Archive of SID

جغرافیا و توسعه شمارهٔ ۵۴ بهار ۱۳۹۸
وصول مقاله : ۹۶/۰۳/۳۰
تأیید نهایی : ۹۷/۰۱/۲۸
صفحات : ۱۸۴-۱۶۳

واکاوی وردایی زمانی– مکانی ارتفاع لایهٔ مرزی ایران مبتنی بر برونداد پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF)

دکتر محمود احمدی[۱]*، عباسعلی داداشی‌رودباری[۲]، حمزه احمدی[۳]

چکیده

لایهٔ مرزی بخش کوچکی از لایهٔ ورد سپهر است که به‌دلیل فرایندهایی که در داخل آن رخ می‌دهد، برای حیات انسان حائز اهمیت است. مطالعهٔ حاضر با هدف واکاویی وردایی زمانی- مکانی ارتفاع لایهٔ مرزی (BLH) با رویکردی آماری- تحلیلی انجام شد. در این راستا از داده‌های ارتفاع لایهٔ مرزی مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخهٔ ERA-Interim با تفکیک مکانی ۰/۱۲۵×۰/۱۲۵ درجهٔ قوسی و بازهٔ زمانی ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۵ استفاده شد. نتایج نشان داد که ارتفاع لایهٔ مرزی با زمان و مکان تغییر می‌کند و وضعیت توپوگرافی بر ارتفاع لایهٔ مرزی تأثیر جدی می‌گذارد. براساس میانگین بلندمدت، بیشینهٔ همبستگی ارتفاع لایهٔ مرزی ایران با مؤلفهٔ مکانی عرض جغرافیایی است؛ چراکه نقش این مشخصهٔ جغرافیایی با آفتاب‌گیری بسیار بالاست. ازنظر زمانی کمینه و بیشینهٔ ارتفاع لایهٔ مرزی در ایام سرد و گرم سال به‌ترتیب در ماه‌های ژانویه و ژوئن رخ می‌دهد. ازنظر آرایش مکانی، مناطقی با چشم‌انداز مرتفع و ناهموار مانند زاگرس مرتفع و نواحی مجاور دریا، دارای کمترین ضخامت لایهٔ مرزی است و مناطقی با چشم‌انداز هموار و بیابانی مانند نواحی داخلی به‌خصوص جنوب شرق و مرکز ایران، ضخامت لایهٔ مرزی در بالاترین سطح قرار دارد. تغییرات فضایی ارتفاع لایهٔ مرزی در ماه‌های سرد سال منسجم‌تر از ماه‌های گرم سال است. متناسب با تغییرات فصلی دمای هوا، بیشینهٔ ارتفاع لایهٔ مرزی در ماه‌های سرد سال در نواحی جنوب شرق ایران و در ایام گرم سال به‌خصوص ماه‌های ژوئن و ژولای، در نواحی مرکزی ایران مانند مناطق جنوب کرمان و شمال استان هرمزگان رخ می‌دهد. ساختار دمایی ایران متناسب با وضعیت جغرافیایی و توپوگرافیکی، الگوی زمانی- مکانی ارتفاع لایهٔ مرزی را مشخص می‌کند. عامل اصلی وردایی زمانی- مکانی ارتفاع لایهٔ مرزی گرمایش و سرمایش سطح زمین و مؤلفه‌های مکانی و توپوگرافیکی در سطح زمین است.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع لایهٔ مرزی (BLH)، پایگاه ECMWF، نسخهٔ ERA-Interim، ایران.

۱- دانشیار آب و هواشناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران* ma_ahmadi@sbu.ac.ir
۲- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی شهری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران a_dadashiroudbari@sbu.ac.ir
۳- دکتری آب و هواشناسی کشاورزی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران h.ahmadi@hsu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

از اولین تنفس ما، بشر بیشترین حیات خود را در لایهٔ نزدیک سطح زمین گذرانده است. ما گرمای ناشی از خورشید روزانه و سرمای شباهنگام را احساس می‌کنیم. اینجا جایی است که فرآورده‌های کشاورزی در آن رشد می‌کنند، سازه‌ها ساخته می‌شوند و تکاپوهای تجاری شکل می‌گیرد. این بخش که به‌عنوان لایهٔ مرزی در خرد آب و هواشناسی شناخته می‌شود، فقط به‌عنوان لایه‌ای در نزدیکی سطح زمین به مانند دیگر بخش‌های شناخته‌شدهٔ هواسپهر نیست، بلکه کارایی تعیین‌کنندهٔ آن به‌عنوان پایین‌ترین لایهٔ هوا دارای اهمیت است (*Stull, 2012: 2*).

لایهٔ مرزی ازنظر چگونگی کیفیت هوا و فرایندهای هوا و آب و هواشناسی از اهمیت بالایی برخوردار است (*Seidel et al, 2010:1*). واژهٔ لایهٔ مرزی از جستار مکانیک سیالات توسط خرد هواشناسان گرفته شده است، یعنی آن دسته از پژوهش‌های که بر روی هواسپهر پایین متمرکز بوده اند. برخی از پژوهشگران توجه خود را بر پژوهش‌های آزمایشی لایهٔ مرزی و دگرگونی آن در سطح زمین متمرکز کرده‌اند. خرد هواشناس‌ها مطالب و فرایندهایی که آب‌وهوای نزدیک سطح زمین را شکل می‌دهند، مورد مطالعه قرار دادند و در مقابل هواشناسان تئوری‌های فیزیکی پایه فرایندهای کارا را بررسی کردند، اما کانون توجه آب و هواشناس‌ها بر روی کاربرد تئوری لایهٔ مرزی برای درک بهترِ مشخصه‌های سطح زمین با لایهٔ مرزی، نحوهٔ ارتباطات و درنهایت شکل‌گیری لایهٔ مرزی است (*Letzel & Raasch,2003: 2328*).

سطح زمین، یک مرز برای قلمرو هواسپهر محسوب می‌شود. فرایندهای فرارفتی که در این مرز در ارتفاع ۱۰۰ تا ۳۰۰۰ متری هواسپهر دِگرش می‌یابند، لایه‌ای را به‌وجود می‌آورند که به لایهٔ مرزی شهرت دارد. در این منطقه چرخه‌های شبانه‌روزی و چرخندهای عبوری،سازوکارهای واداشتی تعیین‌کننده محسوب می‌شوند (*Stull, 2012: 19*).

به شکل غیرمستقیم کل وردسپهر می‌تواند در پاسخ به شناسه‌های سطح دگرگون شود، اما این واکنش‌ها کمابیش به‌آرامی در بیرون از لایهٔ مرزی رخ می‌دهد؛ ازاین‌رو تعریف ما از لایهٔ مرزی پیمانه‌های زمانی حدود یک ساعت را شامل می‌شود. فرایندهای آشفتگی با فراوانی رخداد در نزدیک سطح زمین، یکی از مشخصه‌هایی است که موجب پراکنده‌شدن لایهٔ مرزی از دیگر بخش‌های هواسپهر می‌شود (*Stull, 2012: 2*).

ارتفاع لایهٔ مرزی، یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های ترازمندی گستردگی آمیزش آلاینده‌ها و کیفیت هوای لایه نزدیک به سطح زمین است. لایهٔ مرزی به‌عنوان لایه‌ای از سیال (آب یا گاز) تعریف می‌شود که بلافاصله در مجاورت یک سطح مادی قرار دارد و تبادل معنی‌دار تکانه، گرما یا جرم بین سطح و سیال رخ می‌دهد. لایهٔ مرزی سیاره‌ای به‌علت اثر متقابل بین هواسپهر و سطح زیر آن (زمین یا آب) در مقیاس‌های زمانی چند ساعت تا یک روز تشکیل می‌شود *(فلاح قالهری، ۱۳۹۳: ۵)*. پس بر این اساس، لایهٔ مرزی هواسپهر به پایین‌ترین لایهٔ منطقه‌ای از هواسپهر اشاره دارد که در آن‌جریان به‌شدت تحت‌کارایی مشخصه‌های سطح زمین قرار می‌گیرد. کارایی لایهٔ مرزی برای شرایط آب و هوایی از آنچنان اهمیتی برخوردار است که اخیراً مدل‌های عددی شامل یک لایهٔ مرزی هستند (*Jiang et al, 2006:617; 2008; 592; Smith, 2007: 595; Smith & Skyllingstad, 2009:3147*)، اما این مدل‌ها به شکل بنیادین شکل اصلاح‌شدهٔ تئوری اسکرور[1] (۱۹۴۹) می‌باشند که در آن لایهٔ مرزی به‌عنوان یک سطح اسفنج‌مانند عمل می‌کند.

1-Scorer

www.SID.ir

Archive of SID

نوسانات جغرافیایی می‌توانند جریان لایهٔ مرزی را دگرگون کنند و در برخی از موارد می توانند چرخش‌هایی در ارتباط با چرخه‌های گرمایی شبانه‌روزی تولید کنند. همهٔ جریان‌ها و تکانه‌های متأثر از شرایط جغرافیایی هموار و ناهموار هستند. بادهای سطح زمین، بادهای کوه به درّه و برعکس و نسیم ها همگی نشان‌دهندهٔ اثرپذیری آن‌ها از شرایط جغرافیایی است.

شرایط جغرافیایی هر منطقه با دگرگونی‌هایی که وضعیت میزان تابش دریافتی و برگشتی ازطریق سطوح ناهموار و زاویهٔ تابش را تعیین کی کند موجب دگرگونی در چرخهٔ گرمایش و سرمایشی دمایی می‌شود و به تناسب آن ارتفاع لایهٔ مرزی را در زمان و فضا تغییر می‌دهند (*Stull,2012:6*). ساختار و ارتفاع لایهٔ مرزی سیاره‌ای یا هواسپهری متأثر از سطح زمین در مقیاس محلی و چشم‌انداز ناهموار و هموار سطح زمین است. لایهٔ مرزی شدیداً از روز به شب و در وضعیت‌های میان‌مقیاس و همدید تغییر پیدا می‌کند (*Zhang et al, 2013:10071*). طیف وسیعی از مطالعات، لایهٔ مرزی شهر را کانون توجه خود قرار داده‌اند. در مطالعات مربوط به لایهٔ مرزی شهر، مدل‌های توازن انرژی سطحی شهر در مدل‌های هواسپهری بزرگ مقیاس اجرا شده‌اند تا مشخصه‌های آب و هوای محلی ازقبیل جزیرهٔ حرارتی شهر را شبیه‌سازی کنند (*Baklanov et al, 2006: 524*). با این وجود، بیشترین مطالعات به دوره‌های نسبتاً کوتاه محدود شده‌اند تا روی اعتبار و دستیابی به بینش فزاینده نسبت‌به فرایندهای مربوطه تمرکز کنند (*Sarkar, A., & De Ridder, 2011:511; Chemel & Sokhi, 2012: 65; Wouters et al, 2013: 8525*).

در طی دهه‌های گذشته، طرحواره‌های عددی با پیچیدگی مختلف توسعه یافته است تا فیزیک سطحی شهر را در مدل‌های هواسپهری نشان دهند.

شبیه‌سازی‌ها در پیمانه‌های شهری به تفکیک افقی یک کیلومتر یا بهتر را نیاز دارد و در این تفکیک مکانی، مدل‌های بزرگ‌پیمانه به‌دلیل اینکه محدودیت‌های ثبات عددی بر افزایش زمان تحمیل‌شده، تاحد زیادی کُند می‌شود. دست‌یافتن به پیوستگی مدل‌های طویل مشکل است، مگر اینکه منابع سنجیده‌شدهٔ وسیع موجود باشد. این محدودیت به‌طور جدی مانع استفاده از مدل‌های آب و هوایی بزرگ‌پیمانه در ایجاد پیش‌بینی‌های آب و هوایی بلندمدت شده است؛ به‌خصوص در کشورهایی همچون ایران که تاکنون لایهٔ مرزی آن مورد مطالعه قرار نگرفته است؛ بنابراین کارایی مطالعهٔ بلندمدت و بزرگ‌پیمانه از لایهٔ مرزی می‌تواند رهگشای مسائل بسیاری باشد. با توجه به اهمیت مطالعهٔ لایهٔ مرزی، تاکنون هیچ پژوهشی در کشور انجام نشده است؛ ولی با این حال پژوهش‌های بسیاری در سطح جهان لایهٔ مرزی را مورد مطالعه قرار دادند که به برخی از آن‌ها اشاره خواهد شد.

پژوهش‌هایی که لایهٔ مرزی را مورد توجه قرار داده‌اند می‌توان در دو دستهٔ کلی قرار داد: نخست آن دسته از پژوهش‌هایی که لایهٔ مرزی را در سطح شهری یا پیمونگاه مورد مطالعه قرار داده‌اند و دوم، پژوهش‌های که وردایی زمانی- مکانی لایهٔ مرزی را بررسی کرده‌اند. پژوهش حاضر به‌دلیل روش‌شناسی مطالعات مرورشده در دستهٔ دوم قرار می‌گیرد؛ اما به‌دلیل اهمیت لایهٔ مرزی در همهٔ سطوح مطالعاتی در مرور منابع به مطالعات دستهٔ اول نیز اشاره خواهد شد. دستهٔ اول: ون‌دام و همکاران (۲۰۱۳) در ارزیابی ارتفاع لایهٔ مرزی پیمونگاه سامیت[1] در گریلند به این نتیجه رسیدند که ارتفاع لایهٔ مرزی در این منطقه از گریلند، از گازهای سطوح پایین تأثیر قابل‌توجهی می‌پذیرد (*Van Dam et al, 2013:6575*).

1-Summit

www.SID.ir

Archive of SID

دو و همکاران[1] (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای بر روی ارتباط ارتفاع لایهٔ مرزی و غلظت ذرات معلق (PM) در شهر شیان[2] چین، با محاسبهٔ کمینه و بیشینهٔ ارتفاع لایهٔ مرزی و دگرگونی روزانه، فصلی و سالانه آن با سه رویکرد طی ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ انجام دادند. نتایج پژوهش آنان نشان داد که ارتفاع لایهٔ مرزی با غلظت ذرات معلق ($PM_{2.5}$ و PM_{10}) در مقیاس‌های زمانی سالانه و فصلی همبستگی منفی دارد و ارتفاع لایهٔ مرزی تأثیر مهمی در کیفیت هوا دارد (*Du et al, 2013:1598*). بررسی پیشرفت‌های حاصل‌شده در درک لایهٔ مرزی شهری مطالعه‌ای است که بارلو[3] (۲۰۱۴) بدان پرداخته است. نتایج بررسی‌های وی نشان داده است که نتایج حاصل از مدل‌های کلاسیک، پیشرفت تئوری در زمینهٔ لایهٔ مرزی شهری پیشرفت حاصل شده و اگرچه فشار برای کاربرد نتایج به‌دست‌آمده در طراحی شهری پایدار و سالم وجود دارد، نباید درک تئوری جریانات لایهٔ مرزی را نادیده انگاشت (*Barlow, 2014:216*).

نقش دینامیک لایهٔ مرزی در آلودگی شدید هوای پاریس نیز پژوهشی است که دوپونت و همکاران[4] (۲۰۱۶) بدان اهتمام ورزیده‌اند. در نتایج این پژوهش مشخص شده که توسعهٔ عمودی لایهٔ مرزی با چرخهٔ روزانهٔ $PM_{2.5}$ همبستگی معکوس دارد و دِگرش آن در بزرگی و طی زمان یکنواخت است (*Dupont et al, 2016:571*).

دستهٔ دوم: وان‌انن و تکشاران[5] (۲۰۱۳) در مطالعهٔ ارتفاع لایهٔ مرزی سیاره‌ای با استفاده از داده‌های ERA-Interim در سطح جهانی به این نتیجه رسیدند که ارتفاع لایهٔ مرزی در سواحل غربی که ابرهای رقیق دارند، کم‌ارتفاع و برعکس در آب و هوای گرم‌تر و در مسیر بادهای تجارتی، ارتفاع لایهٔ مرزی رشد قابل‌توجهی دارد. ارتفاع لایهٔ مرزی در طول روز می‌تواند به بیش از ۳ کیلومتر نیز در مناطق بیابانی برسد، اگرچه بخش قابل توجهی از این مناطق در منطقهٔ ITCZ قرار گرفته‌اند. همچنین لایهٔ مرزی دریایی نیز پایدارتر از لایهٔ مرزی خشکی است (*Von Engeln & Teixeira, 2013: 2356*).

هم‌سنجی کاربرد داده‌های CALIPSO[6] و داده‌های باز تحلیل‌شدهٔ ECMWF (ERA-Interim) بر فراز چین نیز نشان داد (*Liu et al, 2015: 103*) که برآورد عمق لایهٔ مرزی در شرایط متفاوت پوشش زمین بیش از اقیانوس و سطح جنگل بیش از ERA-Interim است؛ در حالی که در بهار و تابستان، عمق به‌دست‌آمده از ERA-Interim بر فراز چمن‌زارها و اراضی بایر (لخت)[7] بیش از CALIPSO است. گائو[8] و همکاران (۲۰۱۶) ارتفاع لایهٔ مرزی را با استفاده از داده‌های رادیوسوند و ECMWF بر فراز چین مطالعه کردند؛ نتایج آن‌ها نشان داد که داده‌های رادیوسوند و ERA-Interim همخوانی دارند، ارتفاع لایهٔ مرزی در بهار و تابستان بیش از پاییز و زمستان است و به‌دلیل تأثیر فشار، سرعت باد، دما و ابر بر توسعهٔ لایهٔ مرزی، هواشناسی نقش مهمی در فرایندهای لایهٔ مرزی ایفا می‌کند (*Guo et al, 2016: 13*).

به‌طور معمول وقتی بر روی کیفیت هوا، وضعیت آلودگی و آلاینده‌های هوا و مسافرت‌های هوایی تمرکز می‌شود، به‌نحوی موضوع لایهٔ مرزی نیز به میان می‌آید؛ اما در واقع این لایه به‌عنوان بخشی تأثیرپذیر و تأثیرگذار بر حیات بشری بسیار حائز اهمیت است. خیلی از رخدادهای کارساز در لایهٔ مرزی که مرتبط با حیات بشر است، رخ می‌دهد. لایهٔ مرزی با سازوکاری ترکیبی، با مخلوط‌کردن و تبادلات هوا به‌عنوان یک سیال، موجبات حیات بشری را فراهم

1-Du
2-Xi'an
3-Barlow
4-Dupont et al
5-Von Engeln &Teixeira
6-Cloud–Aerosol Lidar&Infrared Pathfinder Satellite Observation
7-Bare Land
8-Guo et al

www.SID.ir

Archive of SID

می‌سازد. هر آنچه که در نزدیک سطح زمین رخ می‌دهد، در برنامه‌ریزها و کاربردهای آب و هواشناسی بیشتر اهمیت دارد. مطالعات ارتفاع لایهٔ مرزی برای شناخت بیشتر این بخش از هواسپهر برای کاربردهای آب و هواشناسی در زمینهٔ مدیریت آلودگی‌های شهری، کاربری زمین و آسایش بشری کاربرد فراوانی دارد. مطالعهٔ حاضر با رهیاتی آماری- تحلیلی سعی دارد دگرگونی زمانی- مکانی ارتفاع لایهٔ مرزی را در گسترهٔ ایران براساس برونداد پایگاه دادهٔ مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخهٔERA Interim مورد واکاوی قرار دهد.

روش تحقیق

در این پژوهش به‌منظور ارزیابی ارتفاع لایهٔ مرزی (BLH[1]) بر فراز ایران، از داده‌های مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF[2]) نسخهٔ ERA-Interim استفاده شده است. داده‌های این پایگاه از سال ۱۹۷۹ شروع شده که هر ماه کامل‌تر می‌شود، به‌طوری که در زمان نگارش این پژوهش تا ژانویهٔ ۲۰۱۷ آن عرضه و آمادهٔ بارگیری شده است. مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپا، سازمان بین‌المللی مستقلی است که با عضویت کشورهای مختلف جهان شکل گرفته است. داده‌های باز واکاوی‌شدهٔ مرکز ECMWF نتیجهٔ برهمکنش پیچیده‌ای میان داده‌های موجود و نتایج الگوهای هواسپهری بوده که به‌صورت داده‌های یاخته‌ای عرضه شده است *(دارند و زند کریمی، ۶۵۵:۱۳۹۴)*.

نسخهٔ ERA-Interim به‌روزترین نسخهٔ این پایگاه داده است. این نسخه درحقیقت درجهت بهبود ارتقاء نسخهٔ ERA-40 این مجموعه بوده که تولید آن از سال ۲۰۰۶ آغاز شده است. سال آغازین این پایگاه، ۱۹۷۹ بوده که به شکل مستمر درحال به‌روزرسانی است.

مهم‌ترین اهداف این پروژه نیز چرخهٔ هیدرولوژیکی، گردش‌های هواسپهری پوش‌سپهر و کاهش مقدار اریب و خطای نسخه‌های پیشین بوده است *(دارند و زند کریمی، ۱۳۹۴: ۶۵۵)*.

با توجه به حجم بالا و پیچیدگی محاسباتی ارتفاع لایهٔ مرزی از یک طرف و همچنین از آنجا که پژوهش حاضر از داده‌های محاسبه‌شدهٔ این پایگاه استفاده کرده است، از ارائهٔ این مطالب به‌دلیل کاهش حجم پژوهش پرهیز شده است، ازاین‌رو آن دسته از پژوهشگرانی که علاقه‌مند به نحوهٔ محاسباتی این روش هستند، می‌توانند به پژوهش‌های (*Ahlgrimm & Randall, 2006:998; Köhler et al, 2011:43; Ahlgrimm & Forbes, 2014:668*) مراجعه کنند.

همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، به‌منظور واکاوی ارتفاع لایهٔ مرزی از نسخهٔ ERA-Interim پایگاه دادهٔ ECMWF استفاده شده است. داده‌های BLH برای محدودهٔ ایران به شکل ماهیانه از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۵ با تفکیک مکانی ۰/۱۲۵×۰/۱۲۵ درجه قوسی از تارنمای پایگاه مربوط با فرمت *NC*. بارگیری شد. در ادامه با استفاده از نرم‌افزار NcDump داده‌های مربوط رمزگشایی شدند که آرایه‌ای به ابعاد ۴۴۴×۹۹۶۶ به‌دست آمده است (شکل ۱-ب). در این آرایه، ۹۹۶۶ معرف یاخته‌های ۰/۱۲۵×۰/۱۲۵ درجه قوسی و ۴۴۴ نمایندهٔ ماه‌های سال هستند (جدول و شکل ۱- الف). درنهایت داده‌های ارتفاع لایهٔ مرزی با استفاده از روش زمین‌آمار کریجینگ (معمولی) به‌واسطهٔ مقدار کمترین مقدار مربع خطا در محیط نرم‌افزار ARCGIS پهنه‌بندی شدند.

1-Boundary Layer Height (BLH)
2-European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)

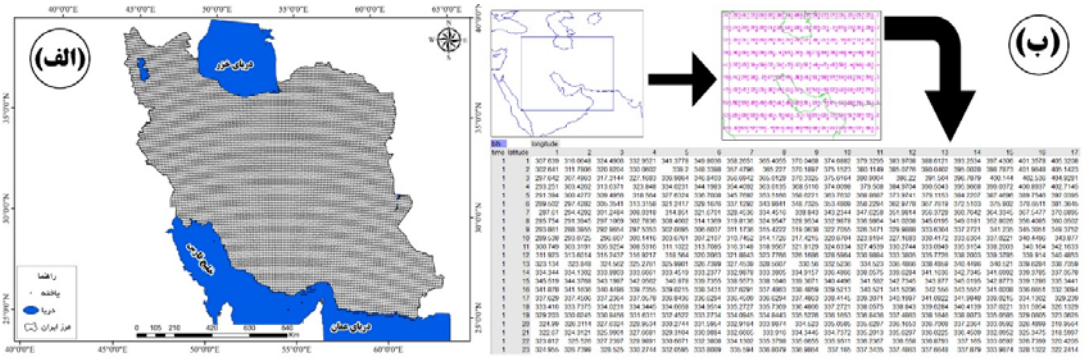
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱ : مشخصات داده‌های مورد استفاده از در پژوهش

ردیف	نام محصول	نسخه مورد استفادهٔ پایگاه	دورهٔ زمانی	تفکیک مکانی (درجهٔ قوسی)
۱	ارتفاع لایهٔ مرزی (BLH)	ERA-Interim	۱۹۷۹-۲۰۱۵	۰/۱۲۵×۰/۱۲۵

ماخذ:مطالعات نگارندگان، ۱۳۹۶



شکل ۱: الف) یاخته‌های ۰/۱۲۵×۰/۱۲۵ درجهٔ قوسی مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخهٔ ERA-Interim؛ ب) نمونه‌ای از مقادیر رمزگشایی‌شده و مراحل آن به شکل شماتیک

تهیه و ترسیم : مطالعات نگارندگان، ۱۳۹۶

کنترل کیفی داده‌های باز واکاوی‌شدهٔ پایگاه ECMWF نسخهٔ ERA-Interim توسط سیمونز و همکاران[1] (۲۰۱۰) انجام شده است (*Simmons et al, 2010: 6*). در کشور نیز صحت داده‌های بارش این پایگاه توسط دارند و زند کریمی (۱۳۹۴) انجام شده است (*دارند و زندکریمی، ۱۳۹۴: ۶۶۴*). صحت داده‌های ارتفاع لایهٔ مرزی، پیش‌تر توسط وان انن و تکشاران[2] (۲۰۱۳) که این پارامتر را در سطح جهانی مورد مطالعه قرار دادند، مورد تأیید قرار گرفته است (*Von Engeln & Teixeira, 2013: 6581*). آنان با استفاده از داده‌های اخذ شدهٔ رادیوسوند و AWI[3] از عرض‌های جغرافیایی مختلف صحت این داده‌ها را مورد تأیید قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که ارتفاع لایهٔ مرزی ارائه‌شده در پایگاه ECMWF نسخهٔ ERA-Interim، با ارتفاع لایهٔ مرزی محاسبه‌شده از رادیو سوند تنها چند متر اختلاف دارد. همچنین همبستگی بین داده‌های پایگاه AWI با ECMWF بالای ۰/۸۰ به‌دست آمده است که مبیّن دقت مناسب داده‌های ECMWF است.

داده‌های AWI که در یک مطالعهٔ مشابه *Von Engeln & Teixeira, 2004: 1*) برای داده‌های نسخهٔ ERA-40 پایگاه ECMWF انجام شده، نتایج مطالعه وان انن و تکشاران (۲۰۱۳) را تأیید می‌کند. صحت‌سنجی داده‌های ارتفاع لایهٔ مرزی به‌دلیل توسعهٔ روزانهٔ آن نیز در مقدار میانگین ماهیانه برای مناطق خشک و کوهستانی همچون ایران شاید کمی مناقشه‌برانگیز باشد، به‌طوری که مطالعات بسیاری دگرگونی خطای نمونه‌گیری را بسته به زمان و مکان محلی متفاوت دانسته‌اند. مقایسهٔ ارتفاع لایهٔ مرزی مبتنی‌بر برونداد پایگاه ECMWF با مطالعات لیو و لیانگ[4] (۲۰۱۰) که با استفاده از داده‌های طولانی‌مدت برنامهٔ اندازه‌گیری تابش هواسپهری (ARM[5]) برای مقاطع زمانی سه ساعته به‌دست آورده‌اند، نشان داده است که ارتفاع لایهٔ مرزی پایگاه ECMWF یک عدم‌قطعیت ۶درصدی را نسبت‌به داده‌های مشاهداتی دارد (*Liu & Liang, 2010: 5806*)؛ بنابراین مبتنی‌بر پژوهش‌های انجام‌شده در

1-Simmons et al
2-Von Engeln &Teixeira
3-Alfred Wegener Institute (AWI)

4-Liu and Liang
5-Atmospheric Radiation Measurement Program (ARM)

www.SID.ir

Archive of SID

سطح جهانی دقت داده‌های ارتفاع لایهٔ مرزی پایگاه ECMWF نسخهٔ ERA-Interim در سطح قابل‌قبولی است و نتایج آن را می‌توان برای مطالعات منطقه‌ای با اطمینان بالایی به‌کار بست.

نتایج و بحث

مشخصه‌های رایج آماری برای ارتفاع لایهٔ مرزی ایران در جدول (۲) ارائه شده است. بیشینهٔ میانگین ارتفاع لایهٔ مرزی در ماه ژوئن و کمینهٔ آن در دسامبر اتفاق می‌افتد. ژانویه دارای کمینهٔ ارتفاع لایهٔ مرزی در فصل زمستان با متوسط ۴۰۳/۲۷ متر است. پراکنش نگار ژانویه که به‌عنوان نمایندهٔ فصل زمستان در شکل (۲-الف) ارائه شده، به‌خوبی نمایانگر این امر است و بخش اعظم یاخته‌های ایران دارای ارتفاع بین ۲۵۰ تا ۶۰۰ متر در کشور هستند. چارک اول و سوم که در جدول نیز ارائه شده است، همین امر را تأیید می‌کنند؛ به‌طوری که در ژانویه تنها یک‌چهارم از مساحت ایران، ارتفاع لایهٔ مرزیشان کمتر از ۲۹۶ متر است. از ماه فوریه به بعد میانگین ارتفاع لایهٔ مرزی ایران افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که در ماه مارس به ۷۸۸/۶۶ متر می‌رسد که نسبت‌به میانگین فصل زمستان، ۲۰۵ متر افزوده شده است. کشیدگی تمام ماه‌های فصل زمستان منفی است، چون که هرچه به انتهای فصل نزدیک‌تر می‌شویم، بر مقدار آن نیز افزوده خواهد شد، کشیدگی منفی گویای کشیدگی بیشتر و توزیع هموار داده‌هاست. چولگی همهٔ ماه‌های فصل زمستان نیز منفی است و با نزدیک‌تر شدن به انتهای فصل، این مقدار نیز کاهش می‌یابد. چولگی مثبت به‌خوبی نشان می‌دهد که مناطق با ارتفاع لایهٔ مرزی، بیشینهٔ سهم کمتری را از توزیع آماری ارتفاع لایهٔ مرزی در کشور را دارند. مهم‌ترین عاملی که در تکوین لایهٔ مرزی دخالت دارد، تفاوت دمای هوا و سطح زمین است؛ ازاین‌رو در فصل زمستان که دمای سطح زمین به‌خصوص در شب‌هنگام سردتر از دمای هواست، لایهٔ مرزی پایدار تشکیل می‌شود. از آنجا که لایهٔ مرزی‌های پایدار بسیار پیچیده هستند، این احتمال بسیار قوی خواهد بود که تلاطم دوره‌ای باشد و به‌تبع آن نیز پیوند هوا با سطح زمین نیز بسیار ضعیف شود. از طرف دیگر، با توجه به شکل‌شناسی پیچیده و جهت‌گیری دامنه‌ها در ایران، در لایهٔ مرزی پایدار دما با دو الگو خودنمایی خواهد کرد؛ در صورت اول، در دو طرف دامنه‌های البرز و زاگرس می‌توان شاهد آن بود که بادها کوهستانی هستند؛ چراکه هوای سرد به‌سمت پایین دامنه‌ها می‌لغزند. از طرف دیگر اگر لایهٔ مرزی پایدار تلاطم بی‌وقفه و سطح زمین صاف و باد خفیف باشد، باید شاهد شکل‌گیری نیمرخ دمای بالقوهٔ تقریباً پایدار باشیم که شکل‌گیری این پدیده در دشت‌های داخلی دور از انتظار نخواهد بود.

در دورهٔ گرم سال به‌دلیل استقرار پرفشار آزور و به تعبیت از آن گرمایش بی‌دررو از یک سو و پایداری هوا و افزایش موج‌های کوتاه تابشی، دریافتی دمای نسبی ایران به‌تدریج افزایش می‌یابد. به‌طوری که میانگین ارتفاع لایهٔ مرزی ایران در آوریل به ۱۱۲۴ متر و در ماه می به ۱۳۸۶ متر و ژوئن به اوج خود با ۱۴۳۶ متر خواهد رسید. کمینهٔ ارتفاع لایهٔ مرزی ماه‌های می و ژوئن در فصل بهار کمتر از ۱۰۰ متر خواهد بود که بخش اعظم این یاخته‌ها در پسکرانه‌های خلیج فارس قرار دارند. بیشینهٔ ارتفاع لایهٔ مرزی ایران نیز در بهار رخ می‌دهد، به‌طوری که ژوئن با میانگین ارتفاع ۱۴۳۶/۴۰ متر، بیشینهٔ ارتفاع لایهٔ مرزی را دارد. ارتفاع لایهٔ مرزی در هر سه ماه فصل بهار و همچنین در همهٔ ماه‌های سال در جنوب‌شرق ایران، بیشینه خواهد بود. همان‌طور که پراکنش‌نگار ماه ژوئن به‌عنوان نمایندهٔ فصل بهار آمده است (۲-ب)، بخش اعظم یاخته‌های ایران، ارتفاع لایهٔ مرزی بالایی را برای این ماه از سال دارند؛ به‌طوری که تنها یک چهارم از مساحت کل ایران ارتفاع لایهٔ مرزی کمتر از ۱۲۴۲ متری خواهند داشت، بیشینهٔ ارتفاع لایهٔ مرزی فصل بهار ۱۶۹۱ متر در ماه می رخ می‌دهد. همان‌طور که در پراکنش‌نگار نمایندهٔ فصل به‌روشنی آمده است، تنها کمتر از ۴۰

www.SID.ir

Archive of SID

یاخته ارتفاع لایهٔ مرزی آن‌ها کمتر از ۵۰۰ متر است که بخش اعظم آن‌ها در کرانه‌های خلیج فارس قرار دارند. چولگی و کشیدگی تمامی ماه‌های فصل بهار نیز منفی خواهد بود و با گرم‌تر شدن هوا و افزایش دمای سطح زمین، شاهد افزایش دامنهٔ تغییرات ارتفاع لایهٔ مرزی در کشور خواهیم بود، به‌طوری که بیشینهٔ ارتفاع لایهٔ مرزی ایران نیز در ماه ژوئن با ۱۹۸۵ متر اتفاق می‌افتد و مسلّم است که بیشینهٔ دامنهٔ تغییرات بر روی نواحی بیابانی رخ می‌دهد؛ بنابراین طبیعی است که مناطق کویری داخلی و جنوب شرق ایران بیشینهٔ دامنهٔ تغییرات درون‌سالی، ارتفاع لایهٔ مرزی را داشته باشند. درخصوص لایهٔ مرزی باید توجه داشت که تشکیل لایهٔ مرزی وابسته به پایداری ایستاست که طبیعتاً نمیرخ‌های دما و باد نیز به همین کمّیت وابستگی دارند و چون گرمایش و سرمایش تابشی دارای چرخهٔ درون‌سالی و در مقیاس خردتر روزانه است؛ ازاین‌رو می‌توان به این نتیجه رسید که پایداری ایستا در لایهٔ مرزی نیز دارای چرخه‌هایی با دوره‌های منظم است.

میانگین ارتفاع لایهٔ مرزی ایران در فصل تابستان به‌طور متوسط، ۱۲۸۰ متر است که بیشینهٔ آن در فصل ژولای با ۱۳۸۸ متر و کمینهٔ آن با ۱۱۲۶ متر در سپتامبر اتفاق می‌افتد. دامنهٔ تغییرات ارتفاع لایهٔ مرزی در همهٔ ماه‌های فصل تابستان بیش از ۱۴۰۰ متر است. انحراف معیار نمایندهٔ خوبی برای معدل انحرافات فردی از میانگین است. همان طور که در جدول (۲) مشخص‌شده است، با کاهش میانگین ارتفاع لایهٔ مرزی در فصل تابستان، مقدار انحراف از معیار نیز کاهش یافته است. در همهٔ ماه‌های فصل تابستان همانند سایر ماه‌های سال، ارتفاع لایهٔ مرزی دارای یک توزیع چوله است که این امر می‌تواند از منطبق‌نبودن مقادیر میانگین، میانه و مد باشد. چولگی همهٔ ماه‌های سال به‌همراه کشیدگی ماه سپتامبر مقدار منفی را نشان داده است که پیش‌تر نیز مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند. پراکنش نگار ماه آگوست به‌عنوان نمایندهٔ فصل تابستان در شکل (۲-ج) ارائه شده است. همان‌طور که مشخص شده، بخش اعظم مناطق ایران ارتفاع لایهٔ مرزی آن‌ها بین ۶۰۰ تا ۱۸۰۰ متر است که در این بین مناطق با ارتفاع ۱۰۰۰ تا ۱۷۰۰ متر از فراوانی بیشتری برخوردار می‌باشند. سه چهارم از مساحت کل ایران ارتفاع لایهٔ مرزی آن‌ها بیش از ۱۰۰۰ متر است. چارک سوم ارتفاع لایهٔ مرزی ایران در هیچ‌یک از ماه‌های فصل تابستان کمتر از ۱۲۰۰ متر رخ نخواهد داد. نکتهٔ قابل‌توجه درخصوص کمینه و بیشینهٔ ارتفاع لایهٔ مرزی در فصل تابستان است که کمینه و بیشینهٔ ارتفاع لایهٔ مرزی در ماه ژولای رخ داده است.

با شروع فصل پاییز ارتفاع لایهٔ مرزی ایران نیز شروع به مقدار کاهش می‌کند، به‌طوری که میانگین ارتفاع لایهٔ مرزی در اکتبر ۹۰۵ متر، نوامبر ۵۸۲ متر و دسامبر ۳۹۰ متر می‌رسد. دامنهٔ تغییرات فصل پاییز به کمترین مقدار در بین فصول خواهد رسید، به‌گونه‌ای که دسامبر با ۲۵۱ متر کمینهٔ مقدار دامنهٔ تغییرات لایهٔ مرزی را همانند میانگین آن در کشور دارد. توزیع ارتفاع لایهٔ مرزی در فصل پاییز تقریباً هموار است که به‌خوبی می‌توان آن را از مقدار کشیدگی تشخیص داد. به‌غیر از ماه اکتبر، سایر ماه‌های سال، بیشینهٔ ارتفاع لایهٔ مرزی آن‌ها کمتر از ۱۰۰۰ متر است. همچنین کمینهٔ ارتفاع لایهٔ مرزی در هیچ‌یک از ماه‌های سال بیشتر از ۳۲۵ متر نخواهد شد. پراکنش‌نگار ماه اکتبر به‌عنوان نمایندهٔ فصل پاییز (شکل ۲-د) نشان از یک نظم نسبی و یک‌دستی ارتفاع لایهٔ مرزی در کشور دارد و تنها سه یاخته ارتفاع لایهٔ مرزی آن‌ها کمتر از ۴۰۰ متر است. بیشینهٔ یاخته‌های مورد مطالعه در این ماه از سال، ارتفاع لایهٔ مرزی آن‌ها بین ۸۰۰ تا ۱۱۰۰ متر است. سایر ویژگی‌های آماری به تفصیل در جدول شمارهٔ (۲) ارائه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

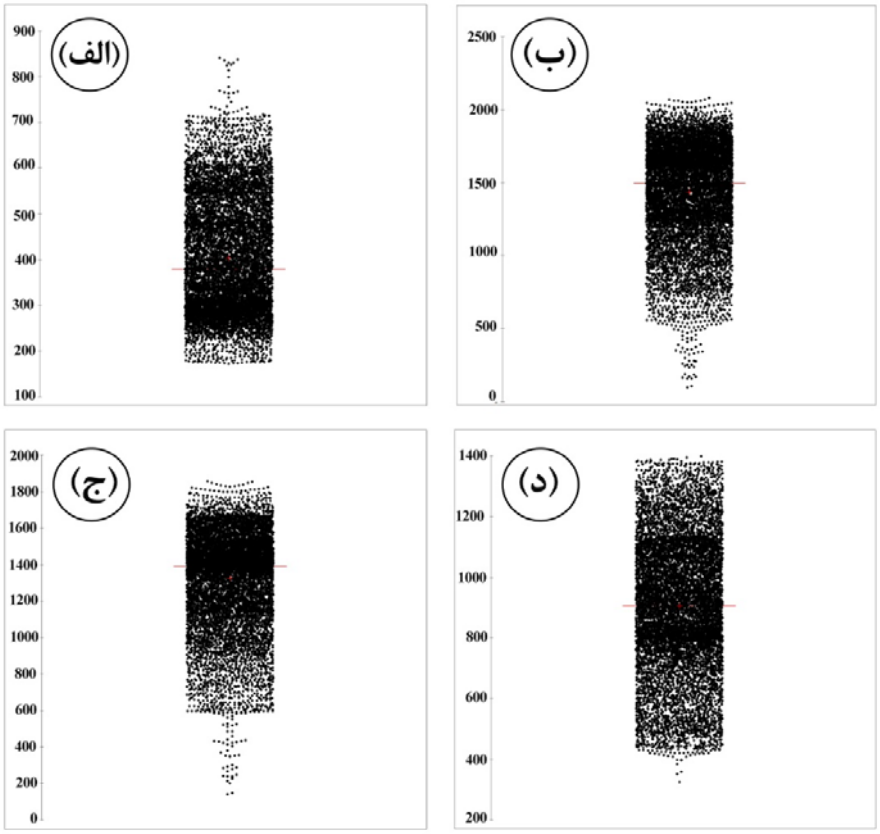
جدول ۲: مشخصات آماری میانگین ارتفاع لایهٔ مرزی ایران مبتنی‌بر برونداد پایگاه دادهٔ مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخهٔ ERA Interim (متر)

مشخصه‌های آماری		ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن
نمایه‌های مرکزی	میانگین	۴۰۳/۲۷	۵۵۷/۰۹	۷۸۸/۶۶	۱۱۲۴/۹۵	۱۳۸۶/۳۴	۱۴۳۶/۴۰
	میانه	۳۷۸/۵۸	۵۳۸/۹۲	۷۷۴/۷۵	۱۱۴۱/۱۵	۱۴۳۶/۲۹	۱۴۹۴/۸۳
	مد	۲۷۶/۶۶	۳۵۳/۳۹	۶۳۲/۸۲	۷۴۱/۵۰	۱۲۷۳/۷۹	۷۶۴/۱۲
نمایه‌های پراکندگی	دامنهٔ تغییرات	۶۶۸/۳۹	۶۲۸/۵۷	۹۷۵/۷۶	۱۶۲۲/۰۳	۱۹۲۵/۸۱	۱۹۸۵/۴۸
	واریانس	۱۵۴۳۹/۴۱	۲۶۹۵۶/۶۳	۴۷۴۰۱/۷۰	۹۷۱۳۲/۹۵	۱۲۶۰۵۰/۱۲	۱۰۷۳۵۵/۹۸
	انحراف معیار	۱۲۴/۲۶	۱۶۴/۱۸	۲۱۷/۷۲	۳۱۱/۶۶	۳۵۵/۰۴	۳۲۷/۶۵
نمایه‌های شکل توزیع	کشیدگی	-۰/۷۴	-۱/۳۲	-۱/۳۵	-۱/۱۹	-۰/۶۰	۰/۰۹
	چولگی	۰/۴۸	۰/۱۷	۰/۰۵	-۰/۰۸	-۰/۴۹	-۰/۷۵
آستانه‌ها	چارک اول	۲۹۶/۷۰	۴۰۷/۹۹	۵۹۱/۵۱	۸۳۴/۷۲	۱۱۲۴/۴۶	۱۲۴۲/۳۵
	چارک سوم	۵۰۰/۲۲	۷۱۲/۷۱	۱۰۰۳/۹۱	۱۴۱۳/۹۵	۱۶۹۱/۰۳	۱۶۸۷/۵۰
کران بالا و پایین	بیشینه	۸۴۱/۰۹	۸۶۱/۳۷	۱۱۹۱/۴۱	۱۷۴۱/۷۴	۲۰۰۵/۳۷	۲۰۸۳/۱۵
	کمینه	۱۷۲/۶۹	۲۳۲/۸۰	۲۱۵/۶۵	۱۱۹/۷۱	۷۹/۵۶	۹۷/۶۸
مشخصه‌های آماری		**ژولای**	**آگوست**	**سپتامبر**	**اکتبر**	**نوامبر**	**دسامبر**
نمایه‌های مرکزی	میانگین	۱۳۸۸/۸۱	۱۳۲۵/۳۳	۱۱۲۶/۶۵	۹۰۵/۴۷	۵۸۲/۷۹	۳۹۰/۸۷
	میانه	۱۴۸۰/۱۵	۱۳۹۱/۷۴	۱۱۳۹/۴۹	۹۰۶/۱۹	۵۵۶/۸۹	۳۵۴/۶۱
	مد	۸۶۴/۵۷	۷۲۷/۳۲	۱۰۰۲/۵۶	۸۳۳/۵۱	۴۰۹/۰۱	۲۵۱/۰۹
نمایه‌های پراکندگی	دامنهٔ تغییرات	۱۸۵۴/۲۵	۱۷۱۵/۳۸	۱۴۹۴/۴۲	۱۰۷۲/۹۳	۷۰۲/۵۵	۶۹۱/۹۳
	واریانس	۸۲۲۹۳/۶۲	۶۵۲۰۶/۸۳	۵۷۶۹۸/۵۰	۴۶۸۹۶/۱۸	۲۵۳۷۷/۹۰	۱۳۳۹۱/۱۷
	انحراف معیار	۲۸۶/۸۷	۲۵۵/۳۶	۲۴۰/۲۱	۲۱۶/۵۶	۱۵۹/۳۰	۱۱۵/۷۲
نمایه‌های شکل توزیع	کشیدگی	۰/۶۵	۰/۷۰	-۰/۰۴	-۰/۵۶	-۰/۸۵	-۰/۵۰
	چولگی	-۱/۰۰	-۰/۹۳	-۰/۴۴	-۰/۱۲	۰/۳۰	۰/۶۱
آستانه‌ها	چارک اول	۱۲۲۲/۳۳	۱۱۷۶/۶۵	۹۹۴/۰۷	۷۷۰/۸۲	۴۴۹/۲۱	۲۹۷/۹۴
	چارک سوم	۱۵۹۰/۱۴	۱۴۹۹/۵۴	۱۲۹۶/۹۵	۱۰۷۰/۰۵	۷۱۰/۲۶	۴۸۲/۰۱
کران بالا و پایین	بیشینه	۱۹۶۲/۱۰	۱۸۵۷/۵۳	۱۷۰۴/۹۳	۱۳۹۸/۲۱	۹۹۰/۳۸	۹۰۱/۵۴
	کمینه	۱۰۷/۸۵	۱۴۲/۱۵	۲۱۰/۵۱	۳۲۵/۲۹	۲۸۷/۸۳	۲۰۹/۶۱

ماخذ: مطالعات نگارندگان، ۱۳۹۶

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲: پراکنش نگار ارتفاع لایهٔ مرزی در ایران، الف) نمایندهٔ فصل زمستان (ژانویه)؛ ب) نمایندهٔ فصل بهار (ژوئن)؛ ج) نمایندهٔ فصل تابستان (آگوست)؛ د) نمایندهٔ فصل پاییز (اکتبر) (اعداد به متر هستند)

تهیه و ترسیم: مطالعات نگارندگان، ۱۳۹۶

جدول (۳) نتایج همبستگی ارتفاع لایهٔ مرزی ایران را با مؤلفه‌های مکانی ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که ارتفاع لایهٔ مرزی ایران با ارتفاع، همبستگی چندان قوی ندارد. در این بین ۸ ماه از سال همبستگی مثبت ارتفاع لایهٔ مرزی را با ارتفاع نشان دادند و چهار ماه ژولای تا اکتبر، همبستگی منفی را با ارتفاع لایهٔ مرزی نشان داده‌اند. همبستگی‌های ارائه‌شده برای دورهٔ سرد سال به مراتب قوی‌تر از دوره‌های گرم سال بوده است. از آنجا که ضریب همبستگی پیرسون از نسبت کوواریانس نمونهٔ دو متغیّر به حاصل ضرب دو انحراف استاندارد به‌دست می‌آید و از آنجا که یکی از کاربردهای کواریانس شرح و تفسیر تلاطم است؛ درنتیجه این آماره جدای از مقدار همبستگی (خطی) می‌تواند توضیح مناسبی برای توضیح رفتار تلاطم ارتفاع لایهٔ مرزی ایران باشد. در عین حال باید توجه داشت که $r_{dem\ PBL} = 0$ (یا نزدیک به صفر) لزوماً به این مفهوم نیست که ارتفاع (DEM) و ارتفاع لایهٔ مرزی ایران هیچ رابطه‌ای با هم ندارند؛ بنابراین می‌توان اذعان داشت که دو سنجهٔ نامبرده، رابطهٔ خطی با هم ندارند، چراکه ضریب همبستگی فقط رابطهٔ خطی را اندازه‌گیری می‌کند. بر این اساس ارتفاع لایهٔ مرزی ایران دارای یک رابطهٔ غیرخطی و احتمالاً پیچیده است و بیشینهٔ همبستگی ارتفاع لایهٔ مرزی ایران با مؤلفهٔ مکانی عرض جغرافیایی است، چراکه نقش این مشخصهٔ جغرافیایی با آفتاب‌گیری بسیار بالاست. فصول زمستان و پاییز بیشینهٔ همبستگی را ارائه داده‌اند و پس از فصول تابستان و بهار قرار دارند. طول

www.SID.ir

Archive of SID

جغرافیایی نیز همبستگی خوبی را با ارتفاع لایهٔ مرزی ایران ارائه داده است. در بین فصول، فصل زمستان همبستگی قوی را با طول جغرافیایی ارائه داده است و در بین ماه‌های مورد مطالعه، سپتامبر کمینهٔ همبستگی و فوریه بیشینهٔ همبستگی را ارائه داده است.

جدول ۳: همبستگی میانگین ارتفاع لایهٔ مرزی ایران مبتنی‌بر برونداد پایگاه دادهٔ مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخهٔ ERA Interim با ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی ($P-Value<0.05$)

آماره/ ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن
طول جغرافیایی	۰/۶۹۴	۰/۷۳۴	۰/۷۲۵	۰/۶۹۰	۰/۶۰۲	۰/۵۳۶
عرض جغرافیای	-۰/۸۰۰	-۰/۷۰۴	-۰/۶۷۴	-۰/۷۱۵	-۰/۷۴۲	-۰/۶۲
ارتفاع	-۰/۲۸۹	-۰/۲۰۲	-۰/۱۳۹	-۰/۱۱۹	-۰/۰۸۵	۰/۰۶۳
آماره/ ماه	ژولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
طول جغرافیایی	۰/۴۳۹	۰/۳۰۰	۰/۲۹۲	۰/۴۶۰	۰/۵۶۳	۰/۶۰۳
عرض جغرافیای	-۰/۵۲۴	-۰/۵۵۸	-۰/۷۰۳	-۰/۸۴۵	-۰/۹۰۲	-۰/۸۷۷
ارتفاع	۰/۱۴۲	۰/۱۹۶	۰/۱۸۱	۰/۰۵۹	-۰/۰۸۸	-۰/۲۱۶

ماخذ: مطالعات نگارندگان، ۱۳۹۶

توزیع زمانی- مکانی ارتفاع لایهٔ مرزی در گسترهٔ ایران به تفکیک هر ماه در ذیل بررسی شده است.

ژانویه، فوریه و مارس (JFM)

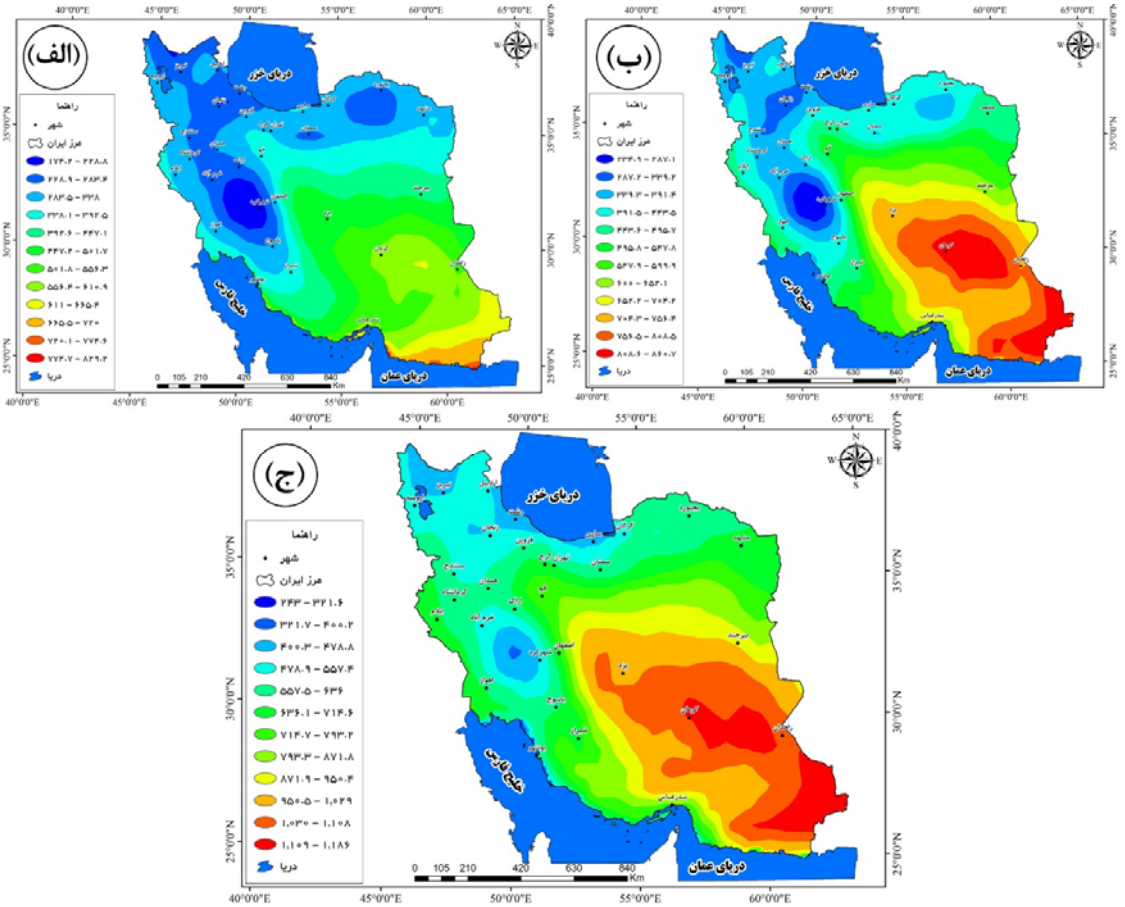
دگرگونی ارتفاع لایهٔ مرزی (PBL) در ماه ژانویه براساس برونداد پایگاه ECMWF در شکل (۳- الف) مشخص شده است. همان‌طور که مشخص شده است، ماه‌های سرد سال از کمینهٔ ارتفاع لایهٔ مرزی برخوردار می‌باشند. در این ماه ارتفاع لایهٔ مرزی در کمترین ارتفاع، به ۱۷۴ متر منطبق بر منطقهٔ زاگرس مرتفع تا بیشترین ارتفاع برابر با ۸۲۴ متر منطبق بر مجاور دریای عمان در نوسان است. ارتفاع لایهٔ مرزی در این ماه به‌عنوان یکی از سردترین ماه‌های سال در حالت کمینه قرار دارد. فقط در نواحی گرمسیر و نیمهٔ جنوب شرقی کشور است که ارتفاع بالاتری در ارتفاع لایهٔ مرزی مشاهده می‌شود. آرایش مکانی ارتفاع لایهٔ مرزی در این ماه به‌عنوان سردترین ماه سال، از وضعیت توپوگرافیکی به‌خصوص روند ناهمواری‌ها و عرض جغرافیایی تبعیت می‌کند. به‌طوری که روند کاهش در ارتفاع لایهٔ مرزی از شمال غرب به جنوب شرق متناسب با تغییر چشم‌انداز ناهمواری و وجود یک سطوح هموار و کم‌ارتفاع با ماهیت بیابانی و کویری کاملاً آشکار است. ازنظر منطقه‌ای، کمترین ارتفاع لایهٔ مرزی در مناطق نیمهٔ شمالی، عرض‌های بالاتر و ناهمواری‌های زاگرس و البرز و شمال شرق مشاهده می‌شود. لایهٔ مرزی در ماه ژانویه در مناطق سردسیر کمترین ارتفاع را دارد و در مناطق نیمه‌مرکزی، استان‌های یزد، کرمان، سیستان و بلوچستان ارتفاع لایهٔ مرزی بیش از ۴۰۰ متر اختلاف دارد.

توزیع مکانی ارتفاع لایهٔ مرزی ماه فوریه در شکل (۳-ب) مشخص شده است. همان‌طور که مشخص شده، کمینهٔ ارتفاع لایهٔ مرزی در ماه‌های سرد سال در ماه ژانویه رخ داده و این شرایط بیشتر منطبق بر مناطق مرتفع و سردسیر زاگرس است. در ماه فوریه فقط مناطق محدودی در مرزی‌های شمال غربی ایران و منطقهٔ زاگرس مرتفع، ارتفاع لایهٔ مرزی کمتر شده است و لایهٔ مرزی با ضخامت کم در این ماه از ۲۳۴ تا ۵۰۰ متر در بین مناطق سردسیر و مرتفع متغیّر است. ضخامت لایهٔ مرزی در این ماه از سال، از ۲۴۳ تا ۱۱۸۶ متر در نوسان است. درواقع این اثرات جغرافیایی یا توپوگرافیکی است که آرایش لایهٔ مرزی و ارتفاع آن را تعیین می‌کند. از آنجا که ضخامت لایهٔ مرزی متأثر از وضعیت چرخهٔ گرمایش شبانه‌روزی است؛ بنابراین چرخهٔ شبانه‌روزی نیز به‌شدت متأثر از وضعیت توپوگرافیکی و عوامل مکانی است. به‌طوری

www.SID.ir

Archive of SID

که در این ماه متناسب با دو چشم‌انداز ناهموار و هموار در کشور دو ناحیهٔ مرتفع و کم‌ارتفاع آرایش مکانی ارتفاع لایهٔ مرزی مشاهده می‌شود. کانون بیشینهٔ ضخامت لایهٔ مرزی بالا منطبق بر منطقهٔ جنوب شرق ایران و کویر لوت متمرکز است. با توجه به این آرایش مکانی، از شمال به جنوب و از غرب به شرق بر ارتفاع لایهٔ مرزی افزوده می‌شود. چشم‌انداز برجستهٔ طبیعی در نیمهٔ غربی و شمالی موجب شده که ارتفاع لایهٔ مرزی نسبت‌به چشم‌انداز کم‌ارتفاع و مسطح نیمهٔ شرقی و جنوبی از ارتفاع کمتری برخوردار باشد. توزیع مکانی ارتفاع لایهٔ مرزی در ماه مارس در شکل (۳- ج) مشخص شده است. در این ماه کمترین ارتفاع با ۱۳۰ متر به‌صورت بسیار محدود در نوار ساحلی دریای خزر در گیلان و مازندران و بیشترین ارتفاع لایهٔ مرزی در جنوب شرق ایران به‌خصوص شرق استان کرمان و جنوب سیستان و بلوچستان رخ می‌دهد. در این ماه نیز به مانند دیگر ماه‌های سرد سال، با توجه به ساختاری جغرافیایی و توپوگرافیکی فلات ایران، ارتفاع لایهٔ مرزی به دو بخش کم ارتفاع و ارتفاع بیشتر طبقه‌بندی می‌شود. ارتفاع لایهٔ مرزی از ۲۴۳ تا ۱۱۸۶ متر در نوسان است.



شکل ۳: ارتفاع لایهٔ مرزی (BLH) بر فراز ایران در فصل زمستان، الف) ژانویه، ب) فوریه، ج) مارس

تهیه و ترسیم : مطالعات نگارندگان، ۱۳۹۶

www.SID.ir

Archive of SID

آوریل، می و ژوئن (AMJ)

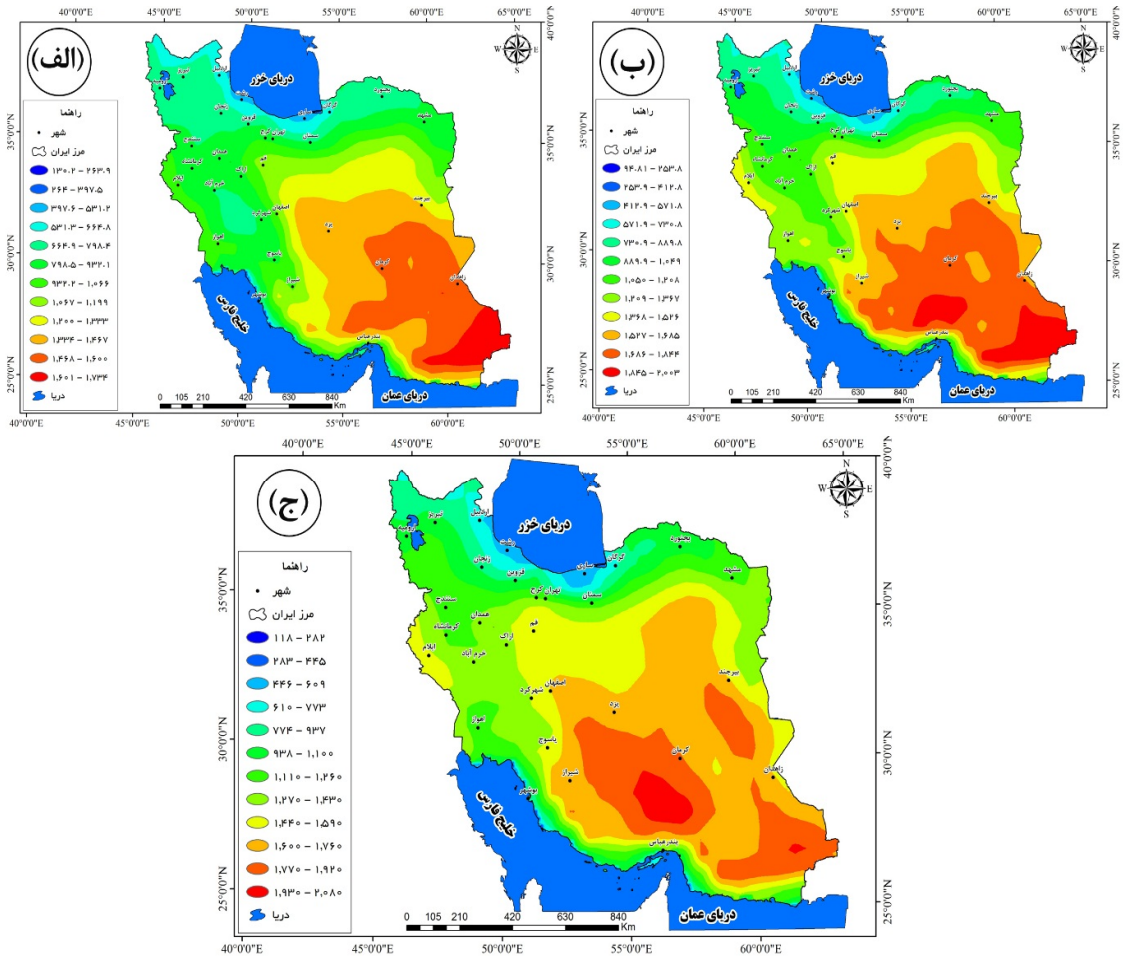
توزیع ارتفاع لایهٔ مرزی در ماه آوریل در شکل (۴-الف) مشخص شده است. متناسب با دِگرش فصلی و شروع فصل بهار، آرایش ارتفاع لایهٔ مرزی نیز تغییر پیدا کرده است. در این ماه نسبت‌به ماه مارس، ارتفاع لایهٔ مرزی ۶۰۰ متر بیشتر شده است. در ماه آوریل کمترین ارتفاع لایهٔ مرزی در مناطق محدودی در نوار ساحلی دریای خزر در وهلهٔ اول و دوم در سواحل خلیج فارس و دریای عمان و مناطق مرتفع زاگرس و شمال غرب مشاهده می‌شود. در مناطق ساحلی به‌دلیل نقش تعدیل‌کنندگی پهنه‌های آبی بر دمای هوا و گنجایش دمایی بالای آب، ارتفاع لایهٔ مرزی در این نواحی کمتر است. بیشینهٔ ارتفاع لایهٔ مرزی در پهنهٔ وسیعی از ایران منطبق بر نواحی مرکزی و جنوب شرقی ایران مشاهده می‌شود. بیشینهٔ ارتفاع لایهٔ مرزی با ۱۷۴۳ متر در نواحی گرم‌تر در مناطق مجاور دریای عمان در جنوب استان سیستان و بلوچستان رخ می‌دهد. از شمال غرب به جنوب شرق به‌تدریج بر ارتفاع لایهٔ مرزی افزوده می‌شود.

آرایش مکانی ارتفاع لایهٔ مرزی در ماه مِی در شکل (۴-ب) مشخص شده است. در این ماه با توجه به افزایش تدریجی دمای هوا و تبعیت ارتفاع لایهٔ مرزی از آهنگ دمای شبانه‌روزی، به‌تدریج بر ارتفاع لایهٔ مرزی افزوده می‌شود. در این ماه بیشینهٔ ارتفاع لایهٔ مرزی در مناطق جنوب شرق و جنوب کشور به بیش از ۲۰۰۰ متر می‌رسد. در این ماه فقط در مناطقی از دامنه‌های البرز شمالی و نوار ساحلی خزر و نوار ساحلی خلیج فارس و دریای عمان و مرزهای شمال غربی کشور، ارتفاع لایهٔ مرزی از ۱۰۰ تا ۴۰۰ متر متغیّر است. در بقیهٔ نقاط به‌تدریج بر ارتفاع لایهٔ مرزی افزوده می‌شود. در این ماه کل کشور به دو پهنهٔ مختلف تقسیم شده است؛ یک پهنه منطبق بر مناطق کوهستانی البرز و زاگرس و خراسان شمالی به‌عنوان چشم‌انداز ناهموار با ارتفاع لایهٔ مرزی از ۷۰۰ تا ۱۲۰۰ متر و پهنهٔ دیگر که بیشترین وسعت را نیز دربرمی‌گیرد، از مناطق کوهپایه‌ای شروع شده و تا مناطق جنوبی می‌رسد که منطبق بر چشم‌اندازی هموار ازنظر جغرافیایی است، ارتفاع لایهٔ مرزی در اینجا از ۱۳۰۰ متر تا ۲۰۰۳ متر در نوسان است. در این ماه با توجه به افزایش تدریجی دمای هوا، کانون بیشترین لایهٔ مرزی از جنوب شرق به‌سمت نواحی جنوبی مرکزی کشیده شده است.

دگرگونی مکانی ارتفاع لایهٔ مرزی ماه ژوئن در سطح کشور در شکل (۴-ج) مشخص شده است. در این ماه فقط نوار بسیار ضعیفی در سواحل خلیج فارس و منطقهٔ نسبتاً ساحلی جلگهٔ خزر و دامنه‌های شمالی البرز، ارتفاع لایهٔ مرزی کمتر است و از حدود ۱۱۸ تا ۷۰۰ متر در نوسان است. با توجه به آهنگ افزایش تدریجی دمای کشور در این ماه نسبت‌به ماه مِی، حدود ۸۰ متر بر ارتفاع لایهٔ مرزی در بالاترین سطح افزوده شده است. هر چقدر از سواحل فاصله گرفته می‌شود، ارتفاع لایهٔ مرزی بیشتر است. نقش تعدیل‌کنندگی آب بر وضعیت لایهٔ مرزی کاملاً آشکار است. در این ماه تقریباً در کل کشور به‌تدریج بر ارتفاع لایهٔ مرزی افزوده می‌شود و کانون مرتفع‌ترین مناطق، به‌سمت نواحی مرکزی و بیابانی گسترش بیشتری یافته است. در شرایط آب و هوایی بری که منطبق بر چشم‌انداز جغرافیایی هموار بیابانی و کویری است، ارتفاع لایهٔ مرزی نیز بیشتر است. برای نمونه در نواحی بیابانی و کویری مرکزی ایران که جزو گرم‌ترین و بری‌ترین رژیم‌های دمایی و آب و هوایی کشور محسوب می‌شوند، در تمام سال ارتفاع لایهٔ مرزی همچنان در سطح بالایی قرار دارد. ازنظر زمانی بیشینهٔ ارتفاع لایهٔ مرزی در ماه ژوئن رخ داده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴: ارتفاع لایهٔ مرزی (BLH) بر فراز ایران در فصل بهار، الف) آوریل، ب) می، ج) ژوئن

تهیه و ترسیم : مطالعات نگارندگان، ۱۳۹۶

جولای، آگوست و سپتامبر (JAS)

توزیع ارتفاع لایهٔ مرزی در ماه جولای در ایران در شکل (۵-الف) مشخص شده است. در این ماه به‌عنوان گرم‌ترین ماه در کشور، تقریباً در کل کشور ارتفاع لایهٔ مرزی به بیش از ۱۲۰۰ متر ارتفاع می‌رسد، در نواحی مرکزی و نیمه‌جنوبی، این ارتفاع لایهٔ مرزی تا ۱۹۵۴ متر نیز مشاهده شد. بررسی و هم‌سنجی توزیع زمانی ارتفاع لایهٔ مرزی تا به اینجا به‌تدریج نشان داد که در ماه‌های گرم و به‌خصوص ماه‌های ژوئن و جولای، متناسب با گسترش پرفشار آزور بر سطح ایران و حاکمیت شرایط گرم و خشک، ارتفاع لایهٔ مرزی به بالاترین سطح می‌رسد. در ماه جولای در نواحی حاشیهٔ دریای خزر، ارتفاع لایهٔ مرزی کمترین ارتفاع را دارد که بین ۱۲۱ تا ۵۰۰ متر است. نواحی حاشیهٔ دریای عمان و خلیج فارس و مناطق مرتفع عرض‌های شمالی نسبت‌به دیگر مناطق ارتفاع لایهٔ مرزی کمتری دارند. در این ماه کانونِ بالاترین ارتفاع لایهٔ مرزی متناسب با افزایش دمای سطح زمین و دمای هوا در ایران زمین، به مناطق جنوبی کرمان کشیده می‌شود. در حالی که این کانون در ماه‌های سرد سال منطبق بر مناطق جنوب شرق کشور بیشتر در حوزهٔ استان سیستان و بلوچستان و کویر لوت بوده است.

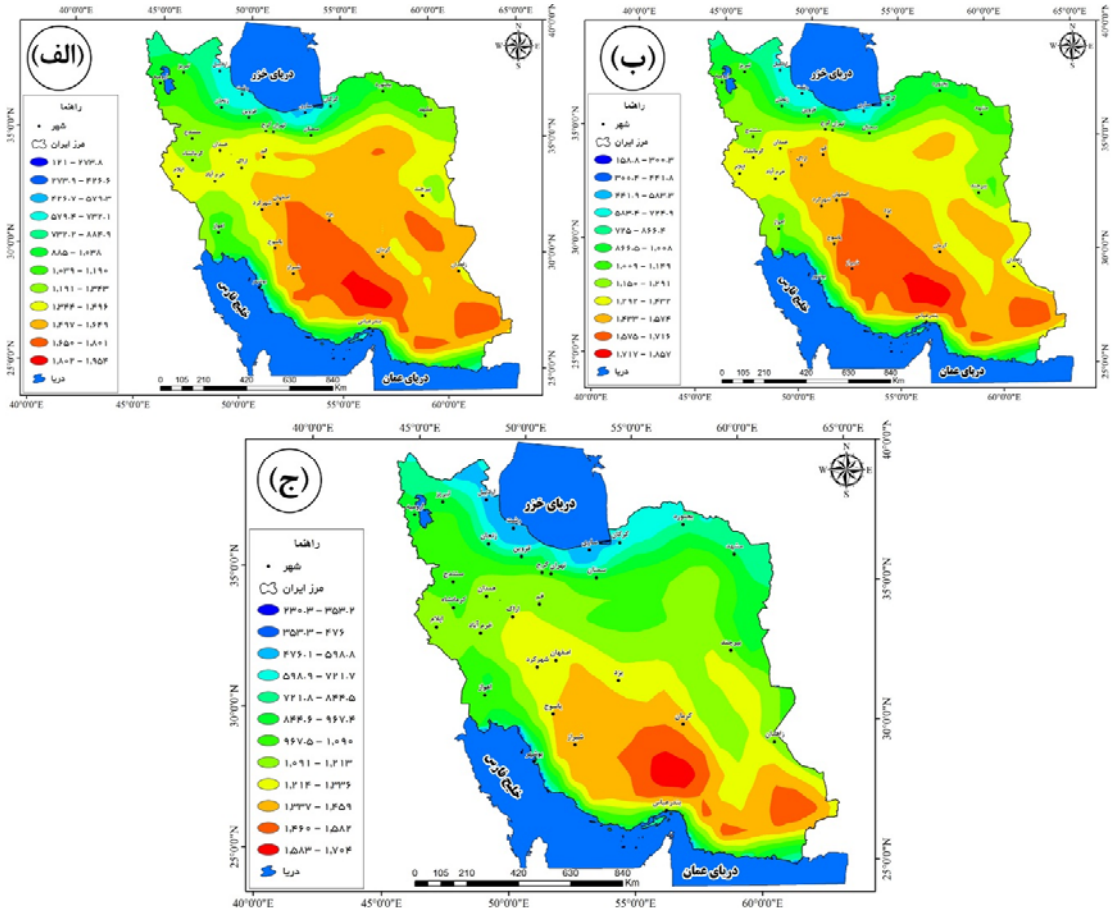
توزیع ارتفاع لایهٔ مرزی در ماه آگوست در شکل (۵-ب) مشخص شده است. همان‌طور که در ماه جولای بیان شد، هر چقدر به ایام گرم سال پیش می‌رویم، کانون بیشینهٔ ارتفاع لایهٔ مرزی از نواحی شرقی و

www.SID.ir

Archive of SID

مرکزی به نیمهٔ غربی نواحی گرم کشور جابه‌جا می‌شود. همچنان نواحی ساحلی شمال کشور و نوار ساحلی جنوب به‌طور محدود کانون ارتفاع کمتر لایهٔ مرزی می‌باشند. در ماه آگوست از بیشینهٔ ارتفاعی لایهٔ مرزی کاسته می‌شود. بیشتر کشور با شرایط حداکثر ارتفاع لایهٔ مرزی همراه است.

توزیع ارتفاع لایهٔ مرزی در ماه سپتامبر در شکل (۵-ج) مشخص شده است. در این ماه روند کاهش ارتفاع لایهٔ مرزی قابل مشاهده است. از گسترهٔ نواحی با ارتفاع لایهٔ مرزی بالاتر کاسته شده و بیشینهٔ ارتفاع لایهٔ مرزی به مناطق جنوبی استان کرمان و شمال هرمزگان جابه‌جا شده است. به‌تدریج از مرزهای شمال غربی و منطقهٔ مجاور دریای خزر، ارتفاع لایهٔ مرزی کاهش چشمگیری می‌یابد. در بخش اعظمی از کشور، ارتفاع لایهٔ مرزی ۷۰۰ تا ۱۲۰۰ متر و در دیگر مناطق، ۱۲۰۰ تا ۱۷۰۰ متر ارتفاع دارد که منطبق‌بر نواحی جنوبی و کویری است.



شکل ۵: ارتفاع لایهٔ مرزی (BLH) بر فراز ایران در فصل تابستان، الف) ژولای، ب) آگوست، ج) سپتامبر

تهیه و ترسیم: مطالعات نگارندگان، ۱۳۹۶

اکتبر، نوامبر و دسامبر (OND)

توزیع ارتفاع لایهٔ مرزی در ماه اکتبر در شکل (۶-الف) مشخص شده است. با گذار فصلی و کاهش تدریجی دمای هوا به‌تدریج از عرض‌های شمالی بر محدودهٔ لایهٔ مرزی با ارتفاع کمتر افزوده می‌شود. مناطق عرض‌های شمال غربی و منطقهٔ ساحلی خزر در دامنه‌های شمالی البرز، کانون کمترین ارتفاع لایهٔ مرزی هستند، درواقع کاهش دمای هوا در این نواحی

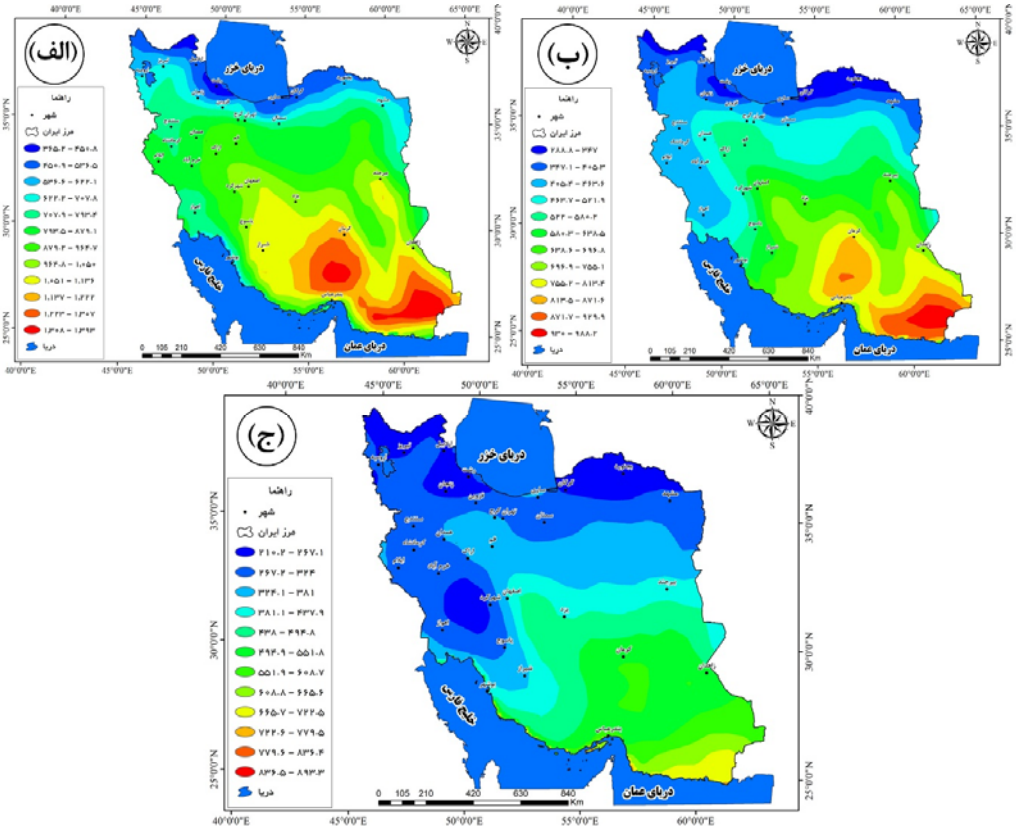
www.SID.ir

Archive of SID

زودتر از دیگر مناطق آغاز می‌شود. با توجه به آغاز و گسترش هوای سرد از عرض‌های شمالی، بیشینهٔ ارتفاع لایهٔ مرزی محدودتر شده و به مناطق جنوب شرق جابه‌جا می‌شود. در بیشتر گسترهٔ ایران، آرایش ارتفاع لایهٔ مرزی از مناطق با عرض‌های بالاتر با ارتفاع ۷۰۰ متر شروع شده و به‌تدریج با روندی افزایشی به ۱۳۰۰ متر در مناطق جنوبی و جنوب شرقی می‌رسد.

دگرگونی ارتفاع لایهٔ مرزی ماه نوامبر در (۶- ب) مشخص شده است. در این ماه با سرمایش بیشتر سطح زمین و دمای هوا، از عرض‌های شمالی به‌تدریج ارتفاع لایهٔ مرزی کاهش یافته و بر گسترهٔ آن افزوده می‌شود. ارتفاع لایهٔ مرزی با توجه به کاهش ارتفاع هواسپهر در عرض‌های شمالی به‌دلیل نفوذ تودهٔ هواهای سرد و همچنین وضعیت ناهمواری‌ها، بیشتر در منطقهٔ جنوب شرق مشاهده می‌شود. کمترین ارتفاع لایهٔ مرزی در این ماه در مناطق شمال شرق، شمال و شمال غرب با ارتفاعی برابر با ۲۸۸ تا ۳۴۷ متر رخ می‌دهد. به‌تدریج به‌سمت عرض‌های پایین‌تر از ارتفاع لایهٔ مرزی کاسته می‌شود. در این ماه فقط منطقهٔ جنوب شرق به‌خصوص جنوب استان سیستان و بلوچستان بیشترین ارتفاع لایهٔ مرزی را دارد.

توزیع ارتفاع لایهٔ مرزی در ماه دسامبر در شکل (۶- ج) مشخص شده است. در ماه دسامبر به‌عنوان یکی از سردترین ماه‌های سال، ارتفاع لایهٔ مرزی در بیشتر کشور به کمترین ارتفاع می‌رسد. در این ماه فقط منطقهٔ مجاور دریای عمان در پسکرانهٔ جنوب شرقی ایران ارتفاع آن به ۸۹۳ متر می‌رسد، در واقع در این منطقه از کشور بالاترین ارتفاع لایهٔ مرزی رخ می‌دهد. کمترین ارتفاع لایهٔ مرزی منطبق بر نواحی کوهستانی و عرض‌های شمالی است. از جنوب به شمال، از ارتفاع لایهٔ مرزی کاسته می‌شود.



شکل ۶: ارتفاع لایهٔ مرزی (BLH) بر فراز ایران در فصل پاییز، الف) اکتبر، ب) نوامبر، ج) دسامبر

تهیه و ترسیم: مطالعات نگارندگان، ۱۳۹۶

www.SID.ir

Archive of SID

دگرگونی زمانی- مکانی ارتفاع لایهٔ مرزی در نوشتار حاضر بررسی شد. ارتفاع لایهٔ مرزی یکی از بخش‌های مهم در مطالعات آب و هوایی محسوب می‌شود. لایهٔ مرزی به‌عنوان لایه‌ای از هواسپهر است که حیات بشری به آن وابسته است. نتایج پردازش‌ها بر مبنای آمار بلندمدت نشان داد که آرایش مکانی ارتفاع لایهٔ مرزی به‌شدت متأثر از وضعیت جغرافیایی و توپوگرافیکی ایران است. درواقع دگرگونی گرمایشی و آهنگ تغییرات آن متناسب با چرخهٔ شبانه‌روزی، وضعیت ارتفاع لایهٔ مرزی را مشخص می‌کند. ارتفاع لایهٔ مرزی در ماه‌های سرد سال به کم‌ترین ارتفاع خود می‌رسد. ازنظر مکانی کمترین ارتفاع لایهٔ مرزی منطبق بر چشم‌انداز نواحی مرتفع رشته کوه‌های زاگرس و البرز و عرض‌های شمالی کشور مشاهده شد. با توجه به تغییر چشم‌انداز گسترهٔ کشور از شمال به جنوب ایران، بر ارتفاع لایهٔ مرزی افزوده می‌شود. در منطقهٔ جنوب شرق ایران کانون بیشترین ارتفاع لایهٔ مرزی رخ می‌دهد. در فصول زمستان، بهار و پاییز کانون بیشینهٔ ارتفاع لایهٔ مرزی در نواحی جنوب شرق مشاهده شد. در فصل تابستان کانون ارتفاع بالای مرزی به نیمهٔ جنوبی و از شرق به غرب جابه‌جا می‌شود. وردایی رفتاری ارتفاع لایهٔ مرزی از عرض جغرافیایی و دگرگونی چشم‌انداز طبیعی منطقه تبعیت می‌کند. در تمام ماه‌های سال از شمال غرب به جنوب شرق ارتفاع لایهٔ مرزی افزایش پیدا می‌کند.

مشخص شد که لایهٔ مرزی یک بخش مهمی در مطالعات آب و هوایی محسوب می‌شود. این بخش از هواسپهر پایینی به‌دلیل نزدیکی به سطح زمین به‌شدت تأثیرپذیر است و شرایط جغرافیایی و ویژگی‌های سطح زمین بر روی آن کارایی بسزایی می‌گذارد. آنچه در این نوشتار بیشتر قابل بحث است، اثرات توپوگرافیکی است که در منابع به‌عنوان اثرات جغرافیایی نیز بیان می‌شود. الگوی تغییرات زمانی- مکانی لایهٔ مرزی در ایران بسیار تأثیرگذار است. متناسب با تغییرات فصلی در اثر حرکت انتقالی زمین و جابه‌جایی فصول و پیدایش سرماها و گرماها، تغییرات زمانی ارتفاع لایهٔ مرزی نیز قابل مشاهده است. درواقع آهنگ دگرگونی فصول متناسب با گردش محور زمین و تغییرات تابش خورشید، وضعیت ارتفاع لایهٔ مرزی متناسب با میزان گرمایش دریافتی در روز تغییر می‌یابد؛ بنابراین وردایی زمانی ارتفاع لایهٔ مرزی بیشتر به دگرگونی فصلی و وضعیت تابش دریافتی بستگی دارد. آرایش و وردایی مکانی ارتفاع لایهٔ مرزی در سازوکاری ترکیبی از اثرات جغرافیایی یا وضعیت توپوگرافیکی تأثیر می‌پذیرد. در الگوی فضایی ارتفاع لایهٔ مرزی از شمال به جنوب و از غرب به شرق کشور متناسب با کاهش ارتفاع و تغییر چشم‌انداز سطوح ناهموار به هموار در سطح زمین، میزان ارتفاع لایهٔ مرزی نیز افزایش می‌یابد. در ایام سرد سال با توجه به ضخامت کم هواسپهر، ارتفاع لایهٔ مرزی نیز کمتر از دیگر فصول بوده و کانون کمترین ارتفاع لایهٔ مرزی در مناطق مرتفع ناهموار غرب و شمال کشور و بیشترین ارتفاع در مناطق مرکزی و جنوب شرقی رخ می‌دهد. از فصل بهار با آهنگ دگرگونی فصلی، سازوکار ارتفاع لایهٔ مرزی نیز تغییر یافته و بیشتر ایران میزان ارتفاع لایهٔ مرزی میل به افزایش نشان می‌دهد. در ماه‌های فصل گرم فقط نواحی عرض‌های بسیار بالا و مجاور دریا از ضخامت کمتری برخوردار هستند. در مناطق ساحلی و نزدیک دریا به‌دلیل نقش تعدیل‌کنندگی دریا بر روی تابش دریافتی و دمای هوا و تفاوت گنجایشی و ظرفیت گرمایی آب در جذب تابش، همیشه ارتفاع لایهٔ مرزی کمتر است.

نوسانات جغرافیایی می‌تواند جریان لایهٔ مرزی را تغییر دهد و در بعضی موارد چرخش‌هایی در ارتباط با چرخه‌های گرمایی شبانه‌روزی تولید شود. تمام جریانات و تکانه‌های متأثر از شرایط جغرافیایی، هموار و ناهموار هستند. بادهای سطح زمین، بادهای کوه به درّه و برعکس و نسیم‌ها همگی نشان‌دهندهٔ

www.SID.ir

Archive of SID

اثرپذیری آن‌ها از شرایط جغرافیایی است. شرایط جغرافیایی هر منطقه با دگرگونی وضعیت میزان تابش دریافتی و برگشتی ازطریق سطوح ناهموار و زاویهٔ تابش، موجب دگرگونی در چرخهٔ گرمایش و سرمایشی دمایی می‌شود که به تناسب آن نیز ارتفاع لایهٔ مرزی در زمان و فضا تغییر پیدا می‌کند.

به‌طور کلی، در ایران در ماه‌های ژانویه و ژوئن به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین ارتفاع لایهٔ مرزی مشاهده می‌شود. در طول سال بیشینهٔ ارتفاع یا ارتفاع لایهٔ مرزی بر نواحی بیابانی و کویری مرکزی و جنوب شرقی و جنوبی ایران منطبق است. تغییرات زمانی لایهٔ مرزی از آهنگ تغییرات فصلی و چرخهٔ شبانه‌روزی تأثیر بالایی می‌پذیرد. آرایش فضایی ارتفاع لایهٔ مرزی از وضعیت توپوگرافیکی و وضعیت سطح زمین ازنظر مورفولوژی به‌شدت تأثیر می‌پذیرد. متناسب با وضعیت جغرافیایی و توپوگرافیکی ایران، از شمال به جنوب و از غرب به شرق بر ضخامت لایهٔ مرزی افزوده می‌شود. براساس برونداد پایگاه دادهٔ مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخهٔ ERA Interim حداکثر ارتفاع لایهٔ مرزی در ایران در ماه ژوئن تا ۲۰۰۳ متر رخ می‌دهد و در کمترین حالت ارتفاع لایهٔ مرزی در ماه‌های سرد به ۱۷۴ متر در مناطق سردسیر و مرتفع مشاهده شد؛ بنابراین ساختار دمایی ایران متناسب با وضعیت جغرافیایی و توپوگرافیکی، الگوی زمانی- مکانی ضخامت لایهٔ مرزی در ایران را مشخص می‌کند.

نتیجه

در این پژوهش دگرگونی زمانی- مکانی ارتفاع لایهٔ مرزی (BLH) در گسترهٔ ایران‌زمین از دیدگاه آب و هواشناسی براساس داده‌های بلندمدت (۲۰۱۵-۱۹۷۹) مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخهٔ ERA-Interim با تفکیک مکانی ۰/۱۲۵×۰/۱۲۵ درجه قوسی مورد واکاوی قرار گرفته است. از نظر زمانی بیشینهٔ ارتفاع لایهٔ مرزی در ماه ژوئن و کمینهٔ ارتفاع لایهٔ مرزی در ماه ژانویه رخ می‌دهد. تغییرات زمانی لایهٔ مرزی از آهنگ تغییرات فصلی و چرخهٔ شبانه‌روزی تأثیر بالایی می‌پذیرد. الگوی تغییرات زمانی ارتفاع لایهٔ مرزی متأثر از وضعیت گرمایش هوا و سطح زمین در فصول مختلف و وضعیت ارتفاعات و ناهمواری‌های منطقه است. در ایام سرد ارتفاع لایهٔ مرزی کمتر و در ایام گرم برعکس بیشتر می‌شود. دمای هوا می‌تواند عامل اصلی در دگرگونی ارتفاع لایهٔ مرزی محسوب شود. هر چقدر گرمایش سطحی بیشتر باشد، ارتفاع لایهٔ مرزی بیشتر است؛ بنابراین بین دمای هوا و ضخامت لایهٔ مرزی ارتباط مستقیمی وجود دارد.

الگوی دگرگونی فضایی ارتفاع لایهٔ مرزی در ماه‌های سرد سال منسجم‌تر از ماه‌های گرم سال است. مناطق ساحلی و مجاور دریا به‌دلیل نقش تعدیل‌کنندگی دریا در وضعیت دمای هوا، همواره کمترین ارتفاع لایهٔ مرزی را دارند. ازنظر آرایش مکانی، نواحی مرتفع و ناهموار زاگرس و نواحی ساحلی دارای کمترین ارتفاع لایهٔ مرزی و مناطق بیابانی نواحی داخلی به‌خصوص جنوب شرق ایران، ارتفاع لایهٔ مرزی در بالاترین سطح قرار دارد. در ماه‌های سرد سال بیشینهٔ ارتفاع لایهٔ مرزی در نواحی جنوب شرق ایران و در ایام گرم سال به‌خصوص ماه‌های ژوئن و جولای به منطقهٔ غربی و جنوب کرمان و شمال استان هرمزگان کشیده می‌شود. در تمام سال مناطق مجاور دریا به‌دلیل نقش تعدیل‌کنندگی دریا، کانون کم‌ترین ارتفاع لایهٔ مرزی می‌باشند. در ماه‌های اواسط فصل بهار تا اواسط تابستان، ارتفاع لایهٔ مرزی بیش‌ترین ارتفاع را دارد. از غرب به شرق و از شمال به جنوب بر ارتفاع لایهٔ مرزی افزوده می‌شود. کانون بیشینهٔ ارتفاع لایهٔ مرزی منطبق بر نواحی بری و بیابانی و کویری که از رژیم دمایی گرم و خشک برخوردار است، منطبق می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

دگرگونی‌های زمانی- مکانی ارتفاع لایهٔ مرزی بر فراز ایران، کارایی حیاتی در الگوهای گردشی پایین هواسپهر و همچنین الگوهای قائم آن را دارد. براساس فرایندهای فیزیکی غالب، دو رژیم ارتفاع لایهٔ مرزی برای کشور قابل شناسایی است: ۱- مناطق ساحلی که لایهٔ مرزی پایداری را به‌نسبت مناطق خشک داخلی ارائه داده‌اند؛ ۲- لایهٔ مرزی مناطق بیابانی داخلی که ناپایداری بالایی دارند. این رژیم‌ها مناطق وسیع جغرافیایی را به خود اختصاص داده‌اند. رانش شناور محلی و کنترل ثبات ایستایی عمق لایهٔ مرزی در مناطق مجاور ساحلی را می‌توان به شار جرمی این مناطق نسبت داد. از آنجایی که یک لایهٔ مرزی در تودهٔ هوای پیش‌رونده و پشت جبهه تشکیل می‌شود نتایج این مطالعه و همچنین مطالعات آتی می‌تواند به درک درستی از توده‌ها و جبهه‌ها منتهی شود. همان‌طور که فلاح قالهری (۱۳۹۳) ابراز داشته است، بیشتر واداشت‌های همدید و طوفان‌های مرتبط با کم‌فشارها به‌قدری قوی هستند که به‌آسانی می‌توانند وارونگی پوششی را بالا برده یا کل آن را حذف کنند. این حالت می‌تواند منجر به مخلوط‌شدن هوای لایهٔ مرزی از طریق طوفان‌های تندری و ابرهای دیگر در کل عمق وردسپهر شود؛ ازاین‌رو شناخت درست لایهٔ مرزی و دگرگونی‌های قائم آن -که پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های بعدی به آن اهتمام ورزیده شود- می‌تواند منجر به شناسایی مناطق مستعد توفان‌های تندری شود. وان انن و تکشاران (۲۰۱۳) در بخشی از پژوهش خود ابراز داشته‌اند که نواحی استقرار ITCZ (کمربند همگرایی بین حاره ای) ارتفاع لایهٔ مرزی بیشینه است. در ایران زمانی که کمربند همگرایی بین حارهٔ مناطق جنوب شرق را تحت‌تأثیر خود قرار می‌دهد، بخش‌هایی از این نواحی به‌ویژه در محدودهٔ دریای عمان تحت‌تأثیر سامانهٔ ITCZ قرار می‌گیرند که تأثیر آن را می‌توان در دگرگونی ارتفاع لایهٔ مرزی دید. در مناطق ساحلی شمال و برخی از مناطق ساحلی جنوب به‌خصوص در خلیج فارس که تحت‌تأثیر ابرناکی هستند، ارتفاع لایهٔ مرزی پایین است. این مقادیر کم با ماهیت پایدار این ابرها (ساختار ترمودینامیکی مرتبط با نوع ابر) در ارتباط است؛ به‌طوری که در مناطقی که ابرهای کومه‌ایی[1] به‌دلیل عمیق‌تر بودن نسبت‌به ابرهای پوشن‌کومه‌ای[2] (ابرهای نیمه‌عمیق) حاکم هستند، باید شاهد عمق کمتر لایهٔ مرزی از یک طرف و دگرگونی کمتر فصلی و حتی روزانهٔ آن از طرف دیگر بود. این امر را می‌توان به‌راحتی در دگرگونی ماهیانهٔ ارتفاع لایهٔ مرزی در مقایسه با مناطق ساحلی شمال و جنوب کشور دید.

براساس نتایج نوشتار حاضر، عامل اصلی دگرگونی زمانی- مکانی ارتفاع لایهٔ مرزی (BLH)، گرمایش و سرمایش سطح زمین و مؤلفه‌های مکانی و توپوگرافیکی در سطح زمین است. نتایج و دستاوردهای این تحقیق در آگاهی‌بخشی در امور هواسپهر و به‌خصوص هوانوردی و برنامه‌ریزی کیفیت هوا و مدیریت آلودگی‌های هوایی حائز اهمیت است. نتایج مطالعهٔ حاضر، مطالعهٔ وان انن و تکشاران (۲۰۱۳) را مبنی‌بر اینکه بالاترین ارتفاع لایهٔ مرزی در مناطق بری و بیابانی در طول روز رخ می‌دهد، تایید می‌کند. به‌طوری که در طول سال در ایران همیشه مناطق بیابانی جنوب شرق و مرکز، بالاترین ارتفاع لایهٔ مرزی را داشته‌اند.

1-Cumulus
2-Stratocumulus

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

- دارند، محمد؛ سوما زندکریمی (۱۳۹۴). واکاوی سنجش دقت زمانی- مکانی بارش پایگاه دادهٔ مرکز پیش‌بینی میان‌مدت جوّی اروپایی (ECMWF) بر روی ایران زمین، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. دورهٔ ۴۷. شمارهٔ ۴. صفحات ۶۷۵-۶۵۱.
- فلاح قالهری، غلامعباس(۱۳۹۳).آب و هوای لایهٔمرزی، انتشارات دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ۴۰۳ص.
- Ahlgrimm, M., & Forbes, R. (2014). Improving the representation of low clouds and drizzle in the ECMWF model based on ARM observations from the Azores. Monthly Weather Review, 142(2), 668-685.
- Ahlgrimm, M., & Randall, D. A. (2006). Diagnosing monthly mean boundary layer properties from reanalysis data using a bulk boundary layer model. Journal of the atmospheric sciences, 63(3), 998-1012.
- Baklanov, A., Mestayer, P. G., Clappier, A., Zilitinkevich, S., Joffre, S., Mahura, A., & Nielsen, N. W. (2008). Towards improving the simulation of meteorological fields in urban areas through updated/advanced surface fluxes description. Atmospheric Chemistry and Physics, 8(3), 523-543.
- Barlow, J. F. (2014). Progress in observing and modelling the urban boundary layer. Urban Climate, 10, 216-240.
- Chemel, C., & Sokhi, R. S. (2012). Response of London's urban heat island to a marine air intrusion in an easterly wind regime. Boundary-layer meteorology, 144(1), 65-81.
- Du, C., Liu, S., Yu, X., Li, X., Chen, C., Peng, Y.,& Wang, F. (2013). Urban boundary layer height characteristics and relationship with particulate matter mass concentrations in Xi'an, central China.Aerosol Air Qual Res,13,1598-1607.
- Dupont, J. C., Haeffelin, M., Badosa, J., Elias, T., Favez, O., Petit, J. E., ... & Bonne, J. L. (2016). Role of the boundary layer dynamics effects on an extreme air pollution event in Paris. Atmospheric Environment, 141, 571-579.
- Guo, J., Miao, Y., Zhang, Y., Liu, H., Li, Z., Zhang, W., ... & Zhai, P. (2016). The climatology of planetary boundary layer height in China derived from radiosonde and reanalysis data. Atmos. Chem. Phys, 16(20), 13-309.
- Jiang, Q., Doyle, J. D., & Smith, R. B. (2006). Interaction between trapped waves and boundary layers. Journal of the atmospheric sciences, 63(2), 617-633.
- Jiang, Q., Smith, R. B., & Doyle, J. D. (2008). Impact of the atmospheric boundary layer on mountain waves. Journal of the Atmospheric Sciences, 65(2), 592-608.
- Köhler, M., Ahlgrimm, M., & Beljaars, A. (2011). Unified treatment of dry convective and stratocumulus-topped boundary layers in the ECMWF model. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 137(654), 43-57.
- Letzel, M. O., & Raasch, S. (2003). Large eddy simulation of thermally induced oscillations in the convective boundary layer. Journal of the atmospheric sciences, 60(18), 2328-2341.
- Liu, J., Huang, J., Chen, B., Zhou, T., Yan, H., Jin, H., ... & Zhang, B. (2015). Comparisons of PBL heights derived from CALIPSO and ECMWF reanalysis data over China. Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, 153, 102-112.
- Liu, S., & Liang, X. Z. (2010). Observed diurnal cycle climatology of planetary boundary layer height. Journal of Climate, 23(21), 5790-5809.
- Sarkar, A., & De Ridder, K. (2011). The urban heat island intensity of Paris: a case study based on a simple urban surface parametrization. Boundary-layer meteorology, 138(3), 511-520.
- Scorer, R. S. (1949). Theory of waves in the lee of mountains. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 75(323), 41-56.
- Seidel, D. J., Ao, C. O., & Li, K. (2010). Estimating climatological planetary boundary layer heights from radiosonde observations: Comparison of methods and uncertainty analysis. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 115(D16).
- Simmons, A. J., Willett, K. M., Jones, P. D., Thorne, P. W,&Dee,D.P (2010). Low-frequency variations in surface atmospheric humidity, temperature, and precipitation: Inferences from reanalyses and monthly gridded observational data sets. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 115 (D1).
- Smith, C. M., & Skyllingstad, E. D. (2009). Investigation of upstream boundary layer influence on mountain wave breaking and lee wave rotors using a large-eddy simulation. Journal of the Atmospheric Sciences, 66(10), 3147-3164.

www.SID.ir

Archive of SID

- Smith, R. B. (2007). Interacting mountain waves and boundary layers. Journal of the atmospheric sciences, 64(2), 594-607.
- Stull, R. B. (2012). An introduction to boundary layer meteorology (Vol. 13). Springer Science & Business Media. Van Dam, B., Helmig, D., Neff, W,& Kramer, L. (2013). Evaluation of boundary layer depth estimates at Summit Station, Greenland. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 52(10), 2356-2362.
- Von Engeln, A., & Teixeira, J. (2004). A ducting climatology derived from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts global analysis fields. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 109 (D18).
- Von Engeln, A., & Teixeira, J. (2013). A planetary boundary layer height climatology derived from ECMWF reanalysis data. Journal of Climate, 26(17), 6575-6590.
- Wouters, H., Ridder, K. D., Demuzere, M., Lauwaet, D., & van Lipzig, N. P. M. (2013). The diurnal evolution of the urban heat island of Paris: a model-based case study during summer 2006. Atmospheric Chemistry and Physics, 13(17), 8525-8541.
- Zhang, Y., Seidel, D. J., & Zhang, S. (2013). Trends in planetary boundary layer height over Europe. Journal of Climate, 26(24), 10071-10076.

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir