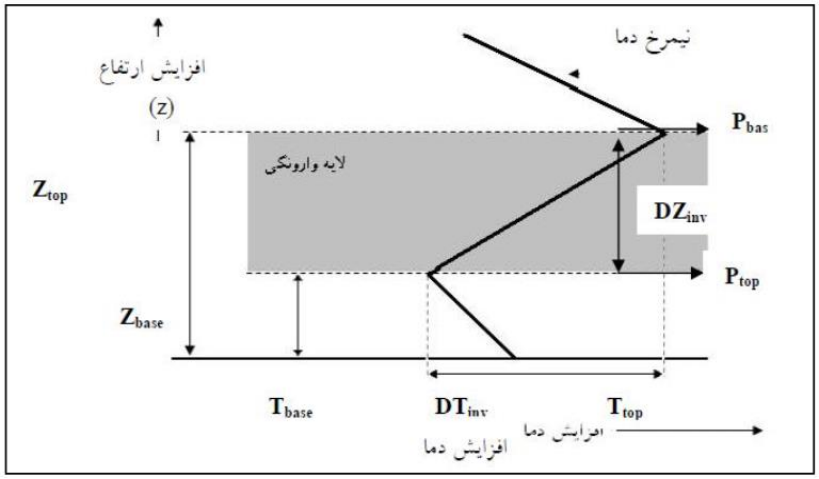
[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.9.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.139]



شکل(۱). موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

ب) داده ها

در این پژوهش داده های رادیوسوند جو بالای ایستگاه همدید بندرعباس (جدول ۱) طی ۱۱ سال اخیر (۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰) در ساعت ۰۰ به وقت گرینویچ (۳/۵ به وقت محلی) از دانشگاه وایومینگ به آدرس http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html اخذ و مورد استفاده قرار گرفت. شاخص های مورد استفاده شامل شاخص های ترمودینامیکی از قبیل شاخص SI، LI، KI و TT و دمای پتانسیل هستند. همچنین از دیگر داده های مورد استفاده در این پژوهش، اطلاعات مخابره شده رادیوسوند شامل ارتفاع پایه وارونگی از سطح زمین به متر(Zbase)، ارتفاع راس وارونگی از سطح زمین به متر (Ztop)، مقدار دما در پایه و راس لایه وارونگی به درجه سلیسیوس(Tbase)، اختلاف دما بین پایه و راس لایه وارونگی به درجه سیلیسیوس(DZinv) و مقدار فشار در پایه(Pbase) و راس لایه وارونگی(Ptop) است که از روابط (۱ و ۲) محاسبه می شود. .شکل(۲).



شکل(۲). خصوصیات نیمرخ وارونگی دمای هوا (یاکوبلیس و همکاران ،۲۰۰۹)

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.9.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.139]

ج) روش شناسی

برای انجام این تحقیق ابتدا با استفاده از داده های اسکیوتی روزهای دارای شرایط پایداری (وارونگی) به کمک نرم افزار RAOB استخراج شدند، سپس فراوانی روزهای وارونگی و نوع آنها در ایستگاه بندرعباس در مقیاس ماه، فصل و سال محاسبه شد. در مرحله بعد مولفه های وارونگی ها شامل نوع، ارتفاع، ضخامت، دمای پتانسیل لایه و شدت وارونگی ها مورد تجزیه تحلیل قرار گرفت. روش تشخیص انواع وارونگی بر اساس الگوریتم های موجود در نرم افزار RAOB و شاخص های پایداری و روابط (۱ و ۲) در روش تحقیق می باشد.

جدول (۱). مشخصات ایستگاه کنترل جو بالای بندرعباس(فرستنده رادیوسوند)(کمیجانی و همکاران،۱۳۹۳)

ایستگاه	طول	عرض	ارتفاع
بندرعباس	۵۶/۲۲	۲۷/۱۳	۹/۸

ابتدا با استفاده از رابطه (۱) دمای پتانسیل سقف و کف لایه وارونگی از رابطه(۱) محاسبه شد (Retallack, B.J. ۱۹۷۳).

$$\theta = T\left(\frac{1000}{P}\right)^{0.286}$$

Θ : دمای پتانسیل به درجه کلوین

T : دما به کلوین

P : فشار هوا به هکتوپاسکال

پس از محاسبه دمای پتانسیل سقف و کف لایه وارونگی با استفاده از رابطه (۱) ، اقدام به محاسبه شدت وارونگی دما با استفاده از رابطه (۲) در مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و سالانه نموده ایم.

رابطه (۲):

$$I = \frac{(\Delta\theta)^2}{3+Z(\Delta z)}$$

Δθ اختلاف دمای پتانسیل راس و پایه وارونگی به درجه کلوین

Δz ضخامت لایه وارونگی به متر

Z ارتفاع ایستگاه به هکتومتر

شدت وارونگی‌ها به ۴ گروه تقسیم می شوند(Retallack, B.J. ۱۹۷۳ به نقل از طاووسی و همکاران، ۱۳۹۵). جدول(۲).

جدول(۲). تقسیم بندی شاخص شدت وارونگی[۲] بر اساس ضریب شدت

شدت وارونگی	ضعیف	متوسط	شدید	بسیار شدید
ضریب شدت	۰ - ۰/۰۱۰	۰/۰۱۱-۰/۰۲۰	۰/۰۲۱-۰/۰۳۰	بالای ۰/۰۳۱

۲.inversion intensity index

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.9.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.139]

- **شاخص های ترمودینامیک**

- شاخص بالارونده (LI)

یکی از مهمترین شاخص های شناسایی تفان های تندری است که برای ارزیابی ناپایداری بسته هوا در سطوح زیرین تروپسفر (نزدیک سطح زمین)مورد استفاده قرار میگیرد.این شاخص را می توان به کمک رابطه (۳)تعریف کرد:

$$LI = T_{500} - T_{p500} \qquad \text{رابطه (۳):}$$

در این رابطه LI(C) معرف شاخص ناپایداری، T_{500} (C) دمای محیط در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و T_{p500} (C) دمای بسته هوا در تراز ۵۰۰هکتوپاسکال می باشد که به صورت بی درو خشک از سطح زمین تا تراز LCL (تراز بالابری میعان)و سپس به صورت بی درومرطوب تا تراز ۵۰۰هکتوپاسکال صعود کرده است. احتمال وقوع توفان بر اساس این شاخص را میتوان به کمک جدول زیر تخمین زد. مقادیر منفی LI نشان دهنده لایه مرزی ناپایدار می باشد و افزایش آن موجب افزایش شناوری منفی شده و به این ترتیب بسته هوا از لایه مرزی صعود میکند.

- شاخص شلووالتر (SI)

این ارزیابی براساس ارزیابی شرایط پایداری یا ناپایداری بسته هوا در تراز ۸۵۰میلی باری تعریف میشودو به کمک رابطه (۴) محاسبه میشود:

$$SI = T_{500} - T_{p500} \qquad \text{رابطه (۴):}$$

در رابطه شووالتر T_{p500} معرف دمای بسته هوا در تراز ۵۰۰میلی بار میباشد که از تراز ۸۵۰میلی بار صعود نموده است. مقادیر منفی این شاخص نشان میدهد بخش های بالایی لایه مرزی تا تروپسفر میانی ناپایدار است .در چنین شرایطی همرفت رخ میدهد.با منفی تر شدن SI ناپایداری تروپوسفر بیشتر می شود و شتاب شناوری بسته هوارا از بخش های بالایی لایه مرزی صعود میدهد. شاخص SI مشابه شاخص LI می باشد اما صعود از تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال انجام می شود. این شاخص زمانی کاربردی است که استفاده از تراز ۸۵۰هکتوپاسکال معرف بهتری برای ناپایداری جو نسبت به LI در سطح زمین است.(در هوای سرد سطح زمین).

- شاخص K(KI)

از این شاخص برای شناسایی و پیش بینی توفان هایی استفاده می شود که منشاء وقوع آنها توده هوا می باشد .همچنین می توان از آن برای توفان هایی که سازو کارهای دینامیکی ندارند نیز استفاده کرد .

KI معرف احتمال وقوع توفان به صورت تابعی بر حسب آهنگ کاهش قائم دما بین تراز های ۸۵۰و۵۰۰ هکتوپاسکال (T_{850}-T_{500}) ، محتوی رطوبت بر حسب دمای نقطه شبنم در تراز ۸۵۰ هکتو پاسکال (T_{d850}) و عمق لایه مرطوب در تراز ۷۰۰هکتوپاسکال (T_{700}-T_{d700}) می باشد که در رابطه نشان داده شده است. مقادیر کوچک جمله سوم این شاخص نشان از همرفت عمیق در تراز ۷۰۰هکتوپاسکال است. چنان چه رطوبت قابل ملاحظه ای در تراز ۷۰۰هکتوپاسکال وجود نداشته باشد و محیط در این تراز خشک باشد،بسته هوا از تراز های زیرین به سمت بالا با شدت بیشتری حرکت نماید(بلو اشتاین،۱۹۹۳). مقادیر عددی بزرگ این شاخص بر فعالیت شدید توده هوا دلالت دارد که شدیدا به رطوبت در تراز ۸۵۰هکتو پاسکال وابسته است. رابطه (۵).

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.9.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.139]

رابطه (۵): $\mathbf{KI= (T_{۸۰۰}-T_{۵۰۰}) +T_{d۸۵۰}- (T_{۷۰۰}-T_{d۷۰۰})}$

- **شاخص مجموع مجموع ها (TTI)**

شاخصی است که از دیگر شاخص ها، به علت ترکیب ۲شاخص مجموع دیگر ، قابل اعتمادتر می باشد.این شاخص به رطوبت تراز ۸۵۰هکتوپاسکال بسیار وابسته است.چنان چه ناپایداری در اثر هوای سرد سطوح بالای جو باشد و در سطح زیرین جو رطوبت کافی موجود باشد، شاخص مجموع مجموع ها بیشتر از دیگر شاخص ها قابل اعتماد است .این شاخص به صورت رابطه(۶) است.

رابطه (۶): $\mathbf{TT=VT+CT}$

در این رابطهVT مجموع قائم و CT مجموع تقاطع ها می باشد.مجموع تقاطع ها معرف چگونگی شناوری بسته هوا در تراز های زیرین جو می باشد.مجموع قائم ها و مجموع تقاطع ها به صورت رابطه (۷) است.

رابطه (۷): $\mathbf{VT=T_{۸۵۰}-T_{۵۰۰}, CT=T_{d۸۵۰}-T_{۵۰۰}}$

در رابطه(۷) $T_{۸۵۰}$ دمای هوا در تراز ۸۵۰، $T_{۵۰۰}$ دمای هوا در تراز ۵۰۰هکتوپاسکال می باشد.$T_{d۸۵۰}$ نیز معرف دمای نطقه شبنم در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال است .

- **شاخص (KO)**

ناپایداری پتانسیلی به دین معناست که تنها در حرکت های فراسو ، بی ثباتی جو و به دنبال آن همرفت رخ میدهد.از جمله شاخص هایی که میتوان ناپایداری جو را به کمک میدانهای پیش بینی عددی وضع هوا نشان دهد ، شاخصKO می باشد.درمحاسبه این شاخص دمای پتانسیل هم ارز در تراز های ۱۰۰۰،۸۵۰،۷۰۰،۵۰۰ هکتوپاسکال پیش بینی شدت همرفت استفاده می شود.شاخص KO به صورت رابطه (۸) است.

رابطه (۸):

$$\mathbf{KO} = \frac{(\boldsymbol{\theta_{\alpha 500}} + \boldsymbol{\theta_{\alpha 700}}) - (\boldsymbol{\theta_{\alpha 850}} + \boldsymbol{\theta_{\alpha 1000}})}{\mathbf{2}}$$

که(θ_α)معرف دما بعد از میعان تمامی مقادیر بخار آب می‌باشد بدون این که تغییر در فشار یک تراز مشخص ایجاد شود. به این ترتیب بسته هوا تمامی انرژی ایجاد شده توسط میعان را دریافت می‌کند وتا تراز ۱۰۰۰هکتوپاسکال حرکت می کند . در هوای پایدار مقادیر عددی (θ_α)با ارتفاع افزایش یابد . رابطه (۸) نشان می دهد که مقادیر منفی این پارامتر با کاهش(θ_α) بین ارتفاعات میانی و زیرین جو مرتبط می باشد.

شرح و تفسیر نتایج

- **شاخص های ترمودینامیک**

جدول (۳) مقادیر شاخص‌های ترمودینامیک جو را همزمان با رخداد وارونگی‌های دمایی در شهر بندر عباس طی سال-های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ را نشان می دهد. با توجه به آمار داده های ثبت شده در رادیوسوند میانگین ضریب شاخص SI همزمان با رخداد وارونگی در شهر بندر عباس طی این دوره ۱۸/۳ بوده است. کمترین مقدار ضریب نیز شاخص KO با

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.9.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.139]

ضریب ۸/۴- داشته است. بیشترین ضریب را نیز شاخص TC با ضریب ۳۹/۶ درصد به خود اختصاص داده است. ضرایب سایر شاخص ها در جدول (۲) قابل مشاهده می باشند.

جدول (۳). مقادیر سالانه شاخص‌های ترمودینامیک جو همزمان با رخداد وارونگی دمایی در شهربندر عباس

سال	SI	KO	LI	TT	KI	TC
۲۰۱۰	۱۷.۳	-۸	۳.۱	۳۸.۵	۷.۴	۳۸.۷
۲۰۱۱	۱۵.۲	-۷.۱	۲.۷	۳۶.۸	۶.۵	۴۱.۷
۲۰۱۲	۲۵.۹	-۷.۳	۲	۳۸.۶	۱۱.۹	۳۹
۲۰۱۳	۲۰.۷	-۱۰	۰.۷	۴۱	۱۱.۵	۴۰.۸
۲۰۱۴	۱۷.۴	-۹.۱	۱.۱	۳۹.۷	۸.۵	۴۰.۴
۲۰۱۵	۱۱.۴	-۴.۶	۴.۵	۳۸.۶	۴.۵	۴۱.۷
۲۰۱۶	۱۴.۴	-۹.۷	۱	۳۹.۱	۶.۲	۳۸.۸
۲۰۱۷	۱۳.۷	-۹.۱	۱.۹	۳۶.۳	۵.۶	۴۰.۲
۲۰۱۸	۱۸	-۸.۶	۱	۳۷.۸	۸.۴	۳۹.۳
۲۰۱۹	۲۱.۱	-۸.۷	۱	۳۹.۷	۱۰.۸	۳۸.۴
۲۰۲۰	۲۲.۷	-۹.۳	۰.۷	۴۰.۴	۱۲.۹	۳۷.۸
میانگین	۱۸.۳	-۸.۴	۱.۷	۳۸.۹	۸.۸	۳۹.۶

جدول (۴) میانگین ماهانه مقادیر شاخص‌های ترمودینامیک جو را همزمان با رخداد وارونگی‌های دمایی در شهر بندرعباس طی سال های ۲۰۱۰-۲۰۲۰ را نشان می دهد. با توجه به آمار داده های ثبت شده در رادیوسوند میانگین ضریب شاخص SI همزمان با رخداد وارونگی در شهر بندر عباس طی این دوره در ماه جولای ۲۷/۶ درصد که بیشترین مقدار این ضریب در بین سال های مورد مطالعه بوده است. کمترین مقدار ضریب نیز شاخص KO با ضریب ۲۲/۹- در ماه جولای دیده شده است. بیشترین ضریب را نیز شاخص TC با ضریب ۴۸/۷ درصد مربوط به ماه جولای می باشد.. ضرایب سایر شاخص ها در جدول (۴) قابل مشاهده می باشند.

جدول (۴). مقادیر ماهانه شاخص‌های ترمودینامیک جو همزمان با رخداد وارونگی دمایی در شهر بندر عباس

ماه	SI	KO	LI	TT	KI	TC
Jan	۸	۲.۷	۱۱.۲	۳۴.۹	-۴.۱	۳۳.۲
feb	۱۹	-۰.۷	۶	۳۷.۳	۶.۸	۳۲.۹
Mar	۱۴.۲	-۴.۲	۳.۶	۳۷.۱	۳.۲	۳۷.۳
Apr	۲۴.۱	-۷.۶	-۰.۹	۴۲.۱	۱۲.۹	۴۰
May	۲۳	-۱۱.۹	-۳.۲	۴۱.۵	۱۴.۴	۴۴.۴
Jun	۱۶.۹	-۱۵.۶	-۴.۶	۴۰.۴	۱۱.۸	۴۸.۶
Jul	۲۷.۶	-۲۲.۹	-۸.۸	۴۳	۲۱.۱	۴۸.۷
Aug	۲۵.۵	-۲۲.۷	-۶.۶	۴۳.۴	۲۱.۸	۴۵.۹
Sep	۱۹.۴	-۱۹	-۴.۸	۳۸.۱	۱۵.۳	۴۴.۷
Oct	۲۳.۸	-۱۵.۸	-۲.۲	۴۰.۲	۱۴.۵	۴۰.۸
Nov	۱۶.۵	-۸.۴	۳.۵	۳۸.۷	۶.۹	۳۶.۹
Dec	۱۰.۱	۲.۶	۱۱.۹	۳۴.۹	-۱.۹	۳۵.۹
میانگین	۱۸.۳	-۸.۴	۱.۷	۳۸.۹	۸.۸	۳۹.۶

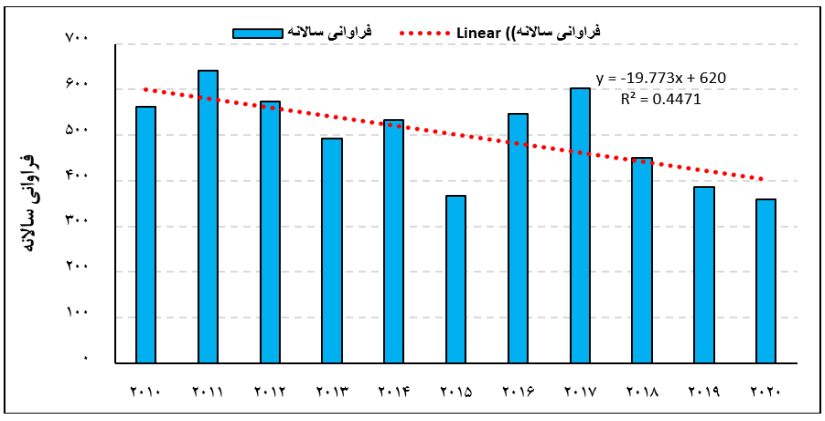
[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.9.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.139]

جدول (۵) میانگین فصلی مقادیر شاخص‌های ترمودینامیک جو را همزمان با رخداد وارونگی‌های دمایی در شهر بندر عباس طی سال های ۲۰۱۰-۲۰۲۰ را نشان می دهد. با توجه به آمار داده های ثبت شده در رادیوسوند میانگین ضریب شاخص SI همزمان با رخداد وارونگی در شهر بندر عباس در فصل تابستان ۲۲/۳ درصد که بیشترین مقدار این ضریب در بین فصول مورد مطالعه بوده است. کمترین مقدار ضریب نیز شاخص KO با ضریب ۲۱/۳- در فصل تابستان دیده شده است. بیشترین ضریب را نیز شاخص TC با ضریب ۴۶/۴ درصد مربوط به فصل تابستان می باشد.ضرایب سایر شاخص ها در جدول (۵) قابل مشاهده می باشند.

جدول (۵). مقادیر فصلی شاخص‌های ترمودینامیک جو همزمان با رخداد وارونگی دمایی در شهربندر عباس

فصل	SI	KO	LI	TT	KI	TC
بهار	۲۲.۳	-۱۰.۸	-۲.۶	۴۱.۵	۱۳.۳	۴۳.۴
تابستان	۲۳.۹	-۲۱.۳	-۶.۷	۴۱.۲	۱۹	۴۶.۴
پاییز	۱۶.۹	-۷.۳	۴.۳	۳۷.۹	۶.۶	۳۷.۹
زمستان	۱۳	-۰.۲	۷.۵	۳۶.۲	۱.۳	۳۴.۲
میانگین	۱۸.۳	-۸.۴	۱.۷	۳۸.۹	۸.۸	۳۹.۶

شکل(۳) فراوانی سالانه وارونگی های ایستگاه بندرعباس را طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ نشان می دهد. در طی این دوره ۱۱ ساله در شهر بندرعباس ۵۵۱۵ مورد انواع وارونگی در ارتفاعات مختلف به وقوع پیوسته است. با توجه به این جدول، می‌توان گفت که میانگین وقوع پدیده وارونگی دمایی سالانه در ایستگاه بندرعباس حدود ۵۰۱ مورد در سال می‌باشد چرا که ممکن است در روز در ارتفاع مختلف چند نوع وارونگی رخ داده باشد. همچنین به طور کلی در هر ماه ۴۲ مورد و هر روز حدود ۱/۴ مورد وقوع وارونگی را تا ارتفاع ۵ کیلومتری تجربه کرده است. در طی این دوره بیشترین فراوانی وارونگی مربوط به سال ۲۰۱۱ با ۶۴۱ مورد، و سال ۲۰۲۰ با ۳۵۹ وارونگی در سال کمترین فراوانی سالانه را دارا می‌باشند. همچنین خط روند وقوع وارونگی‌های بندر عباس با ضریب ۴۴ درصد نشان از سیر نزولی و اما یکنواخت طی چند سال گذشته نسبت به دوره پایه می باشد. شکل(۳).



شکل(۳). فراوانی سالانه وارونگی های دمایی ایستگاه بندرعباس طی سالهای ۲۰۱۰ – ۲۰۲۰

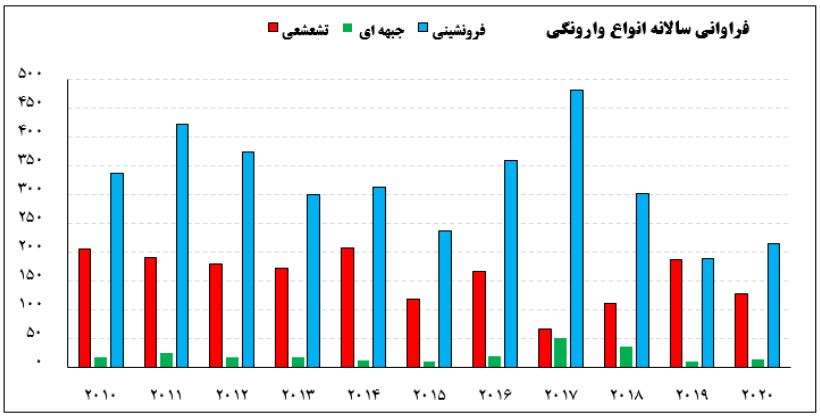
[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.9.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.139]

شکل(۴) فراوانی سالانه انواع وارونگی بین سال های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ را نشان می‌دهد. با بررسی‌هایی که بر روی این داده‌ها صورت گرفت، مشخص شد که میانگین تعداد رخداد توأم با پدیده وارونگی دما در بندرعباس برابر ۵۰۱ مورد در سال می‌باشد که حدود ۳۱/۶ درصد آن مربوط به وارونگی دمای تشعشعی، جبهه‌ای ای۴/۳ درصد، و ۶۴/۱ درصد دیگر مربوط به وارونگی دمای از نوع فرونشینی می‌باشد. به دلیل نشست هوا در زیر پرفشار جنب‌حاره، سهم وارونگی‌های فرونشست بیشتر از انواع دیگر وارونگی می‌باشد. پدیده شرجی بخصوص در فصول گرم نیز وقوع این پدیده را در شهر بندرعباس تشدید می کند. چرا که در دورهٔ گرم سال در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال استیلای کامل پرفشار دینامیکی جنب حاره، گسترش و تقویت نصف‌النهاری آن موجب تقویت و تداوم پایداری بر فراز جو منطقه می شود(خسروی و همکاران، ۱۳۹۳).

همچنین همان‌طوری که در شکل(۴) مشاهده می‌شود سال ۲۰۱۷ بیشترین وارونگی از نوع فرونشینی و جبهه ای و سال ۲۰۱۴ بیشترین وارونگی از نوع تشعشی رخ داده است. سال ۲۰۱۹ کمترین وارونگی فرونشینی، سال ۲۰۱۷ کمترین وارونگی تشعشی و سال ۲۰۱۹ و ۲۰۱۵ کمترین درصد فراوانی وارونگی جبهه‌ای را دارا می‌باشد.

جدول(۶). فراوانی و درصد فراوانی سالانه انواع وارونگی دمایی در شهر بندرعباس

نوع وارونگی	مجموع	درصد فراوانی
تشعشعی	۱۷۴۳	۳۱.۶
جبهه ای	۲۳۷	۴.۳
فرونشینی	۳۵۳۵	۶۴.۱
مجموع	۵۵۱۵	۱۰۰

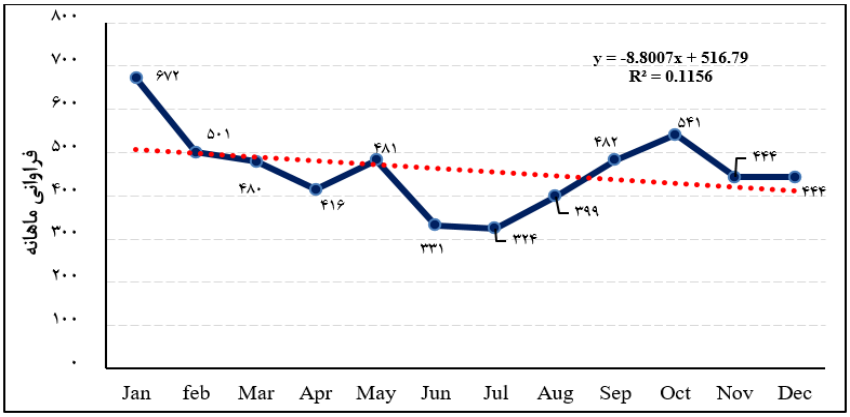


شکل(۴). فراوانی سالانه انواع وارونگی دما در شهر بندرعباس طی سالهای ۲۰۱۰ – ۲۰۲۰

شکل(۵) فراوانی ماهانه وارونگی ها را نشان می‌دهد. با توجه به شکل بیشترین درصد فراوانی روزهای دارای وارونگی ماهانه طی سال‌های مورد مطالعه مربوط به ماه ژانویه ۶۷۲ وارونگی و کمترین درصد فراوانی روزهای دارای وارونگی ماهانه در طی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ مربوط به ماه جولای با ۳۲۴ وارونگی می‌باشد. همانطور که در شکل(۵) مشاهده می کنید فراوانی ماهانه روزهای همراه با وارونگی در نیمه سرد سال بیشتر از ماهای گرم می باشند؛ بنابراین می‌توان گفت که اکثر وارونگی‌های ایستگاه بندرعباس از نوع فرونشست بوده است. دلیل آلودگی هوای شهر بندرعباس علاوه بر سوخت فسیلی ناشی از وسایل نقلیه، می تواند به علل سوختن گازهای حاصل از از فعالیت سکوها و میدا های

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.9.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.139]

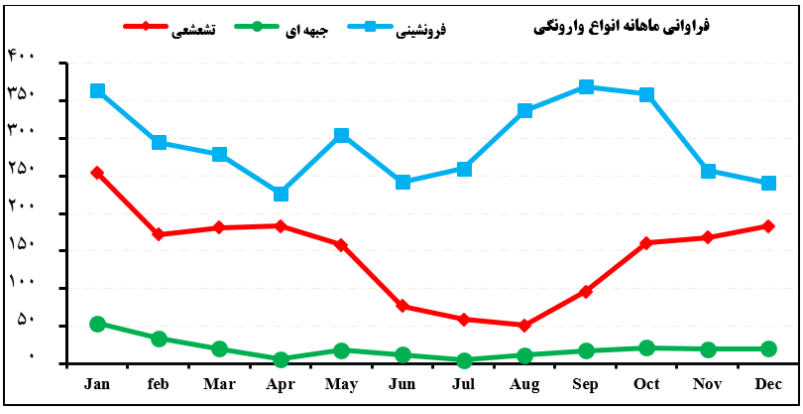
نفتی نزدیک شهر نسبت داد. اما در فصول گرم سال به علت فعالیت پرفشار جنب حاره در این منطقه، لایه‌ای از هوای گرم به سطح زمین نشست کرده و اجازه صعود هوا را نمی‌دهد در نتیجه وارونگی های دمایی در این شهر تشدید می-شود.



شکل(۵). فراوانی ماهانه وارونگی های دمایی در شهر بندرعباس طی سالهای ۲۰۱۰ – ۲۰۲۰

شکل(۶) فراوانی ماهانه انواع وارونگی‌ها را در طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ نشان می دهد. با توجه به شکل(۶) وارونگی فرونشینی با ۳۱۹۶ مورد بیشترین فراوانی و وارونگی جبهه ای با ۴۶۴ مورد کمترین نوع وارونگی را در ایستگاه بندرعباس به خود اختصاص داده است. وارونگی تشعشعی نیز با ۱۴۷۷ مورد طی دوره مورد مطالعه در این ایستگاه به وقوع پیوسته است.

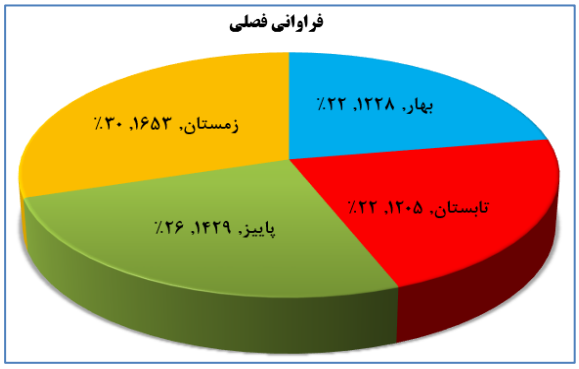
بیشترین فراوانی آن در ماه ژانویه با ۳۸۲ مورد و کمترین فراوانی وارونگی فرونشینی را ماه اکتبر با ۲۰۵ وارونگی به خود اختصاص داده اند. وارونگی نوع تشعشعی در مرتبه دوم بیشترین فراوانی را دارد. برای این نوع از وارونگی؛ ماه های سرد ژانویه، مارس و آوریل هر کدام با فراوانی ۱۴۶ مورد دارای بیشترین و ماه جولای با ۸۹ مورد وارونگی دارای کمترین فراوانی می باشد. بیشترین فراوانی از نوع جبهه ای مربوط به ماه ژانویه با ۷۳ مورد و ماه سپتامبر با ۱۸ مورد کمترین فراوانی را به خود اختصاص داده است. با توجه به شکل(۶)، در تمامی ماهها حداکثر فراوانی با وارونگی نوع فرونشست می باشد.



شکل(۶). فراوانی ماهانه انواع وارونگی های دمایی در شهر بندرعباس طی سالهای ۲۰۱۰ – ۲۰۲۰

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.9.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.139]

شکل (۷) مجموع فراوانی فصلی وارونگی های شهر بندرعباس را نشان می‌دهد. با توجه به داده ها، پدیده وارونگی دما در تمام فصول در شهر بندرعباس طی سال های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ قابل مشاهده است. در فصل زمستان تعداد روزهایی که پدیده وارونگی دما رخ می‌دهد۳۰ درصد از کل وارونگی ها را به خود اختصاص داده است که علت آن می تواند وجود هوای سرد و سنگین در لایه های بالاتر و هوای گرم در اثر صنایع مختلف در سطوح نزدیک به سطح شهر باشد که اجازه صعود این هوای گرم به لایه های بالاتر داده نمی شود. فصل تابستان تعداد وارونگی نسبت به فصول دیگر کم تر و به ۲۱/۸ درصد می رسد. به علت وجود پرفشار جنب حاره در فصل پاییز تعداد روزهای وارونگی دما، به دلیل ادامه وجود هوای سرد سنگین در جو وارونگی ها در این فصل نسبت به بهار بیشتر است.

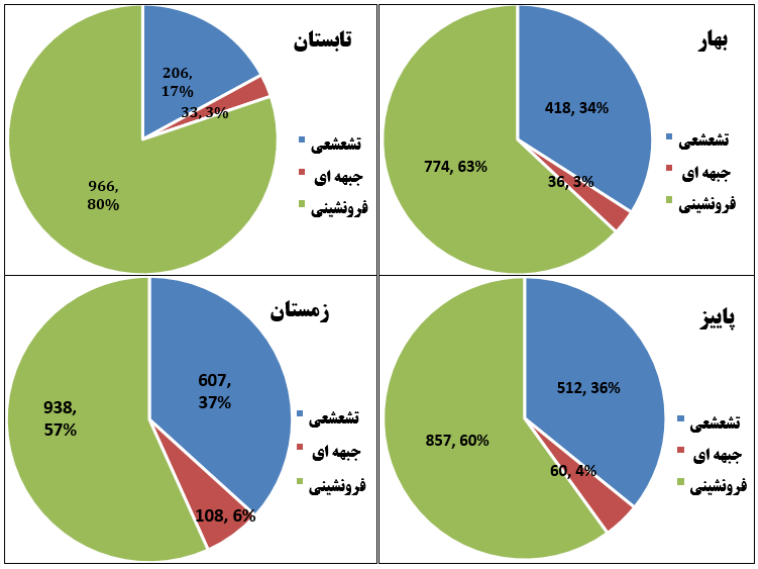


شکل (۷). مجموع فراوانی فصلی وارونگی های دمایی شهر بندرعباس طی سالهای ۲۰۱۰ – ۲۰۲۰

باتوجه به شکل(۸ الف) در فصل بهار سهم وارونگی های از نوع فرونشینی همانند سایر فصول با ۶۳ درصد کل وارونگی ها در این فصل بیشتر است و وارونگی جبهه ای نیز با ۳ درصد کمترین سهم را بخود اختصاص داه است. با توجه به شکل (۸ب) طی فصل تابستان همانند فصل بهار سهم وارونگی فرونشست با ۸۰ درصد بیشتر از سایر وارونگی هاست. در این فصل سهم وارونگی فرونشت بیشتر از فصل بهار شده است و وارونگی جبهه ای بدلیل گرمای هوا و یکنواخت شدن جو کاهش محسوس پیدا کرده است. با توجه به شکل(۸ ج) طی فصل پاییز از نظر فراوانی و درصد همانند فصل بهار فرونشینی در رتبه نخست است و جبهه ای کمترین درصد را دارا می باشد. با توجه به شکل (۸ د) طی فصل زمستان به دلیل عبور سامانه ای مختلف سهم وارونگی جبهه های از سایر فصول بیشتر بوده است و به ۶ درصد رسیده است که نسبت به سایر فصول بیشتر به وقوع پیوسته است. در این فصل همانند فصول دیگر سهم وارونگی های فرونشینی با ۵۷ درصد بیشتر است و تشعشعی نیر با ۳۷ درصد در رتبه دوم قرار دارد.

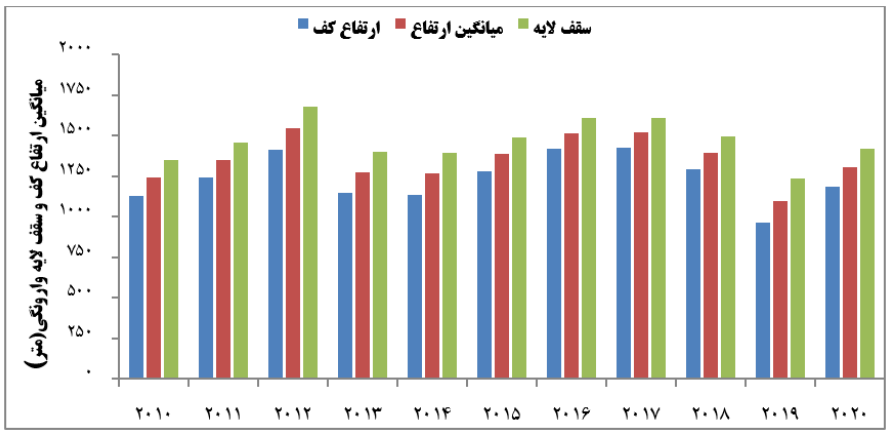
بطور کلی می توان گفت که در شهر بندرعباس سهم وارونگی‌های نوع فرونشست بدلیل نزول هوا زیر پرفشار جنب حاره در فصل تابستان بیشتر از فصول دیگر است، کمترین وارونگی فرونشست نیز هم در فصل زمستان (۵۷ درصد) مورد مشاهده شده است. در دوره مورد مطالعه فصل زمستان دارای بیشترین سهم وارونگی جبهه ای است و کمترین این نوع از وارونگی در فصل بهار و تابستان مشاهده شده است. بیشترین فراوانی وارونگی تشعشعی در فصل زمستان با ۶۰۷ مورد و کمترین آن با ۱۷ درصد و ۲۰۶ مورد در فصل تابستان بوقوع پیوسته است.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.9.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.139]



شکل (۸). مجموع و درصد فراوانی فصلی انواع وارونگی دمایی در شهر بندرعباس طی سالهای ۲۰۱۰ – ۲۰۲۰

شکل(۹) میانگین ارتفاع سالانه وارونگی ها را طی سال های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ نشان می‌دهد. با توجه به شکل در سال ۲۰۱۲ وارونگی‌ها در بلندمدت با میانگین ارتفاع ۱۵۴۵ متر در بالاترین ارتفاع قرار دارند و سال ۲۰۱۹ وارونگی ها در میانگین ارتفاع ۱۰۹۸ متر کمترین ارتفاع از سطح زمین شکل گرفته‌اند. با توجه به شکل(۹) از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۲ ارتفاع شکل‌گیری وارونگی‌ها روند افزایشی داشته است ولی از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ ارتفاع وارونگی روند کاهشی داشته و وارونگی‌ها در ارتفاع پایین تری به وقوع پیوسته اند و دوباره از سال ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ ارتفاع شکل‌گیری وارونگی‌ها روندی افزایش پیدا کرده است، و سپس از سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۰ روند کاهشی داشته است. بطور کلی روند ارتفاع نشان می‌دهد که وارونگی‌ها در ایستگاه بندرعباس با اندکی افزارش در سقف لایه مواجه شده اند. علت این امر می تواند ناشی از تغییر اقلیم و تقویت پرفشار جنب حاره و نوسانات مونسون در فصل گرم باشد.

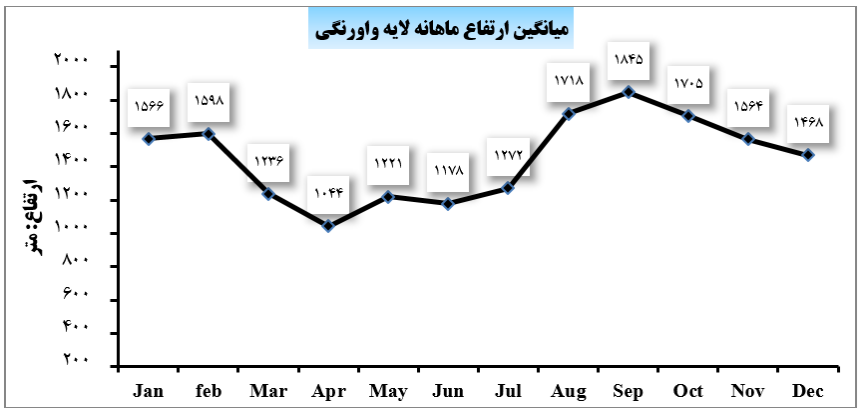


شکل(۹) میانگین ارتفاع سالانه وارونگی های شهر بندر عباس طی سالهای ۲۰۱۰ – ۲۰۲۰

شکل(۱۰) میانگین ارتفاع ماهانه وارونگی های شهر بندر عباس را در سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ را نشان می‌دهد. حداکثر میانگین ماهانه ارتفاع شکل‌گیری وارونگی در بین سال های مورد مطالعه مربوط به ماه سپتامبر با ارتفاع

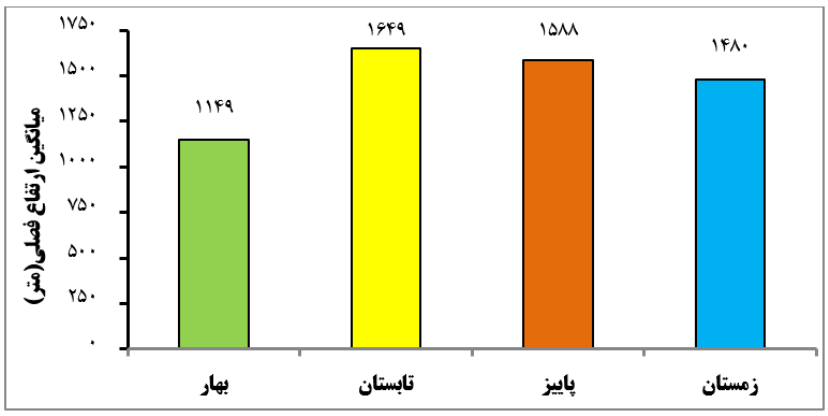
[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.9.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.139]

۱۸۴۵ متر می‌باشد و حداقل میانگین ارتفاع ماهانه شکل‌گیری وارونگی‌های بندرعباس به ماه آوریل با ارتفاع ۱۰۴۴ متر اختصاص دارد. ارتفاع شکل‌گیری وارونگی در سایر ماه‌ها تقریبا اختلاف بسیار ناچیزی دارد و سطح شکل‌گیری لایه وارونگی در کلیه‌ی ماه ها بسیار نزدیک به هم می‌باشد که ناشی از اخذ وارونگی های تا ارتفاع ۵ کیلومتری از سطح زمین می‌باشد. همانطور که خط روند ارتفاع ماهانه نشان می‌دهد، میانگین ارتفاع تشکیل لایه وارونگی‌های بندرعباس از فصل زمستان به بهار روند کاهشی و از بهار به تابستان روند افزایشی و از تابستان به پاییز در حال کاهش می‌باشد. طبق داده ها حداکثر ارتفاع در اوایل پاییز به اوج می رسد.



شکل(۱۰). میانگین ارتفاع ماهانه وارونگی های دمایی شهر بندرعباس طی سالهای ۲۰۱۰ – ۲۰۲۰

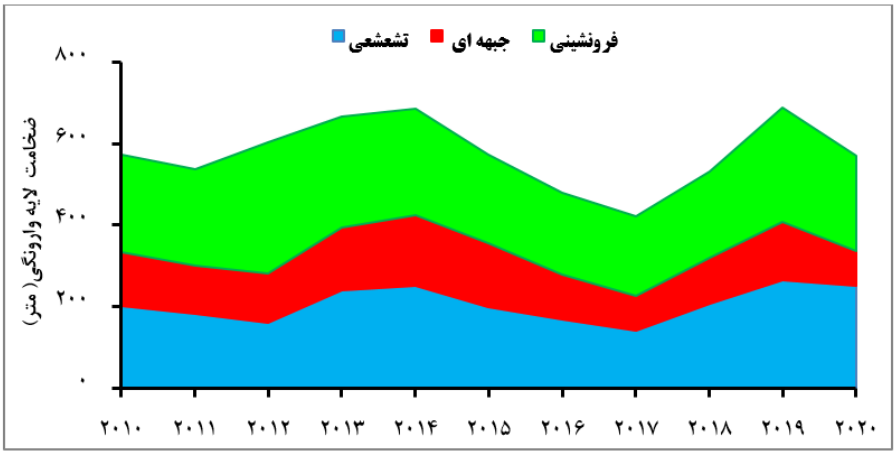
شکل(۱۱) میانگین ارتفاع فصلی شکل گیری لایه وارونگی را بین سال های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ نمایش می دهد. با توجه به شکل(۱۱) لایه وارونگی در فصل تابستان با ارتفاع ۱۶۴۹ متر در ارتفاع بیشتری نسبت به سایر فصول شکل گرفته است. این امر نشان دهنده شکل گیری وارونگی ها با توجه به فرونشست هوا در لایه های بالاتر جو دارد. حداقل ارتفاع شکل گیری لایه وارونگی نیز در فصل بهار با میانگین ارتفاع ۱۱۴۹ متر به وقوع پیوسته اند که نشان دهنده وقوع بیشتر وارونگی از نوع تشعشعی در این فصل دارد. در فصل زمستان نیز لایه وارونگی در ارتفاع ۱۴۸۰ متری از سطح زمین شکل گرفته است. میانگین ارتفاع شکل‌گیری لایه وارونگی در فصل پاییز در طول سال های مورد مطالعه نیز ۱۵۸۸ متر بوده است. که بعد از فصل تابستان در رتبه دوم قرار دارد.



شکل(۱۱). میانگین ارتفاع فصلی شکل گیری لایه وارونگی دمایی شهربندرعباس طی سالهای ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.9.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.139]

شکل(۱۲) ضخامت لایه های انواع وارونگی را نشان می دهد. با توجه به آمار بلند مدت(۲۰۱۰-۲۰۲۰) بطور کلی ضخامت لایه های وارونگی (ضخامت لایه یعنی اختلاف ارتفاع کف وارونگی از سقف وارونگی) شهر بندرعباس ۱۹۲ متر می باشد. در این میان ضخیم ترین لایه های وارونگی در سال ۲۰۱۹ با ۲۲۹/۵ متر می باشد و کمترین میزان ضخامت لایه وارونگی در شهر بندرعباس در سال۲۰۱۷ با ۱۴۰ متر طی دوره مورد مطالعه به ثبت رسیده است. مقدار ضخامت لایه های وارونگی از نوع فرونشست با ۲۴۳ متر و جبهه ای با ۱۲۷ متر ضخیم ترین و نازک ترین لایه های وارونگی را تشکیل داده اند. لایه وارونگی تشعشعی نیز در این مدت با میانگین ۲۰۶ متر تشکیل شده است.

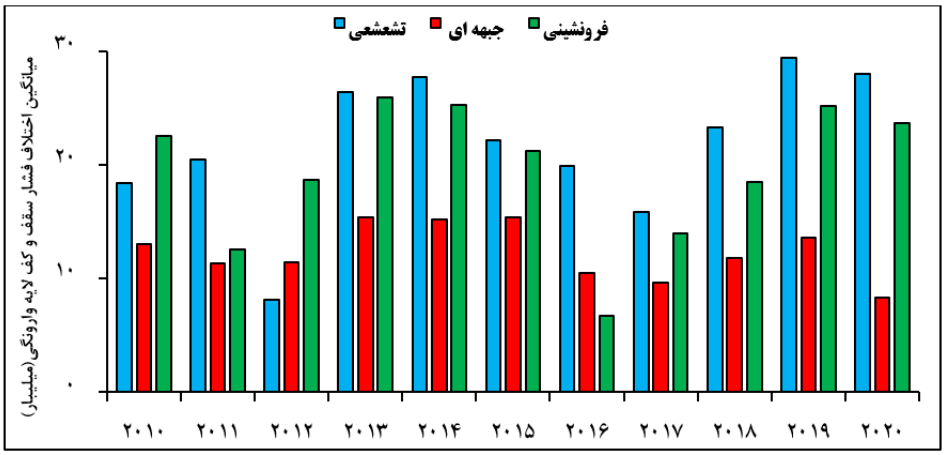


شکل(۱۲) ضخامت لایه های انواع وارونگی دمایی شهربندرعباس طی سالهای ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰

شکل(۱۳) مقدار فشار لایه های وارونگی (اختلاف فشار بین کف و سقف هر لایه وارونگی) را نشان می دهد. بر اساس داده های فشار، فشار لایه های وارونگی در شهر بندرعباس در بلند مدت ۱۸ میلیبار می باشد. بیشترین فشار لایه وارونگی های دوره مورد مطالعه با ۲۳ میلی بار در سال ۲۰۱۹ و ۲۰۱۴ و کمترین فشار لایه وارونگی ها با ۱۲ میلی بار در سال ۲۰۱۶ به ثبت رسیده است.

از نظر میانگین فشار در انواع وارونگی ها می توان گفت که بیشترین فشار با ۲۲ میلی بار در نوع تشعشعی ثبت شده است. کمترین فشار نیز در نوع جبهه ای با ۱۲ میلی بار در بلند مدت تشکیل شده است. همچنین نتایج میانگین فشارلایه وارونگی نشان داد که بیشترین میانگین فشار ثبت شده طی دوره مطالعه(۲۰۱۰-۲۰۲۰) در نوع تشعشعی با ۲۹ میلی بار در سال ۲۰۱۹ و کمترین فشار طی همین دوره نیز با ۸ میلی بار در سال ۲۰۱۲ به ثبت رسیده است. اما طی همین دوره میانگین فشار در نوع جبهه ای با ۱۵/۵ میلی بار در سال ۲۰۱۵ و کمترین میانگین فشار نیز با ۸ میلی بار در سال ۲۰۲۰ ثبت شده است. همچنین بیشترین میانگین فشار در لایه های وارونگی از نوع فرونشست در شهر بندرعباس به مقدار ۲۶ میلیبار در سال ۲۰۱۳ و کمترین آن نیز در سال ۲۰۱۶ با ۷ میلی‌بار رخ داده است.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.9.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.139]



شکل(۱۳) فشار لایه های وارونگی دمایی شهربندرعباس طی سالهای ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰

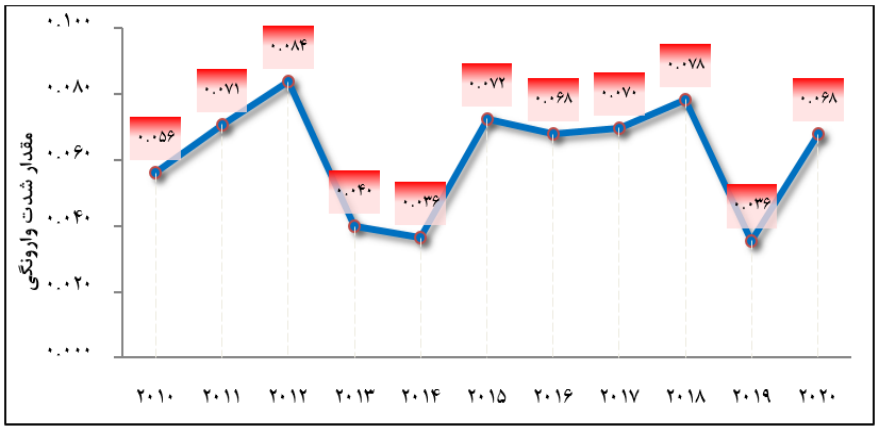
جدول (۷) فراوانی رتبه شدت انواع وارونگی را نشان می دهد. براساس جدول(۷) از مجموع کل وارونگی های شکل گرفته در طول دوره مورد مطالعه در ایستگاه بندرعباس، ۲۶۱۲ مورد (۴۷/۴ درصد) و میانگین ضریب ۰/۰۸۳ از وارونگی ها بسیار شدید بوده اند و کمترین میزان نیز با ۷۶۲ مورد (۱۳/۸ درصد) میانگین ضریب ۰/۰۲۲ به صورت شدید رخ داده اند. در این میان شدیدترین وارونگی ها از نوع فرونشست با ۱۳۵۴ مورد و ضعیف ترین وارونگی ها نیز با ۲۹ مورد و از نوع جبهه ای بوده است.

جدول(۷). فراوانی رتبه شدت انواع وارونگی دمایی شهر بندرعباس

نوع وارونگی	بسیار شدید	شدید	ضعیف	متوسط	مجموع فراوانی	ضریب شدت
تشعشعی	۱۲۰۹	۱۸۴	۱۶۵	۱۸۵	۱۷۴۳	۰.۰۷۹
جبهه ای	۴۹	۲۹	۹۶	۶۳	۲۳۷	۰.۰۲۲
فرونشینی	۱۳۵۴	۵۴۹	۷۳۳	۸۹۹	۳۵۳۵	۰.۰۸۳
مجموع فراوانی	۲۶۱۲	۷۶۲	۹۹۴	۱۱۴۷	۵۵۱۵	-
میانگین /درصد فراوانی	۴۷.۴	۱۳.۸	۱۸	۲۰.۸	۱۰۰	۰.۰۶۲

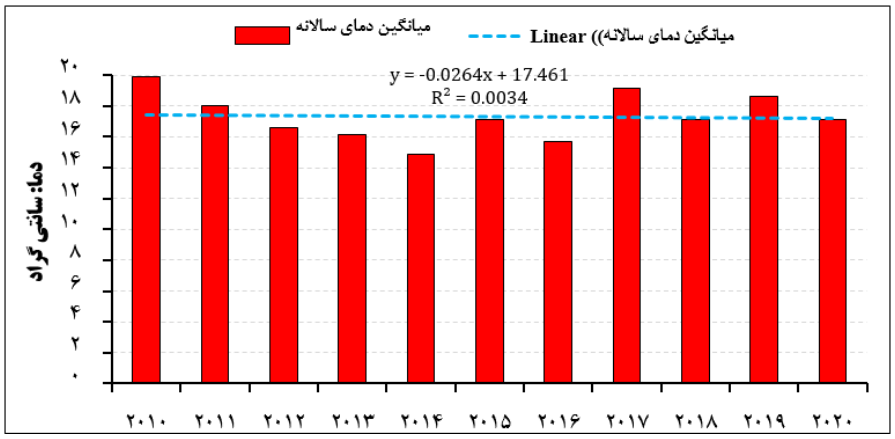
شکل(۱۴) مقادیر ضرایب شدت وارونگی را نشان می‌دهد. با توجه به داده ها شدیدترین وارونگی ها طی سال ۲۰۱۲ با میانگین ضریب ۰/۰۸۴ و ضعیفترین وارونگی ها در سال ۲۰۱۴ با میانگین ۰/۰۳۶ رخ داده اند. ولی بطور کلی میانگین بلندمدت ضریب شدت وارونگی های ایستگاه بندرعباس با ۰/۰۶۲ نشان می‌دهد که وارونگی های این شهر اکثرا از نوع بسیار شدید هستند که این رخداد می تواند آثار بسیار مخربی هم از نظر محیط زیستی و هم سلامت جسمی ساکنین شهر بندرعباس در پی داشته باشد.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.9.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.139]



شکل(۱۴). مقادیر میانگین ضرایب شدت وارونگی دما در شهر بندرعباس طی سال‌های ۲۰۱۰ –۲۰۲۰

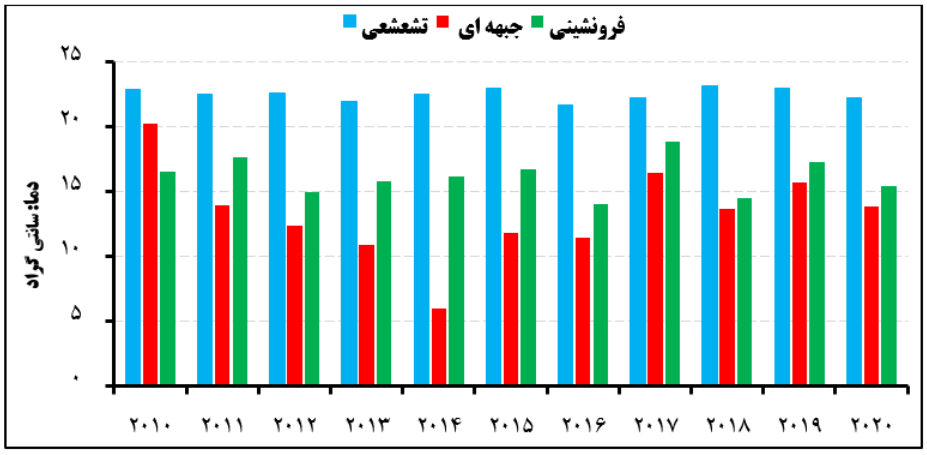
شکل(۱۵) مقدار دمای سالانه لایه های وارونگی (اختلاف دما بین کف و سقف هر لایه وارونگی) را نشان می دهد. بر اساس داده های دما، بیشترین دمای لایه های وارونگی در شهر بندرعباس در سال ۲۰۱۰ با ۱۹/۹ درجه سانتی گراد می باشد. کمترین دمای لایه وارونگی های دوره مورد مطالعه با ۱۴/۹ درجه سانتی گراد در سال ۲۰۱۴ به ثبت رسیده است.



شکل(۱۵) . دمای سالانه لایه های وارونگی دمایی در شهر بندرعباس طی سال‌های ۲۰۱۰ –۲۰۲۰

شکل(۱۶) مقدار دمای سالانه در لایه انواع وارونگی (اختلاف دما بین کف و سقف هر لایه وارونگی) را نشان می دهد. بر اساس داده های دمایی لایه های وارونگی شهر بندر عباس، بیشترین دمای وارونگی نوع فرونشینی را سال ۲۰۱۷ با دمای ۱۸/۸ درجه سانتی گراد دارا می باشد. و کمترین دمای لایه وارونگی نوع فرونشینی در سال ۲۰۱۶ با دمای ۱۴ درجه سانتی گراد به ثبت رسیده است. دما در لایه وارونگی نوع تشعشعی در سال ۲۰۱۸ با ۲۳/۲ درجه سانتی گراد بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است و کمترین میزان دما در این نوع وارونگی مربوط به سال ۲۰۱۶ با ۲۱/۷ درجه سانتی گراد می باشد. بیشترین دمای وارونگی نوع جبهه ای در بین سال های مورد مطالعه در سال ۲۰۱۰ با ۲۰/۲ درجه سانتی گراد و کمترین مقدار دمای لایه در این نوع وارونگی در سال ۲۰۱۴ با ۵/۹ درجه سانتی گراد به ثبت رسیده است.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.9.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.139]



شکل(۱۶) دمای سالانه انواع وارونگی دمایی در شهر بندرعباس طی سال‌های ۲۰۱۰ –۲۰۲۰

- **ارتباط شاخص های ترمودینامیکی لایه وارونگی دما**

جدول(۸) مقادیر همبستگی بین شاخص های لایه وارونگی دمایی در بندر عباس را نشان می‌دهد. با توجه به جدول(۸) بین شدت وارونگی با ارتفاع لایه وارونگی ارتباط مستقیم و معناداری در سطح اطمینان ۹۹ درصد با ضرایب ۰/۷۹ وجود دارد. بدین معنا که هر قدر ارتفاع لایه وارونگی بیشتر باشد، شدت وارونگی نیز بشتر می شود و بلعکس. اما بین شدت وارونگی و ضخامت رابطه معکوس معنا داری با ضریب ۰/۷۱- در سطح احتمال ۹۹ درصد برقرار است. این رابطه معکوس نشان می دهد که هر زمان ضخامت لایه وارونگی کمتر باشد، شدت وارونگی بیشتر خواهد بود و بلعکس با افزایش ضخامت لایه، از شدت وارونگی ها در بندر عباس کاسته می شود. همچنین بین شدت و فشار لایه وارونگی ارتباط مستقیم با ضریب ۰/۴۶ برقرار است هر چند معنا دار نیست ولی نمی توان از مقدار ارتباط نیز چشم پوشی نمود به طوری که با افزایش فشار ، بر شدت وارونگی ها افزوده خواهد شد.

همچنین نتایج همبستگی بین سایر شاخص نشان می‌دهد که بین ضخامت و ارتفاع لایه وارونگی ارتباط معکوس و معنادار است، بدین معنا که در ارتفاع بالاتر ، لایه وارونگی از ضخامت کمتری برخوردار بوده اند و در نتیجه شدت وارونگی نیز بیشتر بوده است و بلعکس؛ اما بین میانگین دمای لایه ها و فشار رابطه مستقیم و معناداری حاکم است که نشان می دهد هر زمان که دمای لایه وارونگی افزایش یابد ، فشار لایه نیز افزایش خواهد داشت؛ در نتیجه شدت لایه وارونگی نیز افزایش می یابد. بین ضخامت و فشار لایه وارونگی ها نیز رابطه معکوس و معنا دار با ضریب ۰/۵۹- وجود دارد، بدین ترتیب با افزایش ضخامت لایه، فشار کاسته می شود در نتیجه شدت وارونگی نیز کاهش خواهد یافت.

جدول (۸). همبستگی بین شاخص های دینامیکی لایه وارونگی دما

مولفه	ارتفاع لایه	دمای لایه	ضخامت لایه	فشار لایه	ضریب شدت
ارتفاع لایه	۱				
دمای لایه	-۰.۲۰۱	۱			
ضخامت لایه	-۰.۷۲۱**	-۰.۳۲۱	۱		
فشار لایه	۰.۱۵۳	۰.۶۰۶*	-۰.۵۹۲*	۱	
ضریب شدت	۰.۷۹۲**	۰.۱۰۶	-۰.۷۱۳**	۰.۴۶۲	۱

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.9.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.139]

نتیجه گیری

از جمله عوامل طبیعی مؤثر در آلودگی هـوا، میتوان به پدیده وارونگی دما به عنوان مهمترین عامل تأثیرگذار در محیط های شهری نام برد، بنابراین این تحقیق با هدف بررسی انواع وارونگی و شدت آن ها با استفاده از شاخص‌های ترمودینامیکی جو در ایستگاه بندرعباس برای دوره ۲۰۱۰ -۲۰۲۰ به رشته تحریر در آمده است.

به دلیل اهمیت این موضوع در شهر بندرعباس، وارونگی‌های دمای این شهر در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه مورد مطالعه قرار گرفت. با بررسی‌هایی که بر روی این داده‌ها صورت گرفت، مشخص شد که میانگین تعداد رخداد توأم با پدیده وارونگی دما در بندر عباس برابر ۵۰۱ مورد در سال می‌باشد که حدود ۳۱/۶ درصد آن مربوط به وارونگی دمای تشعشعی، جبهه‌ای ای۴/۳ درصد، و ۶۴/۱ درصد دیگر مربوط به وارونگی دمای از نوع فرونشینی می‌باشد. به دلیل نشست هوا در زیر پرفشار جنب‌حاره، سهم وارونگی‌های فرونشست بیشتر از انواع دیگر وارونگی می‌باشد. پدیده شرجی بخصوص در فصول گرم نیز در وقوع این پدیده در شهر بندرعباس بی تاثیر نمی باشد. در این میان شدیدترین وارونگی ها از نوع فرونشست با ۱۳۵۴ مورد و ضعیف ترین وارونگی ها نیز با ۲۹ مورد و از نوع جبهه ای بوده است.

با بررسی های صورت گرفته می توان گفت که سهم وارونگی‌های فرونشست در فصل تابستان با ۹۹۶ روز (۸۰ درصد) بیشتر از فصول دیگر است، کمترین درصد وارونگی فرونشست نیز هم در فصل زمستان(۵۷ درصد) مشاهده شده است. در دوره مورد مطالعه فصل زمستان دارای بیشترین سهم وارونگی چبهه ای است و کمترین این نوع از وارونگی در فصل تابستان مشاهده شده است. بیشترین فراوانی وارونگی تشعشعی در فصل زمستان با ۶۰۷ مورد و کمترین آن با با ۱۷ درصد در فصل تابستان بوقوع پیوسته است.

همچنین نتایج تحلیل ها نشان داد، بیشترین درصد فراوانی روزهای دارای وارونگی ماهانه در طی سال‌های مورد مطالعه مربوط به ماه ژانویه ۶۷۲ وارونگی و کمترین درصد فراوانی روزهای دارای وارونگی ماهانه در طی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ مربوط به ماه جولای با ۳۲۴ وارونگی می‌باشد. فراوانی ماهانه روزهای همراه با وارونگی در نیمه سرد سال بیشتر از ماهای گرم می باشند. بخصوص در فصول گرم سال که پرفشار جنب حاره در شهر بندرعباس اثر بیشتری دارد. در واقع کف فرونشست به سطح زمین در این منطقه نسبت به دیگر مناطق کشور نزدیکتر می باشد. بنابراین فرونشست در این ایستگاه فراوانی بیشتری داشته است، اما با توجه به بررسی حاصل از شاخص شدت وارونگی، شدیترین وارونگی از نوع تشعشعی بوده است. چرا که لایه وارونگی هم فشار بیشتری را دارا بوده است و هم دمای بیشتر و هم ضخامت کمتری را، این سه عامل خود ناشی از تقویت پرفشار جنب حاره است باعث شده است این نوع وارونگی نسبت به وارونگی های دیگر شدیتر رخ دهد؛ چرا که در این نوع وارونگی دمای سطح زمین بیشتر است. بنابراین سقف لایه وارونگی به سطح زمین نزدیکتر می باشد. اما وارونگی جبهه ای در این ایستگاه هم بطور محدود رخ داده است و هم از لحاظ شدت ضعیف تر از سایر وارونگی ها می باشد؛ زیرا این نوع وارنگی در برخی از ترازهای بالاتر رخ داده است که اختلاف چندانی بین دمای کف و سقف وارونگی وجود نداشته است.

نتایج ضریب شدت نشان داد که هر زمان ضخامت لایه کمتر دمای بیشتر و ارتفاع وقوع کمتر و فشار لایه بیشتر باشد و وارونگی در مجاورت سطح زمین رخ دهد ضریب شدت بیشتر می شود و بلعکس که نتایج مخربی برای سلامت انسان و محیط زیست به همراه خواهد داشت. ارتباط بین شدت وارونگی با پارامترهای دما، فشار و ارتفاع نشان داد که بین مقادیر شدت وارونگی با ضخامت و ارتفاع معکوس بوده است، بطوری که هر قدر ارتفاع و ضخامت لایه کمتر باشد

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.9.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.139]

وارونگی شدت بیشتری داشته است اما ارتباط بین ضریب شدت و دمای لایه مستقیم و معنی دار است بصورتی که هر چقدر که دمای لایه بالاتر بوده است وارونگی شدید تر رخ داده است و بلعکس. با مقایسه نتایج این تحقیق با تحقیق طاووسی و همکاران(۱۳۹۸) می توان گفت وارونگی ها روند افزایشی پیدا کرده اند،و بیشتر از نوع فرونشست بودند. در سطح بین المللی درگونوف و همکاران(۲۰۲۰) دریافتند که درجه بالایی از همبستگی بین مقادیر عناصر اقلیمی و ارتفاع با وارونگی دمایی وجود دارد که با نتایج این تحقیق در یک راستا می باشد.

منابع

اسمیت، کیت. ۱۳۸۶. *مبانی اقلیم شناسی کاربردی*. ترجمه محمدعلی خورشید دوست. چاپ دوم. انتشارات یاوریان، تهران.

بیگلری، اسماء؛ حمیدرضا عامری سیاهویی. ۱۳۹۴. شناخت منابع آلاینده هوای شهر بندرعباس. *کنفرانس سالانه تحقیقات در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی و محیط زیست پایدار*. آذر ماه ۱۳۹۴.

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

خسروی، محمود؛ علیجانی, بهلول؛ الماسی، فائقه. ۱۳۹۳. تحلیل همدیدی سامانه‌های شرجی در استان خوزستان، *پژوهش های اقلیم شناسی*، **۱۷**: ۵۷-۷۷.

رویش محمدی، مرضیه. ۱۳۹۱. توپوکلیما و پدیده وارونگی(مطالعه موردی:شهر اصفهان-۱۳۸۹). پایانامه کارشناسی ارشد رشته جغرافیای طبیعی گرایش ژئومورفولوژی. دانشگاه اصفهان، مهر ۳۹۱۱.

رنجبر، ابوالفضل؛ مسعود شاکری. ۱۳۸۵. استفاده از قابلیت های سیستم اطلاعات جغرافیایی(GIS) در مدیریت آلودگی هوای شهر تبریز، *همایش ژئوماتیک ۸۵*. تهران. سازمان نقشه برداری کشور.

سلطانی، مجید. ۱۳۸۵. *پدیده وارونگی دما(اینورژن) در شهر تبریز*. اداره کل هواشناسی، استان آذربایجان شرقی.

طاوسی، تقی؛ نسرین حسین آبادی. ۱۳۹۶. ارزیابی شاخص های وارونگی دمای لایه مرزی هوای شهر تهران. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، **۲**: ۱۳-۱.

عظیمی، فریده. ۱۳۸۷. ارزیابی تاثیر وارونگی دما بر روندآلودگی هوای شهر اهواز. *مجله جغرافیای سرزمین*، **۱۹**: ۱۱۲

عقلمند، فریبا. ۱۳۹۳. بررسی تاثیر پایداری های جوی بر پتانسیل آلودگی هوای هوای شهر تبریز. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تبریز. شهریور ۹۳.

علیجانی، بهلول؛ زهرا نجفی نیک. ۱۳۸۸. بررسی الگوهای سینوپتیکی اینورزن در مشهد با استفاده از تحلیل عاملی. *مجله جغرافیا و توسعه ی ناحیه ای*، **۱۲**:۱۲-۱.

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**: ۶۴-۵۱.

کریمی، محسن؛ حسین درخشان. ۱۳۸۴. بررسی وارونگی دمایی(اینورژن) در شهر اصفهان. *مجموعه مقالات دوازدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران*، ۶-۱.

کمیجانی، فرشته ، علی نصراللهی، نرگس نظری، شهرزاد ناهید. ۱۳۹۴. تحلیل رژیم باد خلیج فارس با استفاده از دادهای ایستگاه های هواشناسی همدیدی، *مجله علمی ترویجی نیوار*، **۸۴**: ۳۵-۶۳.

لشکری، حسن؛ پریسا هدایت. ۱۳۸۵. تحلیل الگوی سینوپتیکی اینورژن های شدید شهر تهران. *مجله پژوهش های جغرافیایی*، **۵۶**: ۶۵-۸۲.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.9.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.139]

Bei, N. Li, G. Huang, R. Cao, J. Meng, N. Feng, T. Liu, S. Zhang, T. Zhang, Q. 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*, **١٦(١١)**, ٧٣٧٣–٧٣٨٧. https://doi.org/١٠,٥١٩٤/acp-١٦-٧٣٧٣-٢٠١٦

Bourne, S.M. Bhatt, US. Zhang, J. Thoman, R. ٢٠٠٩. Surface-based temperature inversions in Alaska from a climate perspective. *Atmospheric Research*, **٩٥(٢-٣)**, ٣٥٣-٣٦٦. https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.atmosres.٢٠٠٩,٠٩,٠١٣

Hudson, S. R. Brandt, R. E. ٢٠٠٥. A Look at the Surface-Based Temperature Inversion on the Antarctic Plateau. *J. Climate*, ١٨, ١٦٧٣–١٦٩٦, https://doi.org/١٠,١١٧٥/JCLI٣٣٦٠,١.

Breed, C.A. Arocena, J.M, Sutherland, D. ٢٠٠٢. Possible sources of PM١٠ in Prince George (Canada) as revealed by morphology and in situ chemical composition of particulate, *Atmospheric Environment*, **٣٦(١٠),** ١٧٢١-١٧٣١, https://doi.org/١٠,١٠١٦/S١٣٥٢-٢٣١٠(٠١)٠٠٥٠٠-٣

Brümmer, B. Schultze, M. ٢٠١٥. Analysis of a ٧-year low-level temperature inversion data set measured at the ٢٨٠ m high Hamburg weather mast, *Meteorologische Zeitschrift*, **٢٤(٥)**, ٤٨١-٤٩٤. https://doi.org/١٠,١١٢٧/metz/٢٠١٥/٠٦٦٩

Coshkun, M. Coshkun, S. Gozalan, S. ٢٠٢٠. Temperature Inversion Winter Seasonal in Karabuk-Safranbolu Basin: Possible Effects on Natural and Human Environment (Turkey), *Turkish Studies*, **١٥(١)**, ٧١-٨٢. http://dx.doi.org/١٠,٢٩٢٢٨/TurkishStudies.٤٠٣٢٠

Dergunov, A. Yakubailik, O. ٢٠٢٠. Analysis of temperature inversions during periods of adverse weather conditions in Krasnoyarsk in the winter period of ٢٠١٩-٢٠٢٠, *E3S Web of Conferences 223*, ٠٣٠٢١, https://doi.org/١٠,١٠٥١/e٣sconf/٢٠٢٠٢٢٣٠٣٠٢١

Donald, G. John, W.E, Harold, J.P. ١٩٦٩. Frequency, duration, commencement time and intensity of temperature inversions at St. Pauminneapolis, *Journal of Applied Meteorology*, ٨(٥), ٧٤٧-٧٥٣.

Thadathil, P. Ghosh, A. K. Pattanaik, J. Ratnakaran, L. ١٩٩٩. A Quality-Control Procedure for Surface Temperature and Surface Layer Inversion in the XBT Data Archive from the Indian Ocean. *journal of Atmospheric and Oceanic Technology.*, ١٦, ٩٨٠–٩٨٢, https://doi.org/١٠,١١٧٥/١٥٢٠-٠٤٢٦(١٩٩٩)٠١٦<٠٩٨٠:AQCPFS>٢,٠.CO;٢.

Kankanala, P. ٢٠٠٧ .Doppler Sodar observations of the winds and structure in the lower atmosphere over Fairbanks, Alaska, M.S. *Thesis, Department of Atmospheric Sciences, University of Alaska Fairbanks,* ٧٤ pp. available on line at, http://www.uaf.edu/asp/Students/theses/Pavan_thesis.pdf

Khalesi, B., Mansouri Daneshvar, M. Comprehensive temporal analysis of temperature inversions across urban atmospheric boundary layer of Tehran within ٢٠١٤–٢٠١٨. *Model. Earth Syst. Environ.* ٦, ٩٦٧–٩٨٢ (٢٠٢٠). https://doi.org/١٠,١٠٠٧/s٤٠٨٠٨-٠٢٠-٠٠٧٣٢-x

Lehmacher, G. A. Croskey, C. L. Mitchell, J. D. Friedrich, M. Lübken, F.J. Rapp, M. Kudeki, E. Fritts, D. C. ٢٠٠٦. Intense Turbulence Observed above a Mesospheric Temperature Inversion at Equatorial Latitude, *Geophysical Research Letters.* ٣٣, L٠٨٨٠٨, *https://doi.org/10.1029/2005GL024345*

Nodz, M.I. Ogino, S.Y. Tachibana, Y. Yamanaka, M. ٢٠٠٦. Climatological description of seasonal variations in lower-tropospheric temperature inversion layers over the Indochina Peninsula, *Journal of Climate*, **١٩(١٣)**, ٣٣٠٧-٣٣١٩. http://dx.doi.org/١٠,١١٧٥/JCLI٣٧٩٢,١

Retallack, B.J. ١٩٧٣. Compendium of meteorology, WMO, PART ٢, *Physical Meteorology*, **١(٣٤٠),** ٢٠-٣٦.

Thadathil, P. Gosh, A. K. ١٩٩٢. Surface Layer Temperature Inversion in the Arabian Sea during winter. *Journal of Oceanography*, ٤٨, ٢٩٣–٣٠٤. https://doi.org/١٠,١٠٠٧/BF٠٢٢٣٣٩٨٩

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.9.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.139]

Yasuda, I. Ueno, H. ۲۰۰۵. Temperature Inversions in the Subarctic North Pacific. *Journal of Physical Oceanography*, **۳۵**, ۲٤٤٤–۲٤٥٦, https://doi.org/۱۰,۱۱۷٥/JPO۲۸۲۹,۱.
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):۷۱. https://doi.org/۱۰,۳۳۹۰/atmos۸۰٤۰۰۷۱

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.9.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.139]