

## بررسی الگوهای همدیدی وارونگی دما در شهرستان تبریز با استفاده از تحلیل مولفه‌های اصلی

علی محمد خورشید دوست<sup>۱</sup>  
حبیبه نقی زاده<sup>۲</sup>  
رشید سعیدآبادی<sup>۳</sup>  
محمد سعید نجفی<sup>۴</sup>

### چکیده

در این تحقیق، به بررسی الگوهای سینوپتیکی حاکم بر وارونگی دمای شهر تبریز با استفاده از اطلاعات رادیوسوند، طی دوره زمانی ۲۰۱۰-۲۰۰۱ پرداخته شد. برای شناسایی و استخراج الگوهای همدید، از داده‌های رقومی فشار تراز دریا به صورت میانگین روزانه از سری داده‌های بازکاوی شده NCEP/NCAR در محدوده ۱۰ تا ۶۰ درجه طول شرقی و ۱۰ تا ۹۰ درجه عرض شمالی در ۶۵۱ یاخته  $۲,۵ \times ۲,۵$  درجه استفاده گردید. با انجام تحلیل مؤلفه‌های مبنا بر روی داده‌های فشار تراز دریا در روزهای همراه با وارونگی دما، حجم آنها را کاهش داده و با انجام تحلیل خوشه‌ای بر روی مؤلفه‌های به دست آمده، مهم‌ترین الگوهای جوی شناسایی شدند و نقشه هر الگو به دست آمد. بر اساس نتایج چهار الگوی همدید اصلی در ایجاد وارونگی دما در شهرستان تبریز مؤثرند. در بیشتر الگوها، سامانه‌های پرفشار حاکم بوده است. در این الگوها هوای سرد به سبب حضور سامانه‌های

۱- دانشیار اقلیم شناسی، دانشگاه تبریز، گروه جغرافیای طبیعی

۲- دانشجوی دکترای اقلیم شناسی، دانشگاه تبریز، گروه جغرافیای طبیعی (نویسنده مسئول)  
Email: Hnaghizade89@gmail.com-Tel:09148836797

۳- استادیار اقلیم شناسی، دانشگاه ارومیه، گروه جغرافیای طبیعی.

۴- دانشجوی دکترای اقلیم شناسی، دانشگاه تبریز، گروه جغرافیای طبیعی.

پرفشار در سطح زمین به روی منطقه گسترش یافته، با استقرار سمت چپ یک ناوه عمیق بر روی منطقه؛ هوای سرد پشت آن از عرض‌های بالاتر بر روی تبریز فرارفت شده و پایداری شدیدی در ستون قائم جو ایجاد شده است. در الگوهایی که کم‌فشار شمالی به همراه پرفشار مهاجر اروپا عامل فرافت هوای سرد به روی منطقه بوده است، هوای گرم عرض‌های پایین‌تر با استیلای یک پشته عمیق به روی منطقه بر روی هوای سرد سطح زمین قرار گرفته؛ به این ترتیب بر شدت پایداری هوای مجاور سطح زمین افزوده شده و وارونگی‌های شدید دمایی شکل گرفته است.

**واژگان کلیدی:** الگوی هوا، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، خوشه‌بندی، وارونگی دما، تبریز.

## مقدمه

یکی از مسائل مهمی که امروز در حیطه علم اقلیم‌شناسی مطرح می‌شود، مسئله آلودگی هوا و ارتباط آن با سیستم‌های جوی است. جو اطراف سیاره زمین از گازهایی تشکیل شده است که به نام گازهای ثابت جو نامیده می‌شوند. انسان و همه جانداران به این ترکیب جو عادت و خود را با آن انطباق داده‌اند. هرگونه تغییری در کیفیت و کمیت این عناصر به عنوان آلودگی جو تلقی می‌شود (لشکری، ۱۳۸۴، ۶۵). لذا از آنجا که عامل عمده تمام تغییرات ویژگی‌های محیط زیست انسانی، تغییرات فشار جو است، بنابراین در هر نوع مطالعه مسایل محیطی وابسته به اقلیم، اولین مرحله، شناسایی تیپ‌های هواست. الگوهای گردشی و اچرخندی، چه در سطح زمین و چه در لایه‌های بالایی جو، هوای آفتابی ایجاد کرده و منجر به پدید آمدن وارونگی دمایی و در پی آن آلودگی هوا به ویژه در شهرهای پرجمعیت و صنعتی می‌شود. در فصل زمستان که این وارونگیها قویتر هستند، هوای گرم روی هوای سرد مانند یک درپوش که مانع از اختلاط هوا می‌شود، عمل می‌کند. بدین ترتیب مناطق شهری از پتانسیل قوی برای روبرو شدن با مشکلات جدی آلودگی هوا به عنوان نتیجه ترکیبی تهویه محدود هوا و انتشار آلاینده‌ها از بالا برخوردارند (رندون<sup>۱</sup> و دیگران، ۲۰۱۴).

<sup>۱</sup>. Rendón



جو در شرایط وارونگی دما با حداقل اختلاط هوا و شرایط پایدار همراه است، بنابراین بالاترین تراکم در جهت باد، از منبع منتشر کننده گسترش پیدا می‌کند (تیسزل<sup>۱</sup>، ۲۰۰۰؛ ۷).

وارونگی‌های دمایی در طول شب که زمین سردتر می‌شود شروع شده و در اوایل صبح با تابش خورشید از بین می‌روند (بیکوک<sup>۲</sup>، ۱۹۹۴؛ ۳). بر اساس پژوهش فریتز<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۱، ۹) در هر زمانی از شبانه‌روز، شرایط هوا با توجه به پارامترهای دما و باد به دسته‌های ناپایدار، طبیعی، پایدار و خیلی پایدار طبقه بندی می‌شود. در شرایطی که هوا پایدار باشد و ارتفاع لایه وارونگی دما هم پایین باشد، آلاینده‌های شهری داخل شهر متراکم شده و غلظت آلودگی را بالا می‌برند (علیجانی، ۱۳۸۸؛ ۲). گاز منواکسید کربن گازی است که با جهت و سرعت باد همبستگی منفی و غلظت آن با شدت وارونگی دما رابطه مستقیم دارد، بدین معنا که با تشدید وارونگی، غلظت آن نیز افزایش می‌یابد (دلجو، ۱۳۷۹).

آمار موجود از وارونگی‌های فصل زمستان این منطقه نشان از همبستگی قوی آنها با نوسانات شمالگان و کثرت وقوع آنها در سال‌های سرد دارد. دلیل افزایش وارونگی‌ها در این فصل را می‌توان سردی هوا و تشعشعات ناشی از برف (شرایط جوی پایدار) و ورود آلاینده‌های جوی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی دانست (قویدل، خوشحال دستجردی؛ ۱۳۸۹).

### پیشینه تحقیق

از جمله مطالعاتی که در این زمینه صورت گرفته است، می‌توان به کار لارنس<sup>۴</sup> و همکاران (۱۹۸۶؛ ۲۱-۵۱) اشاره کرد که به تحلیل شرایط همدید مؤثر بر تمرکز دی‌اکسید سولفور در فرودگاه ویلمینگتون واشنگتن پرداخته‌اند. نتایج این مطالعه نشان داد که با استفاده از روش‌های همدید می‌توان به نتایج قابل قبولی برای تعیین غلظت دی‌اکسید سولفور دست یافت. لذا روش‌های سینوپتیکی با استفاده از تحلیل مولفه‌های اصلی و روش

<sup>1</sup> thistle

<sup>2</sup> Beychok

<sup>3</sup> Fritz

<sup>4</sup> Laurence

تحلیل خوشه‌ای دارای اطلاعات مفیدتری بودند. فیلت‌پات<sup>۱</sup> و زیلمن<sup>۲</sup> (۲۰۱۲) به مطالعه مقطع عمودی دما در سراسر هزار متر اول بر روی ۲۲ ایستگاه در جنوبگان به دو صورت روزانه و ماهانه پرداختند. نتایج آنها همبستگی منفی بین شدت اینورژن و دمای هوای سطحی را آشکار کرد. بیلی<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۲، ۱) برای بررسی کیفیت هوا در ۶ ایستگاه جنوب غرب امریکا با بهره‌گیری از اطلاعات GTS<sup>۴</sup>، از سطوح مختلف معنی‌داری استفاده کرده و نشان دادند که وارونگی‌های بالاتر از سطح زمین در شدت و فرکانس در چهار ایستگاه از شش ایستگاه انتخابی، افزایش یافته و در مقابل کاهش قابل توجهی در ضعف وارونگی‌ها مشاهده شده است. آنها با استخراج بیست و چهار الگوی گردشی جو در ارتباط با وارونگی‌های ایالات متحده به این نتیجه رسیدند که فعالیت وارونگی در بیشتر ایستگاه‌ها مطابقت خوبی با سیستم‌واچرندی دارد. ساگی موتو<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۲، ۱) برای بررسی نقش اینورژن در هوکایدو، الگوهایی مؤثر بر وقوع این پدیده را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که لایه کم‌عمق مه با یک لایه قوی وارونگی دما در روزهای مه‌آلود پوشیده شده است، در حالی که لایه وارونگی در روزهای غیر مه‌آلود وجود ندارد. بی‌نظمی‌های گردشی در کوشیرو در روزهای با مه ضعیف حاصل از یک الگوی پرفشار تقویت شده و انباشتی جنوب‌سوی مرکز فشار آرام شمالی در ماه‌های ژوئیه و آگوست است که این الگوهای گردشی بی‌نظم موجب ضعف در بادهای جنوب‌شرقی-جنوبی می‌شوند که آن‌ها هم به نوبه خود فرارفت مه دریا در طی ساحل کوشیرو را کاهش می‌دهند و شکل‌گیری یک چینه‌بندی پایدار روی لایه مه-دریا غالب می‌شود. انز<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۴، ۱) ضمن بررسی شرایط و ویژگی‌های این پدیده، اثرات منفی آنرا در امر کشاورزی مطالعه نمودند و دریافتند که شرایط آب و هوایی با حاکمیت وارونگی دما، بدترین شرایط برای انجام سمپاشی و آفت‌کشی

---

<sup>1</sup> Philpot

<sup>2</sup> Zillman

<sup>3</sup> Bailey

<sup>4</sup> Global Telecommunication System

<sup>5</sup> Sugimoto

<sup>6</sup> Enz

محصولات کشاورزی است زیرا قطرات ریز محبوس در لایه وارونه مانع از رسیدن سموم به محصولات شده و آن را از هدف دور می‌کند.

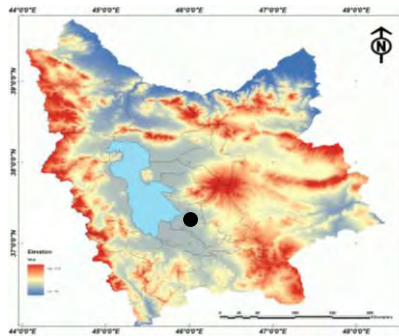
از اولین مطالعاتی که در ایران در ارتباط با پدیده وارونگی انجام شده است می‌توان به مطالعه مصلح تهرانی (۱۳۷۰) که انواع وارونگی‌های دما لایه مرزی وردایست، تراز باد بیشینه، برش قائم باد و جریان‌های جت زیر تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال روی تهران را مورد بررسی قرار داد و به مطالعه انصافی مقدم (۱۳۷۲) اشاره کرد که به بررسی آلودگی هوای تهران در ارتباط با پایداری و وارونگی‌های دمای جو پرداخت. نتایج نشان داد که بین افزایش وقوع و درصد اینورژن با افزایش آلودگی هوا ارتباط مستقیم و بین کاهش ارتفاع لایه وارونگی با شدت آلودگی هوا، رابطه غیر مستقیم وجود دارد. برهانی (۱۳۷۹: ۵-۱) به ارتباط آلودگی هوا و وارونگی دمایی با سرعت باد و شدت تابش خورشیدی روی شهر تهران پرداخته که نتیجه حاصل از این بررسی نشان داد که نقش تابش در آلودگی هوای تهران بارزتر از سرعت باد است که این به دلیل کم بودن سرعت باد در اثر توپوگرافی و وجود کوهستان‌های اطراف تهران است. انتظاری (۱۳۸۴) به مطالعه آماری و همدیدی آلودگی هوای تهران پرداخت، که نتایج حاصله چهار تیپ عمده هوا شامل پرفشار سبیری، پرفشارهای غربی، تیپ هوای مداری و کم‌فشار خراسانی بوده است. کریمی (۱۳۸۴، ۱) با بررسی وارونگی‌های دمایی شهر اصفهان دریافت که وارونگی دمایی طی دوره مورد پژوهش در این شهر، در تمام فصول سال برقرار بوده و به دلیل وجود شرایط وارونگی، پایداری جوی در سطح زمین، برقرار و در ۸۰ درصد از روزهای ۳ سال مورد بررسی شرایط اینورژن، حاکم بوده است اما ارتفاع لایه وارونگی با تغییر فصول، تغییراتی داشته؛ کمترین لایه وارونگی به ضخامت ۴۰ متر در ماه مارس و بیشترین ارتفاع لایه وارونگی در حدود ۱۲۱۲ متر در ماه نوامبر بوده است. لشکری (۱۳۸۴، ۱) با تحلیل سینوپتیکی الگوهای وارونگی‌های دمایی شدید شهر تهران ۴ الگوی سینوپتیکی را که منجر به ایجاد وارونگی-های دمایی شدید می‌شوند، شناسایی نمود. علیجانی و نجفی‌نیک (۱۳۸۸، ۱۰) با بررسی الگوهای سینوپتیکی وارونگی دمای مشهد با استفاده از تحلیل عاملی به این نتیجه رسیدند که اینورژن‌های فصل سرد شدیدتر بوده، دارای پایداری و تداوم بیشتری هستند و الگوهای

پرفشار بیشتر از سایر الگوها دیده می‌شود. همچنین الگوی مربوط به زمستان به جهت تداوم بیشتر، شدیدترین تیپ بوده است. یاوری و سلیقه (۱۳۹۰، ۸۹) با بررسی سطوح رخداد وارونگی دما و تأثیر آن بر روی آلودگی شهر تهران با تحلیل نقشه‌های فشار و ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال در روزهای همراه با وارونگی دما نتیجه گرفتند که بین ۷۳ تا ۸۵/۵ درصد میزان آلودگی در شهر تهران ناشی از وارونگی دما بوده است و با اینکه جریان هوا از شرق به غرب است اما در آلودگی‌های ناشی از وارونگی، به دلیل سرعت کم جریان هوا، باد تأثیر زیادی در پالایش هوا ندارد.

شهر تبریز به دلیل صنایع متمرکز در آن و ویژگیهای جغرافیایی اش جزء شهرهایی است که در معرض آلودگیهای جوی قرار دارند، با توجه به این که شرایط جوی در وقوع وارونگی دما و تشدید آلودگی هوا مؤثرند و تا کنون مطالعه ای در ارتباط با شرایط جوی مؤثر بر وقوع وارونگی دمایی در این شهر انجام نشده است، این مطالعه با هدف بررسی الگوهای همدید مؤثر بر وقوع وارونگی دمایی در شهر تبریز انجام شد.

### موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

ایستگاه همدید تبریز در طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۰۵ دقیقه شمالی قرار گرفته و تنها ایستگاه در شمال غرب است که دارای ایستگاه جو بالا بوده و به لحاظ صنعتی بودن، مستعد آلودگی هواست شکل (۱) موقعیت منطقه مطالعاتی را در ناحیه شمال غرب ایران نشان می‌دهد.



شکل (۱): سطوح ارتفاعی منطقه شمال غرب و موقعیت ایستگاه تبریز با دایره سیاه پر.

## مواد و روش ها

در این تحقیق، ابتدا جهت استخراج روزهای همراه با وارونگی دما در شهر تبریز در طی دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰، داده های جو بالا در ایستگاه تبریز بصورت روزانه برای تمام دوره سال از سایت دانشگاه وایومینگ تهیه شد. این داده ها در برخی موارد با خلأ همراه بود، از آنجا که این داده ها قابل بازسازی نیستند، فقط از روزهای دارای آمار برای استخراج روزهای همراه با وارونگی استفاده شد. هدف اصلی این مطالعه شناسایی الگوهای همدیدی وارونگی هوا در شهر تبریز با استفاده از تحلیل مؤلفه های میناست که در قالب مراحل زیر انجام شد:

(۱) داده های رقومی فشار تراز دریا به صورت میانگین روزانه از سری داده های بازکاوی شده NCEP/NCAR برای قلمرو جغرافیایی ۱۰ تا ۹۰ درجه طول شرقی و ۱۰ تا ۶۰ درجه عرض شمالی در ۶۹۳×۲/۵ یاخته ۲/۵×۲/۵ درجه مشتق شد. بنابراین یک ماتریس با آرایش S و به ابعاد ۱۷۰۳×۶۹۳ برای بررسی الگوهای همدیدی وارونگی های شهر تبریز حاصل گردید.

(۲) استفاده از تحلیل مؤلفه های اصلی (PCA<sup>۱</sup>)، برای طبقه بندی الگوهای نقشه ای در ماتریس با آرایش S از ماتریس همبستگی استفاده می شود (یارنال، ۱۰۰، ۱۳۸۵) که در قالب تحلیل مؤلفه های مینا (PCA) محاسبه، مقادیر ویژه آن و عامل های با مقادیر ویژه بزرگتر از "یک" انتخاب شدند (جانسون و ویچرین، ۴۹۱، ۱۳۸۶). هدف از تحلیل مؤلفه های اصلی، کاهش تعداد متغیرهاست که این متغیرها حاوی اطلاعات مشترک هستند. به این ترتیب حجم داده ها در این روش به حداقل می رسد. در این روش n متغیر اولیه به صورت ترکیب خطی به n مؤلفه اصلی تبدیل می شود. بنابراین کل پراش داده های اولیه با n مؤلفه اصلی تبیین می شوند. در عین حال ترکیبات خطی چنان بدست می آیند که همواره مؤلفه اول دارای درصد بیشتر و مؤلفه های بعدی درصدهای کمتری از پراش داده ها را تبیین می کنند. بنابر این می توان درصد قابل توجهی از پراش داده ها را با اولین k مؤلفه تبیین کرد. به این ترتیب هم می توان حجم داده ها را کاهش داد و هم متغیرهایی که حامل اطلاعات

<sup>۱</sup>Principal Component Analysis

زیادتری هستند را از دیگر متغیرها متمایز کرد. (خسروی و نظری پور، ۱۳۹۱، ۴۴). در جدول (۱) میزان دقت و تبیین پراش عامل‌های هریک از ماتریس‌ها نشان داده شده است. در گام بعد داده‌ها با دوران متعامد واریماکس چرخش داده شدند (استبان<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۵، ۳۲۲). سپس با محاسبه ماتریس ضرایب عامل‌ها و ضرب نمودن آن‌ها در ماتریس استاندارد شده داده‌ها، ماتریس نمرات عاملی حاصل گردید. این ماتریس شامل تعداد روزها و تعداد عامل‌ها است. در نهایت جهت انتخاب عامل‌های اصلی، پراش بیش از یک درصد مقدار بردارهای ویژه مبنا قرار گرفته شد. پس از تحلیل مؤلفه‌های اصلی، شاید مرحله مناسب بعدی، انجام یک تحلیل خوشه‌ای بر روی ماتریس مؤلفه‌های اصلی باشد (مسعودیان، ۱۳۸۵، ۱۰۰).

۳) خوشه بندی عامل‌ها، در این بخش روزهای همراه با وارونگی بر اساس نمرات عاملی و با محاسبه فواصل اقلیدسی و به روش ادغام وارد<sup>۲</sup> به صورت نمودار درختی گروه‌بندی شدند.

۴) استخراج روزهای نماینده، که بر اساس محاسبه ماتریس همبستگی درون گروهی هریک از خوشه‌های تعیین کننده وارونگی‌های شهر تبریز در تراز دریا، تعیین شده اند.

۵) تحلیل هم‌دید روزهای نماینده بر اساس نقشه‌های فشار تراز دریا انجام گرفت. همچنین به منظور ارائه دید بهتر از شرایط جوی از آنجاییکه در بسیاری از موارد رخداد وارونگی نه تنها در سطح زمین بلکه در ترازهای بالاتر به علت فرایند نزول هوا که سبب ایجاد شرایط پایدار می‌شود، حاکم بوده است، نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال این روزها نیز همراه با نقشه تراز دریا آورده شده است. از نقشه‌های امگا که نشانگر سرعت قائم هوا است برای تحلیل دینامیک شرایط جوی روزهای نماینده استفاده شده است.

<sup>۱</sup>. Esteban

<sup>۲</sup>. Ward



## یافته ها و بحث

همانگونه در جدول شماره ۱ مشاهده می‌شود، ماتریس وارونگی‌های تبریز ۱۳ مقدار ویژه بزرگتر از ۱ داشته است که ۹۷ درصد از کل پراش داده‌ها را تبیین می‌کند. با انتخاب عامل‌های بیش از یک درصد پراش کل، ۸ عامل نهایی بدست آمد که ۹۴ درصد از کل پراش داده‌ها را تبیین می‌کند. در نهایت ۸\*۱۷۰۳ بار نمرات عاملی روزهای وارونگی حاصل گردید.

جدول ۱: اطلاعات تحلیل مؤلفه مبنا وارونگی‌ها

ماتریس اولیه	مقادیر ویژه بزرگتر از ۱	درصد تبیین پراش کل	مقادیر ویژه بزرگتر از ۱ درصد	درصد تبیین پراش کل	ماتریس همراه نمرات عاملی	تراز دریا
۱۷۰۳×۶۹۳	۱۳	۹۴٪	۸	۹۷٪	۱۷۰۳×۸	

لازم بذکر است که ضریب همبستگی بیشتر روزهای نماینده بیشتر از ۷۰ درصد است که این موضوع بیانگر پایین بودن پراش درون گروهی داده‌ها و تجانس آنهاست. از این رو الگوهای جوی هر یک از روزهای نماینده، از میزان اطمینان کاملی برای تبیین شرایط گردشی هر یک از خوشه‌ها می‌باشد جدول (۲).

جدول ۲: ویژگی الگوهای همدید دوره‌های وارونگی دمای تبریز در تراز دریا (۱۳۸۹-۱۳۸۰)

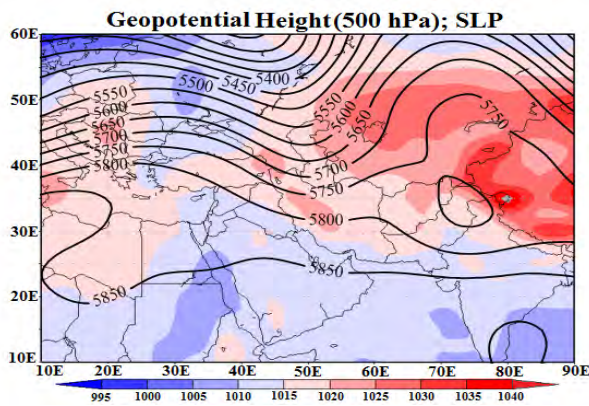
همبستگی	روز نماینده (شمسی)	درصد رخداد	تعداد رخداد	الگو
۰,۷۲	۱۳۸۱/۸/۳	۳۳,۹۲	۵۷۱	۱
۰,۸۶	۱۳۸۵/۳/۱۷	۲۳,۵۸	۳۹۷	۲
۰,۷۲	۱۳۸۶/۲/۵	۲۲,۶۳	۳۸۱	۳
۰,۷۸	۱۳۸۲/۹/۲۱	۱۹,۹	۳۳۵	۴

در بیش از نیمی از روزهای دوره مورد مطالعه در دوره سرد سال (ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و دسامبر) و همچنین در سایر ماه‌ها نیز شرایط وارونگی دمایی بصورت قابل توجهی در منطقه مورد مطالعه حاکم بوده است. بر اساس نتیجه تحلیل خوشه ای بر روی

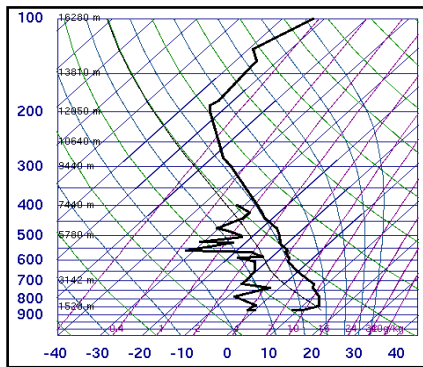
ماتریس نمرات عاملی، در وقوع وارونگی دما در شهر تبریز چهار الگوی همدید موجب بروز و تشدید این پدیده می‌شوند.

### ۱: الگوی پرفشار آسیایی-پرفشار مهاجر اروپا:

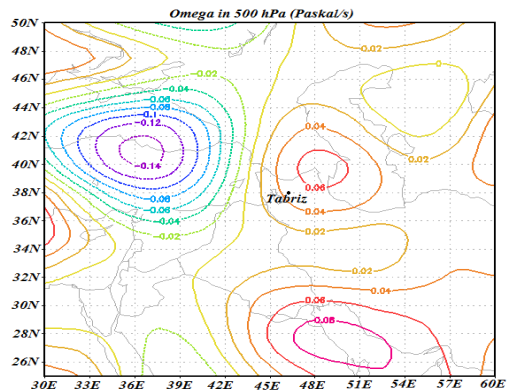
روزهای همراه با وارونگی دمایی در اثر استیلای این الگو ۵۷۱ رخداده است که ۳۳/۹ درصد از کل وارونگی‌های دماییست. شکل (۲) آرایش سامانه‌ها را در تراز دریا در روز نماینده الگوی اول نشان می‌دهد. در این الگو مرکز پرفشار آسیایی در جنوب دریاچه بالخاش در ۸۰ درجه شرقی و ۳۵ درجه شمالی واقع شده که زبانه‌های آن از سمت شمال و شمال-شرق وارد کشور شده و تا قسمتهای جنوبی کشور کشیده شده‌اند. با پیشروی پرفشار مهاجر اروپا از سمت غرب زبانه‌های این دو سامانه در شرق خزر در هم ادغام شده و یک منطقه پرفشار گسترده را تشکیل داده‌اند. به این ترتیب تمام گستره کشور به جز سواحل خلیج فارس و عمان تحت تأثیر الگوی پرفشار قرار گرفته و دو مرکز پرفشار فرعی دیگر با منحنی هم‌فشار مرکزی ۱۰۲۰ هکتوپاسکال تقریباً منطبق با ارتفاعات زاگرس به وجود آمده است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ناوه نسبتاً عمیقی با محور شمالی-جنوبی بر روی دریای خزر قرار گرفته و زبانه‌های آن تا جنوب کشور امتداد یافته، منطقه مطالعاتی تحت تأثیر قطاع سرد این ناوه قرار گرفته و هوای سرد پشت آن به سمت عرض‌های پایین انتقال می‌یابد. جریانات قائم تراز میانی در این روز نزولی و میزان امگای واقع بر روی تبریز (طول ۴۷/۵ درجه) ۰/۱۷۵ پاسکال بر ثانیه است (شکل ۳). وارونگی در این تراز به علت حاکمیت پایداری در تراز میانی، در سطح زمین تشدید و دوام بیشتری خواهد داشت. ارتفاع لایه وارونگی در این خوشه کم و اختلاف دما بین قله و پایه وارونگی زیاد است (شکل ۴). این الگوی مختص دوره سرد سال است.



شکل ۲) شرایط همدید حاکم در تراز دریا و ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز نماینده الگوی سبیری-پرفشار مهاجر اروپا (۲۵ اکتبر ۲۰۰۲)



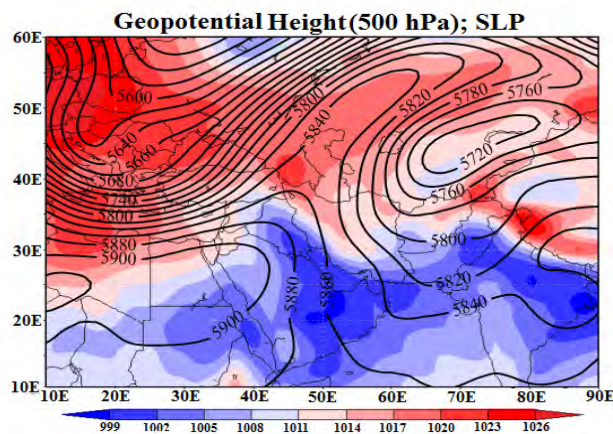
شکل ۴: نمودار تغییرات دما با ارتفاع مورخه (۲۵ اکتبر ۲۰۰۲)



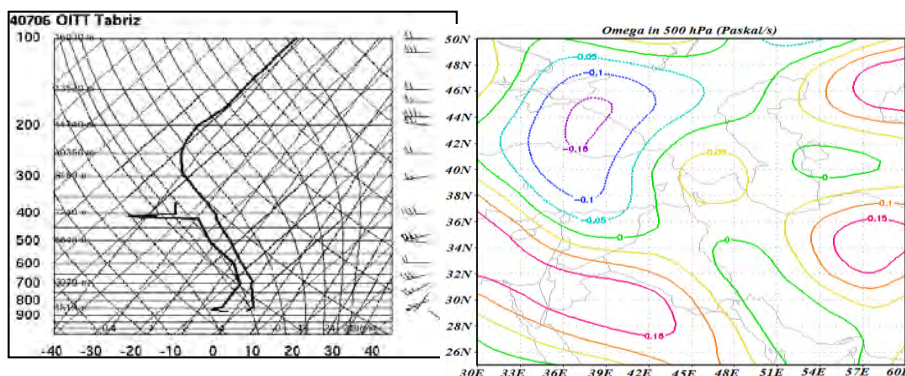
شکل ۳: سرعت قائم هوا در مورخه ۲۵ اکتبر ۲۰۰۲

## ۲: الگوی پرفشار مهاجر اروپا:

۳۹۷ رخداد وارونگی در این گروه قرار گرفته است که  $۲۳/۵۸$  درصد مجموع رخدادهای این دوره را شامل می‌شود. عامل ایجاد وارونگی در این الگو، پرفشار مهاجر اروپاست. آرایش سامانه‌ها بر روی نقشه تراز دریا در روز نماینده در سطح زمین نشان می‌دهد که یک مرکز پرفشار  $۱۰۲۰$  میلی‌باری در داخل زبانه‌های پرفشار مهاجر اروپا ایجاد شده و بر روی آذربایجان و ارمنستان استقرار یافته است. زبانه‌های آن تا منتهی‌الیه جنوب رشته کوه‌های زاگرس گسترش یافته و بالتبع منطقه مطالعاتی هم تحت تأثیر این الگوی پرفشار و پایداری حاصل از آن قرار گرفته است. در تراز  $۵۰۰$  هکتوپاسکال پشته‌ای با محور مورب شمال-شرق-جنوب‌غرب بر روی دریای خزر قرار گرفته است. منطقه مطالعاتی در محل محور پشته مذکور که در شرایط مذکور هوای کاملاً پایدار در این تراز بر منطقه حاکمیت دارد (شکل ۶). شاخص امگا هم تسلط چنین شرایطی را در منطقه (طول  $۴۸$  و عرض  $۳۷,۵$  درجه) نشان می‌دهد. چرا که سرعت قائم ذرات هوا برابر با  $۰/۰۵$  پاسکال بر ثانیه می‌باشد (شکل ۷). ارتفاع لایه وارونگی‌ها در این الگو زیاد و اختلاف دما بین پایه و قله لایه وارونگی کم است (شکل ۸).



شکل ۵) شرایط همدید حاکم در تراز دریا و  $۵۰۰$  هکتوپاسکال در روز نماینده الگوی پرفشار مهاجر اروپا ( $۰۷$  ژوئن  $۲۰۰۶$ )



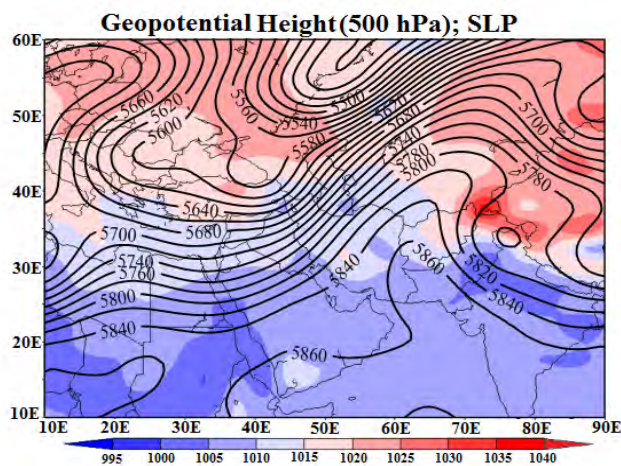
شکل ۷: نمودار تغییرات دما با ارتفاع (۰۷ ژوئن ۲۰۰۶)

شکل ۶: سرعت قائم هوا در مورخه (۰۷ ژوئن ۲۰۰۶)

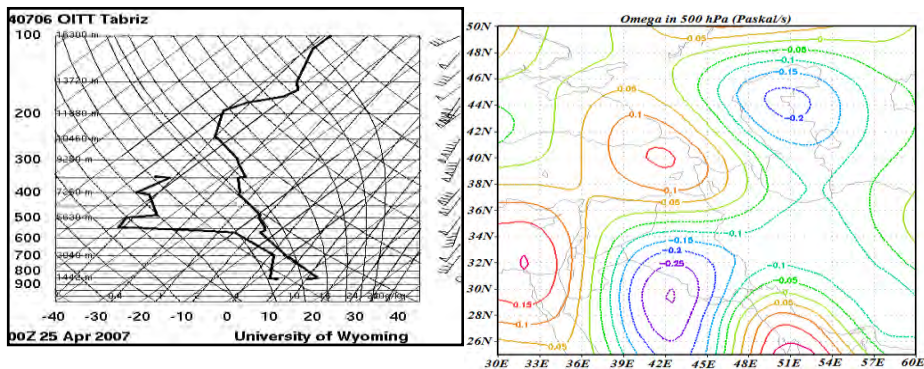
### ۳: الگوی مهاجر اروپا - کم فشار شمالی:

تعداد رخداد این خوشه ۳۸۱ می باشد که ۲۲/۶۳ درصد مجموع فراوانی وارونگی ها را تشکیل داده است و عمدتاً مربوط به دوره سرد سال می باشد به گونه ای که فراوانی رخداد آن در ماه های ژوئیه و اوت در اثر این الگو صفر می باشد. در این الگو دو سامانه در سطح زمین نقش اساسی را در ایجاد وارونگی دما ایفا می کنند. مرکز پرفشار مهاجر اروپا که با منحنی هم فشار مرکزی ۱۰۲۴ هکتوپاسکال در جنوب کشورهای اسکاندیناوی قرار گرفته، زبانه ای از آن با امتداد شمال غربی-جنوب شرقی پس از عبور از دریای خزر با راستای شرقی-غربی به شمال غرب و تبریز نفوذ کرده اند. ریزش هوای سرد به درون پرفشار از ضلع غربی کم فشار شمالی بر شدت نفوذ هوای سرد افزوده و بدین ترتیب جریانات هوای سرد ورودی به شمال ایران هوای پایداری کرده است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ناوه بلند آسیای مرکزی با محور شمال شرق-جنوب غرب از شمال روسیه تا شرق اروپا کشیده شده است. منطقه مطالعاتی در زیر قطاع گرم ناوه قرار گرفته، زبانه شرقی آن با جریانات جنوب غربی هوای گرم عرض های جنوبی بر روی هوای سرد سطح زمین فرارفت می کند (شکل ۸). سرعت قائم ذرات هوا بر روی بخش میانی شمال غرب کشور در حدود ۰ تا ۰/۰۴- پاسکال

بر ثابته است که نشان‌دهنده انتقال هوای گرم عرض‌های پایین به روی هوای سرد سطح زمین است (شکل ۹). در چنین شرایطی امکان شکل‌گیری وارونگی دمایی وجود خواهد داشت (شکل ۱۰).



شکل ۸) شرایط همیدید حاکم در تراز دریا و ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز نماینده الگوی پرفشار مهاجر اروپا-کم- فشار شمالی (۲۵ آوریل ۲۰۰۷)

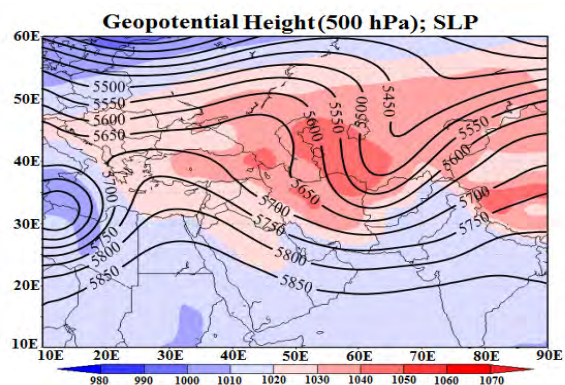


شکل ۱۰: نمودار تغییرات دما با ارتفاع (۲۵ آوریل ۲۰۰۷)

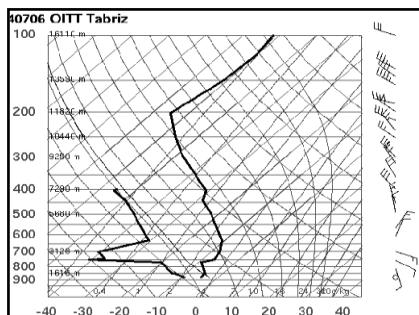
شکل ۹: حرکات قائم هوا (امگا) در مورخه (۲۵ آوریل ۲۰۰۷)

#### ۴: الگوی سیبری

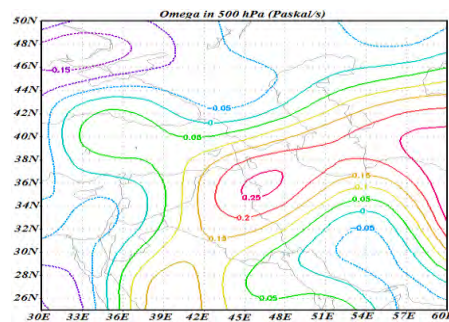
این خوشه شامل ۳۳۵ رخداد است که ۱۹/۹ درصد مجموع رخدادهای دوره و کمترین میزان فراوانی رخدادها در این خوشه جای گرفته است. وارونگی‌های این خوشه عمدتاً از نوع وارونگی‌های دومرحله‌ای است که وارونگی‌های جبهه‌ای نامیده می‌شوند. الگوی روز نماینده این خوشه در تراز دریا و تراز میانی در روز دوازدهم دسامبر ۲۰۰۳ در شکل (۱۱) نشان داده شده است. بر روی نقشه سطح زمین این الگو، مرکز پرفشار سیبری با منحنی هم‌فشار مرکزی ۱۰۴۰ هکتوپاسکال که از چندین روز قبل در منطقه میانی دریاچه بایکال و بالخاش تشکیل شده بود، با گردش ساعتگرد این سلول واچرخندی و گسترش زبانه‌های آن به سمت غرب، ترکمنستان، ازبکستان و نیمه شمالی ایران در تسلط زبانه‌های مرکز واچرخندی سیبری است. بدین ترتیب هوای سرد عرض‌های بالا با جهت شرقی و شمال-شرقی بر روی کشور و همچنین تبریز فرارفت شده و هوای پایدار در سطح زمین ایجاد شده است. شرایط سینوپتیکی تراز میانی پشته‌ای را بر روی آسیای میانه نشان می‌دهد که محور آن با امتداد شمال شرقی-جنوب غربی از شمال روسیه تا منتهی‌الیه شرق ترکیه را فرا گرفته است. کل کشور تحت استیلای قطاع سرد ناوه قرار گرفته است. بر اساس شکل (۱۲) سرعت قائم ذرات هوا در تراز میانی جو مثبت و نشان‌دهنده حاکمیت فرایند نزول هوا در این تراز است. نمودار اسکویوتی روز نماینده این خوشه یک نوع وارونگی دو مرحله‌ای را نشان می‌دهد که در بالاتر از سطح زمین وارونگی دما تقریباً در کل ستون هوای تراز ۸۰۰ تا ۶۵۰ هکتوپاسکال قابل مشاهده است (شکل ۱۳). بنابراین در این الگو با توجه به فرایند نزولی حاکم، ضخامت وارونگی افزایش می‌یابد. این الگو، یک الگوی زمستانه است که در غیر فصل سرد بندرت اتفاق افتاده است.



شکل ۱۱: شرایط سینوپتیکی حاکم در تراز دریا و ۵۰۰ هکتوپاسکال، روز نماینده الگوی پرفشار مهاجر اروپا-کم فشار شمالی (۱۲ دسامبر ۲۰۰۳)



در مورخه (۱۲ دسامبر ۲۰۰۳)



شکل ۱۲: نمایه قائم جو (امگا) در مورخه (۱۲ دسامبر ۲۰۰۳)

### نتیجه‌گیری

بر اساس نتیجه تحلیل خوشه‌ای بر روی ماتریس نمرات عاملی در این مطالعه، وقوع وارونگی دما در شهر تبریز در اثر استیلای چهار الگوی همدیدی است. ویژگیهای کلی مربوط به این الگوها اینگونه می باشد. ۱- به طور کلی در دوره گرم سال، الگوی پرفشار



مهاجر اروپا مهمترین سامانه در شکل‌گیری وارونگی‌های دمایی است. در این الگو، زبانه‌ای از پرفشار تا سواحل غربی دریای خزر پیشروی کرده و بر اثر وجود پشته تراز میانی، امکان تقویت هسته واچرخندی در تراز دریا و در نتیجه ایجاد جو پایدار فراهم می‌شود، با حاکمیت فرایند نزولی هوا، ایستایی هوای سطح زمین و امکان شکل‌گیری وارونگی در دوره گرم سال شدت می‌یابد. در تحقیقی همسان که توسط علیجانی و نجفی نیک (۸۸) در مشهد انجام شده، دو الگوی تابستانه که با استقرار الگوی پرفشار بر روی شمال غرب و در مواردی با حضور کم فشار روی خلیج فارس همراه بوده است، موجد وارونگی‌های این دوره از سال بوده است. ۲- در بقیه الگوها که بیشتر در فصل سرد رخ داده‌اند، لایه پایدار سطحی در اثر نفوذ زبانه‌های سیستم‌های واچرخندی اعم از پرفشار سیبری و پرفشار مهاجر اروپا به صورت تنها و ترکیبی انجام گرفته و در مواردی همراه با پرفشار مهاجر اروپا، کم‌فشار شمالی نیز بر روی نقشه حضور دارد که با فرارفت بیشتر هوای سرد به درون پرفشار بر شدت آن افزوده می‌شود. این شرایط با وجود شرایط نزولی در اثر استیلای منطقه همگرایی ناوه تراز میانی بر روی منطقه تشدید و وارونگی‌های عمیق و گاه دولایه‌ای پدید می‌آید. در این الگوها ضخامت لایه وارونگی کم و اختلاف دمای بین قله و پایه زیاد است که گویای شرایط حد وارونگی برای ایجاد آلودگی جوی است. احتمال رخداد این پدیده در هر فصلی وجود دارد. ولی شدت و دوام آن که بسته به عوامل سینوپتیکی است، در فصل زمستان بیشتر است. لشکری (۱۳۸۴) نیز در بررسی‌های خود بر روی الگوهای همدیدی مؤثر بر وارونگی دما در تهران نتیجه گرفت که الگوهای وارونگی بیشتر توسط سیستم‌های پرفشار ایجاد شده‌اند که بسته به وجود ناوه یا پشته در ترازهای بالاتر، شدت وارونگی هم متفاوت بوده است که نتایج آن با یافته‌های این مطالعه از لحاظ نوع سیستم‌های فشار مطابقت داشته است.

## منابع

- انتظاری، علیرضا (۱۳۸۴)، مطالعه آماری و سینوپتیکی آلودگی هوای تهران، رساله دکتری دانشگاه تربیت مدرس.
- انصافی‌مقدم، طاهره (۱۳۷۲)، بررسی آلودگی هوای تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس تهران. ص ۳.
- برنت، یارنال. (۱۳۸۵)، اقلیم‌شناسی همدید و کاربرد آن در مطالعات محیطی، برگردان سیدابوالفضل مسعودیان، ۱۳۸۵، انتشارات دانشگاه اصفهان. ص ۱۰۰.
- برهانی، رضا، (۱۳۷۹)، ارتباط آلودگی هوا و وارونگی دمایی با سرعت باد و شدت تابش خورشیدی (مطالعه موردی تهران). پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی کشور. صص ۱-۵.
- جانسون، ویچرین. (۱۳۸۶)، تحلیل آماری چندمتغیری کاربردی، برگردان حسین علی‌نیرومند، انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ سوم. ۴۹۱ ص.
- خسروی محمود، نظری پور حمید، ۱۳۹۱، مطالعه همدید تپه‌های هوای غالب منطقه سیستان (ایستگاه زابل)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۸۱، صص ۳۹-۶۲.
- دلجو، امیر هوشنگ، (۱۳۷۹)، مطالعه و بررسی وارونگی دما و ناپایداری بر روی آلودگی هوا شهر تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی.
- علیجانی، بهلول و نجفی نیک، زهرا، (۱۳۸۸)، بررسی الگوهای سینوپتیکی اینورژن در مشهد با استفاده از تحلیل عاملی، مجله‌ی جغرافیا و توسعه‌ی ناحیه‌ای، شماره‌ی دوازدهم، بهار و تابستان ۱۳۸۸، ص ۲.
- قویدل رحیمی، یوسف، خوشحال دستجردی، جواد، (۱۳۸۷)، جستاری پیرامون سختی اقلیم زمستانی تبریز و ارتباط آن با نوسانات شمالگان، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۱۴، شماره ۱، بهار ۱۳۸۹، صص ۱۷۹-۱۹۶.
- کریمی، محسن و درخشان، حسین. ۱۳۸۴، بررسی وارونگی دمایی در شهر اصفهان، دوازدهمین کنفرانس ژئوفیزیک، تهران.
- لشکری، حسن؛ هدایت، پریسا، ۱۳۸۵، تحلیل سینوپتیکی اینورژن‌های شدید تهران، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۶، صص ۶۵-۸۲.
- مسعودیان، ابوالفضل. ۱۳۸۵، زیج سی ساله ی الگوهای گردشی تراز میانی جو ایران، مجله جغرافیا و توسعه ی ناحیه ای، شماره هفتم، پاییز و زمستان ۱۳۸۵.

- مصلح تهرانی، جواد، (۱۳۷۰). بررسی انواع وارونگی‌های دما لایه‌ی مرزی وردایست تراز باد بیشینه‌ی برش قائم باد و جریان‌های جت زیر تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران. ص ۶.
- یآوری، حسین و سلیقه، محمد. ۱۳۹۰، سطوح وارونگی در آلودگی‌های شهر تهران، *مجله تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، سال یازدهم بهار ۱۳۹۰، شماره ۲۰.
- Bailey, Adriana. Thomas, N., Chase, J., Casino, D., (2011), Changing Temperature Inversion Characteristics in the U.S. Southwest and Relationships to Large-Scale Atmospheric Circulation. *J. Appl. Meteor. Climatol.* 50, 1307–132
- Beychok. M. R., *Fundamental of Stack Gas Dispersion*, 3rd Edition Newport Beach, CA.
- Enz, J. W., Hofman, V., Thostenson, A., (2014), Air Temperature Inversions: Causes, Characteristics and Potential Effects on Pesticide Spray Drift, County Commissions, NDSU and U.S. Department of Agriculture Cooperating.
- Esteban, P., Jones, F., Marti, J., Mases, M., (2005), “Atmospheric circulation patterns related to heavy snowfall days in Andora, Pyrenees”, *International Journal of Climatology*, vol 25: 319-329.
- Freitz, H., (2008), Low\_level Temperature inversions and atmospheric Staboly: Charestiristic and Impacts on Agriculture Applications, *The IIGR Ejournal Manuscript PM 08 001. Vol X, May 2008.*
- Laurence, S., Corrigan, K and p., (1986), A Synoptic Climatological Approach for Geographical Analysis: Assessment Of sulfur Dioxide Concentrations, vol 76(3), pp 381-389.
- Phillpot, H. R., Zillman, J. W., (2012), the surface temperature inversion over the Antarctic Continent, *International Journal of Climatology*: 25:319-329.
- Rendon, M, A., Salazar, J., Palacio, C., (2014), Temperature Inversio n Breakup with Impacts on Air Quality in Urba n Valleys Influenced by Topographic Shading, *J. Applied Clim. & Meteorology*.
- Sugimoto, Sh., Tomonori, S., Kazuki, N., (2013): Effects of Synoptic-Scale Control on Long-Term Declining Trends of Summer Fog Frequency over the Pacific Side of Hokkaido Island. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 52: 2226–2242.

- Thistle, H., (2000). The role of stability in fine pesticide droplet dispersion in the atmosphere, *Journal of Geophysical Research*, 108 (D), 8425. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JAMC-D-12-0192.1>.