

بررسی تغییرات اقلیمی ارتفاع تراز یخ زنی و تحلیل همدیدی آن در فرودگاه های مهرآباد، مشهد و کرمانشاه

سکینه خان سالاری

عضو هیئت علمی پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۱/۲۶، تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۴/۲۳

چکیده

با توجه به اقلیم گرمایش جهانی ارتفاع تراز صفر درجه سلسیوس، در حال افزایش است؛ که توجه بسیاری از محققین را از جنبه های مختلف به ویژه از لحاظ تغییر نوع بارش از برف به باران و کاهش ذخایر آبی به خود جلب نموده است. در این پژوهش نیز به منظور بررسی تغییرات زمانی ارتفاع تراز یخ زنی از داده های جو بالای فرودگاه های مهرآباد، مشهد، کرمانشاه، بندرعباس، گرگان، کرمان، رشت، شیراز، زاهدان، اصفهان و تبریز در بازه زمانی سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۹ استفاده شده است. با وجود حداقل ۲۰ روز داده در هر یک از ۱۲ ماه، آن سال به عنوان سال قابل بررسی انتخاب می گردد و در صورتی که سال های منتخب در یک ایستگاه پیوسته باشند، به دست آوردن روند تغییرات ارتفاع تراز صفر درجه سلسیوس با استفاده از روش آماری در آن ایستگاه قابل بررسی است. با شرایط ذکر شده از بین ایستگاه های ذکر شده تنها امکان بررسی آماری در سه ایستگاه مهرآباد، مشهد و کرمانشاه وجود داشت. نتایج این پژوهش نشان می دهد که تغییرات تراز یخبندان در فرودگاه های منتخب کشور، در ماه ها، فصل ها و سال های مختلف با استفاده از آزمون من کندال، روند صعودی و یا نزولی را نشان نمی دهد. به عبارت دیگر تغییرات ماهانه و فصلی ارتفاع این تراز در ایستگاه های بررسی شده در سال های مختلف وابسته به تغییرات اقلیم نمی باشد. بررسی های همدیدی، بیان گر این مطلب است که تغییرات ارتفاع این تراز در سال های مختلف وابسته به سامانه های جوی عبوری و شرایط همدیدی ماه یا فصل مربوطه است.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، تراز یخ زنی، گرمایش جهانی، تحلیل همدیدی

علاوه بر اهمیت شناسایی و مطالعه ی تراز صفر درجه در علمِ هوانوردی، با توجه به اقلیمِ گرمایش جهانی ارتفاع تراز صفر درجه به خصوص در مناطق خارجِ حازه، در حال افزایش است (بریدلی و همکاران، ۲۰۰۹) که توجه بسیاری از محققین هواشناسی و آب و هواشناسی را به خود جلب نموده است و مطالعات بسیاری در این زمینه صورت گرفته است. این پدیده خود منجر به آب شدن یخ کره و پوشش برف زمین و کاهش ذخایر آبی کره زمین می شود. همراه با افزایش درجه حرارت هوا، ارتفاع سطح انجماد طی دهه های گذشته افزایش یافته است و منجر به کاهش ذخایر آبی شده است (شاوکر و همکاران، ۲۰۱۷). با توجه به گرمایش جهانی با تغییرات تراز بحرانی صفر درجه سلسیوس، منجر به تغییرات در هوانوردی به علت تغییر در راه های پروازی می گردد. همچنین با گرمایش جهانی در الگوهای گردش جو، رژیم های بارشی و تعداد و شدت حوادث جوّی حدی تغییر به وجود می آورد. برای کمّی سازی این تغییرات حدی نیاز به بررسی آماری تغییرات ارتفاع تراز یخ زدگی به سبب تغییر اقلیم و گرمایش جهانی است. با تعیین تغییرات ارتفاع این تراز و تغییرات راههای پروازی نیز میتوان تغییرات پدیده های حدی و مهم در هوانوردی را نیز جستجو نمود. این تغییرات ممکن است امنیت پرواز در جو و بر روی زمین را تحت تاثیر قرار دهد. گرمایش جهانی با تغییر در راههای پروازی منجر به تغییرات در هوانوردی می گردد که آگاهی از این تغییرات ترازهای پروازی امری ضروری به نظر می رسد.

همچنین با گرمایش جهانی به احتمال زیاد تابستان خشک تر، زمستان و پاییز مرطوب تر، تغییر نوع بارش از برف به باران و حوادث منفرد شدید تر نسبت به حال حاضر خواهد شد و خطراتی چون یخ زدگی بیشتر در زمستان و جاری شدن سیل به سبب رخداد بارش باران سنگین تر انتظار می رود. علاوه بر این با افزایش احتمال رخداد طوفان های رگبار و رعدوبرق شدید نسبت به حال حاضر، خطراتی چون رخداد باران سنگین و تگرگ،

یخ زدگی های شدید، تلاطم و تغییرات ناگهانی باد، رعدوبرق بیشتر می شود (واینرت و وتردینت، ۲۰۱۰). برای کمّی سازی این تغییرات حدی نیاز به تحقیقات بیشتر است.

مطالعات انجام شده در داخل کشور به دو دسته تقسیم می شود که هیچکدام مرتبط با تغییرات اقلیمی ارتفاع تراز یخ رنی و تغییرات اقلیمی آن نمی باشند. دسته اول شامل بحث فنی و مهندسی اثر یخ زدگی بر بدنه و بال هواپیما و شبیه سازی آنها (به طور مثال دوست محمودی (۱۳۸۸)، کفاش (۱۳۹۴)، می باشد. گروه دوم شامل تحلیل و بررسی از دیدگاه همدیدی پدیده یخ زدگی می باشد (برای مثال تاجبخش، ۱۳۸۷؛ گودرزی، ۱۳۹۰؛ تاجبخش و همکاران ۱۳۹۱ و رنجبر سعادت آبادی و همکاران، ۱۳۹۲) در هیچکدام از مطالعات انجام شده در ایران به بررسی تغییرات زمانی تراز یخ زنی پرداخته نشده است تا علاوه بر بررسی تغییرات تراز یخ زنی در مناطق مختلف کشور به دیدگاهی در مورد ذخایر آبی کشور دست یافته شود. بنابراین در ادامه در بررسی مطالعات خارج از کشور بیشتر به مطالعاتی که در این زمینه انجام شده است پرداخته می شود. با توجه به اهمیت تراز یخ زنی، این پدیده از دیدگاه های مختلف مورد توجه پژوهش گران قرار گرفته است. برای نمونه بریدلی و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از داده های NCEP-NCAR در هفت تراز اصلی جو، تغییرات تراز صفر درجه را در کلاhek های یخی را بررسی نموده اند و بیان داشته اند که تغییرات ارتفاع این تراز همبستگی بالایی با دمای سطح دریا دارد (همچنین دیاز و گراهام، ۱۹۹۶؛ هریس و همکاران، ۲۰۰۰) و در ضمن با تغییرات فاز ENSO نیز در ارتباط است (همچنین هریس و همکاران، ۲۰۰۰؛ تورای و همکاران، ۲۰۰۳). ژانگ و گو (۲۰۱۱) با استفاده از داده های رادیوگمانه به بررسی تغییرات زمانی ارتفاع تراز یخ زنی پرداخته اند. ایشان همبستگی معنی داری بین ارتفاع تراز یخ زنی و تغییر در پوشش برف و یخچال های طبیعی بدست آورده اند. همچنین وانگ و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از اطلاعات رادیوگمانه و داده های NCEP-NCAR به بررسی

در فصل سرد مطلع می کند (هتچت و همکاران، ۲۰۱۷).

مواد و روش‌ها

به منظور تعیین ترازِ صفر درجه سلسیوس در هر نقطه، از اطلاعات دما در ترازهای مختلف جوّ بر فراز آن نقطه می توان استفاده نمود. بر این اساس کمترین ارتفاعی که در آن ارتفاع دما صفر درجه سلسیوس باشد (حالت اول) یا دما از مقادیر مثبت به مقادیر منفی تغییر مقدار (حالت دوم) پیدا کند، به عنوان ارتفاع تراز صفر درجه سلسیوس ثبت می شود که در حالت دوم از روش درون یابی خطی می توان استفاده نمود. لازم به ذکر است اگر در ساختار قائم جوّ بر فراز یک نقطه از زمین، بیشتر از یک بار این تراز حاصل شود، مقدار صفر درجه سلسیوس در کمترین ارتفاع، بعنوان ارتفاع تراز صفر درجه سلسیوس ثبت می شود و مقادیر دیگر ذخیره نمی شود. در واقع این مسئله بدلیل وارونگی جوّ اتفاق افتاده است (هریس و همکاران، ۲۰۰۰).

لازم به ذکر است روش های متفاوتی برای تعیین دما در ترازهای مختلف جوّ وجود دارد. با قدمت ترین و معمول ترین روش برای تعیین دما در ترازهای مختلف، استفاده از اطلاعاتِ رادیو گمانه است و این روش دو مرتبه در روز در ایران در ساعات ۰۰ و ۱۲ UTC اجرا می شود. در روش دوم از اطلاعات دستگاه های اندازه گیری متصل بر بدنه هواپیمای تجاری که امکان گزارش دمای اندازه گیری شده، و ارتفاع آن را دارند، استفاده می شود. همچنین می توان با استفاده از اطلاعات ماهواره که تابش مادون قرمز را اندازه گیری می کند، تراز یخ زنی را تعیین نمود. بعضی محققین برای تعیین این تراز، از اطلاعات رادار هواشناسی استفاده می نمایند که این تراز در باند روشن قرار دارد (https://en.wikipedia.org/wiki/Freezing_level).

در این پژوهش داده های در دسترس دما در ارتفاع های مختلف ایستگاه های جوّ بالای فرودگاه های مهرآباد، مشهد، کرمانشاه، بندرعباس، گرگان، کرمان، رشت، شیراز، زاهدان، اصفهان و تبریز در بازه زمانی

تغییرات ارتفاع تراز صفر درجه سلسیوس در شمال شرق فلات تبت به خصوص در رشته کوه آلتای طی سال های ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۰ پرداخته اند. با توجه به افزایش ارتفاع این تراز، بررسی مقادیر ذخیره یخ در این منطقه، روند کاهشی را نشان می دهد. شاورِکر و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند که تعادل جرم یخچال های گرمسیری در پرو، به شدت حساس به افزایش FLH^۱ است، که عمدتاً به دلیل افزایش انرژی به علت کاهش بازتابندگی است. بنابراین شناخت تغییرات آینده در FLH به منظور برآورد تغییرات در وسعت یخچال ها بسیار مهم است. تخمین مناسب ارتفاع تراز صفر درجه سلسیوس برای مدل سازی آبشناسی در حوضه های کوهستانی اساسی است. از این رو در مقالات بسیاری به تغییرات زمانی این تراز پرداخته اند برای مثال ماردنز و گرد (۲۰۲۰) به مطالعه تراز صفر درجه در دامنه غربی رشته کوه آند در اقلیم حاضر و در سال های باقیمانده قرن ۲۱ پرداخته اند. این بخش از رشته کوه آند مربوط به شیلی مرکزی، منطقه ای بسیار پرجمعیت است که اخیراً در آن طوفان های گرم زمستانی باعث رانش زمین و ویرانگری گسترده شده است. نتایج این مطالعه نشان می دهد نسبت به شرایط امروز، میانگین ارتفاع تراز صفر درجه در آینده تقریباً ۴۰۰ متر برای روزهای همراه با بارش و ۶۰۰ متر برای روزهای بدون بارش بیشتر خواهد بود. بنابراین احتمال بارش برف حتی در بالاترین سطح زمین نیز غیرمعمول خواهد بود و تأثیر مخربی بر میزان آب موجود در ماه های تابستان دارد. همچنین ایبازن و همکاران (۲۰۲۰) تغییرات زمانی ارتفاع تراز صفر درجه سلسیوس را در دامنه غربی آند (شیلی مرکزی) بررسی نموده اند.

با توجه به احتمال گرم شدن کره زمین در باقیمانده قرن بیست و یکم می توان انتظار داشت که افزایش گسترده ای در ارتفاع تراز یخ زنی رخ دهد (ماسلمن و همکاران، ۲۰۱۸). کمی کردن تأثیرات تغییر اقلیم بر ارتفاع تراز صفر درجه سلسیوس ما را از خطرات آبی در مناطق کوهستانی و همچنین تغییرات در آب ذخیره شده

سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۹ مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. این داده ها از سازمان هواشناسی کشور گرفته می شود.

به منظور تحلیل و بررسی تغییرات میانگین ماهانه ارتفاع تراز صفر درجه سلسیوس با توجه به نبود داده های جو بالا در بعضی از روزها با وجود حداقل ۲۰ روز داده در هر یک از ۱۲ ماه، آن سال به عنوان سال قابل بررسی انتخاب گردید. در غیر اینصورت آن سال از بررسی آماری خارج می گردد. لازم به ذکر است سال های مورد بررسی باید پیوسته باشند تا به دست آوردن روند تغییرات ارتفاع تراز صفر درجه سلسیوس قابل دنبال کردن با استفاده از روش آماری باشد؛ در غیر این صورت ایستگاه مورد نظر از چرخه آماری خارج می گردد. با شرایط ذکر شده از بین ایستگاه های ذکر شده تنها امکان بررسی آماری در سه ایستگاه مهرآباد، مشهد و کرمانشاه وجود داشت. در ایستگاه های منتخب باقیمانده پس از تحلیل روند تغییرات تراز یخبندان در این فرودگاه ها، به منظور بررسی تاثیر شرایط همدیدی بر ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در هر ماه، سالی که در آن بیشینه و یا کمینه ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس رخ داده است، مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

به منظور تحلیل همدیدی سامانه های عبوری، الگوی میانگین ماهانه و الگوی تغییرات دما در خاورمیانه و ایران در سطوح فشاری ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال از داده های ERA-Interim (دی و همکاران، ۲۰۱۱) در یک شبکه منظم محدود به منطقه خاورمیانه استفاده شده است.

پس از تحلیل آماری اطلاعات جو بالای هر یک از ایستگاه های منتخب، به منظور بررسی وجود و یا عدم وجود روند و همچنین تعیین نوع روند از آزمون من-کندال (هیسدال و همکاران، ۲۰۰۱) استفاده شده است.

نتایج و بحث

الف: ایستگاه فرودگاه مهرآباد

داده های رادیوگمانه در دسترس ایستگاه فرودگاه مهرآباد در بازه زمانی ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۹ برای بررسی تغییرات ارتفاع متوسط تراز صفر درجه سلسیوس در ماه ها، فصل ها و سال های مختلف در ساعت UTC ۰۰ مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. بررسی ماهانه و فصلی تغییرات ارتفاع متوسط تراز صفر درجه سلسیوس در سال های مختلف با استفاده از آزمون من کندال که در بخش پیش توضیح داده شد، روند صعودی و یا نزولی را نشان نمی دهد (جدول های ۱ تا ۴). به عبارت دیگر

جدول ۱- نتایج آزمون من کندال در سطح اطمینان ۹۵ درصد برای تایید یا رد وجود روند صعودی یا نزولی داده های ارتفاع تراز یخ زنی در ایستگاه مهرآباد (OIII) در ماه ها و فصل بهار در بازه زمانی ۱۹۹۸-۲۰۱۹

ردیف	ماه/ فصل	نوع روند	Z (شیب)	P-Value	معادله خط	نتیجه آزمون
۱	آوریل	نزولی	-۰/۸۱۱	۰/۲۰۸	$y = -14.109x + 31787$	رد
۲	مه	صعودی	۱/۰۷	۰/۱۴۲	$y = 6.4232x - 8901.1$	رد
۳	ژوئن	صعودی	۰/۴۲۱	۰/۳۳۶	$y = 0.8896x + 2849.1$	رد
۴	بهار	نزولی	-۰/۲۹۲	۰/۳۸۵	$y = -2.2654x + 8578.2$	رد

جدول ۲- نتایج آزمون من کندال در سطح اطمینان ۹۵ درصد برای تایید یا رد وجود روند صعودی یا نزولی داده های ارتفاع تراز یخ زنی در ایستگاه مهرآباد (OIII) در ماه ها و فصل تابستان در بازه زمانی ۱۹۹۸-۲۰۱۹

ردیف	ماه/ فصل	نوع روند	Z (شیب)	P-Value	معادله خط	نتیجه آزمون
۱	ژوئیه	نزولی	-۰/۲۹۲	۰/۳۸۵	$y = -0.3253x + 5642$	رد
۲	اوت	نزولی	-۱/۱۳۵	۰/۱۲۸	$y = -6.4722x + 17893$	رد
۳	سپتامبر	نزولی	-۰/۵۵۱	۰/۲۹	$y = -5.3229x + 15186$	رد
۴	تابستان	نزولی	-۰/۰۳۲	۰/۴۸۷	$y = -4.0402x + 4838.9$	رد

جدول ۳- نتایج آزمون من کندال در سطح اطمینان ۹۵ درصد برای تایید یا رد وجود روند صعودی یا نزولی داده های ارتفاع تراز یخ زنی در ایستگاه مهرآباد (OIII) در ماه ها و فصل پاییز در بازه زمانی ۱۹۹۸-۲۰۱۹

ردیف	ماه/ فصل	نوع روند	Z (شیب)	P-Value	معادله خط	نتیجه آزمون
۱	اکتبر	نزولی	-۱/۵۸۹	۰/۰۵۵	$y = -8.6142x + 21093$	رد
۲	نوامبر	صعودی	۰/۲۹۱	۰/۳۸۵	$y = 0.2505x + 2466.9$	رد
۳	دسامبر	نزولی	-۰/۶۲۹	۰/۲۶۴	$y = -11.741x + 25964$	رد
۴	پاییز	نزولی	-۱/۳۹۵	۰/۰۸۱	$y = -4.0402x + 4838.9$	رد

جدول ۴- نتایج آزمون من کندال در سطح اطمینان ۹۵ درصد برای تایید یا رد وجود روند صعودی یا نزولی داده های ارتفاع تراز یخ زنی در ایستگاه مهرآباد (OIII) در ماه ها و فصل زمستان در بازه زمانی ۱۹۹۸-۲۰۱۹

ردیف	ماه/ فصل	نوع روند	Z (شیب)	P-Value	معادله خط	نتیجه آزمون
۱	ژانویه	صعودی	۱/۳۹	۰/۰۸۱	$y = 16.01x - 30003$	رد
۲	فوریه	صعودی	۰/۵۵	۰/۲۹۰	$y = 4.6981x - 7116.4$	رد
۳	مارس	صعودی	۰/۲۹	۰/۳۸۵	$y = 8.0071x - 13307$	رد
۴	زمستان	صعودی	۱/۱۳۵	۰/۱۲۸	$y = 9.5717x + 2305.6$	رد

و فشار سطح دریا در سالی که بیشینه و یا کمینه ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس رخ داده است و همچنین سامانه های عبوری در ماه و سالی که کمینه ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس اتفاق افتاده است مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است که در ادامه این موارد بیان شده است. البته بدلیل محدودیت حجم قابل ارائه، تنها الگوی متوسط ماهانه دمای ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار سطح دریا در سالی که بیشینه و یا کمینه ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس رخ داده است در ماه دوم هر فصل (مه، اوت، نوامبر و فوریه) تفسیر و نشان داده شده است.

بررسی همدیدی بیشینه و کمینه ارتفاع تراز صفر درجه سلسیوس در ماه های مختلف سال در ایستگاه مهرآباد (OIII) در بازه زمانی ۱۹۹۸-۲۰۱۹
۱. فوریه

در بررسی ارتفاع متوسط ماهانه ی تراز صفر درجه سلسیوس در ماه فوریه کمینه و بیشینه این ارتفاع به ترتیب در سال ۲۰۱۲ و ۲۰۱۶ در ایستگاه مهرآباد اتفاق افتاده است. مطابق با این مطلب دمای متوسط تراز ۸۵۰ و

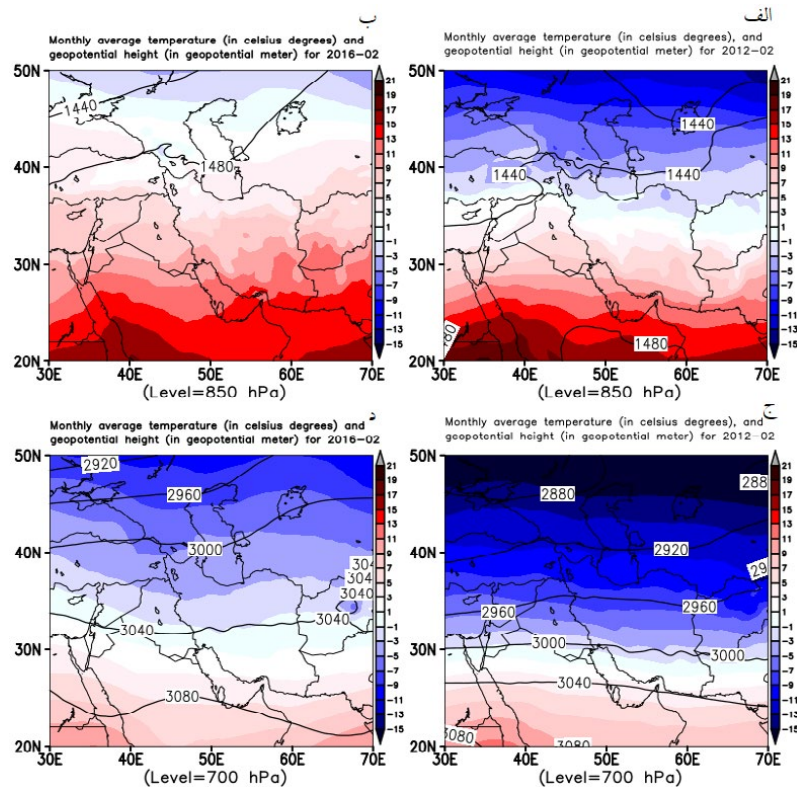
تغییرات ماهانه و فصلی ارتفاع این تراز در سال های مختلف وابسته در ایستگاه های منتخب به تغییرات اقلیم نمی باشد. در حقیقت با توجه به مطالعات دیگران در برخی نقاط جهان که همراه با تغییر اقلیم و گرمایش جهانی ارتفاع تراز یخ زنی رو به افزایش است در مطالعه حاضر برای ایستگاه های منتخب با استناد بر داده های واقعی آزمون من کندال روند صعودی و یا نزولی را نشان نمی دهد.

بررسی های همدیدی که در ادامه آورده شده است، بیانگر این مطلب است که تغییرات ارتفاع این تراز در سال های مختلف وابسته به سامانه های جوی عبوری و شرایط همدیدی ماه یا فصل مربوطه است.

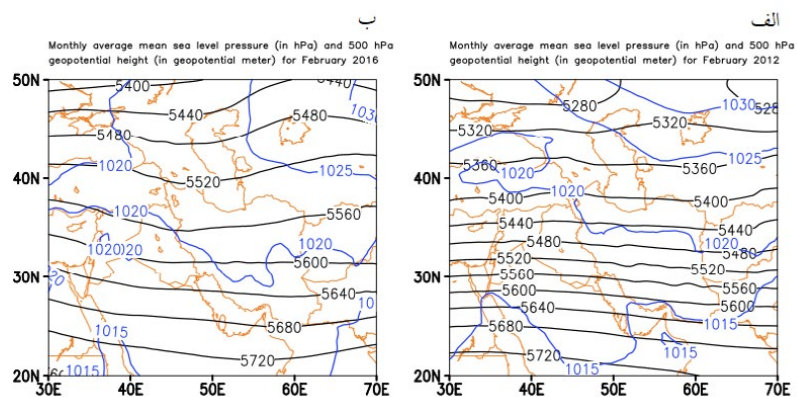
با توجه به عدم وجود روند صعودی و یا نزولی با استفاده از آزمون من کندال در هر یک از ایستگاه های منتخب کشور در بازه زمانی ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۹، تاثیر شرایط همدیدی بر ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در هر ماه، سالی که در آن بیشینه و یا کمینه ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس رخ داده است، مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. بنابراین الگوی متوسط ماهانه دمای ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

هکتوپاسکال در هر دو الگو تقریباً مداری است و در سال ۲۰۱۲ نسبت به سال ۲۰۱۶ از شیو بیشتری برخوردار است و ارتفاع ژئوپتانسیل متوسط ماهانه ۱۲۰ ژئوپتانسیل متر کمتر است (شکل ۲). این مطلب موجب کاهش دمای

۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱) نیز در سال ۲۰۱۲ نسبت به سال ۲۰۱۶ به خصوص در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال کمتر است. بررسی الگوی متوسط ماهانه فشار سطح دریا تفاوت بارزی را نشان نمی دهد؛ اما ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰



شکل ۱- میانگین ماهانه دما (درجه سلسیوس) و ارتفاع ژئوپتانسیل (ژئوپتانسیل متر) در ماه فوریه به ترتیب در سال های ۲۰۱۲ (الف: تراز ۸۵۰ و ج: تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال) و ۲۰۱۶ (ب: تراز ۸۵۰ و د: تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال) که کمینه و بیشینه ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در بازه زمانی سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۹ در ایستگاه مهرآباد، در این دو سال رخ داده است



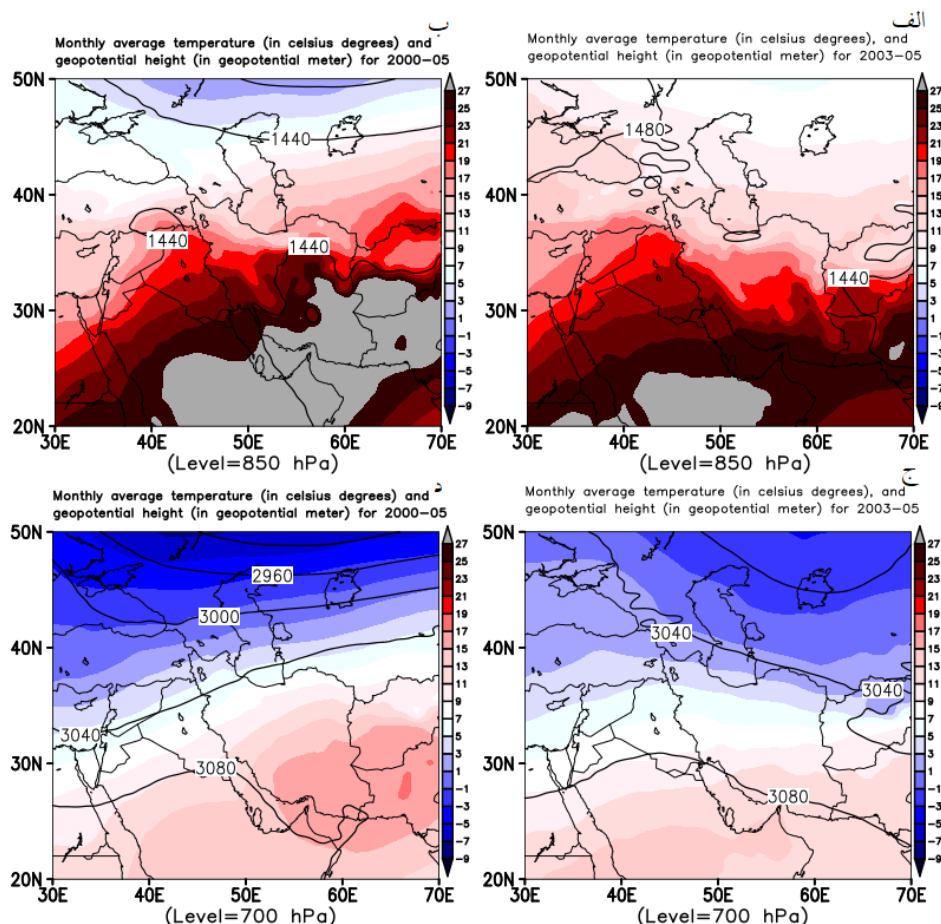
شکل ۲- ارتفاع ژئوپتانسیل (خطوط سیاه رنگ و بر حسب ژئوپتانسیل متر) و فشار سطح دریای (خطوط آبی رنگ و بر حسب هکتوپاسکال) میانگین ماهانه در ماه فوریه به ترتیب در سال های ۲۰۱۲ (الف) و ۲۰۱۶ (ب) که کمینه و بیشینه ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در بازه زمانی سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۹ در ایستگاه مهرآباد، در این دو سال رخ داده است

قابل توجه در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال نسبت به ترازهای زیرین در ماه فوریه سال ۲۰۱۲ شده است. در ماه فوریه سال ۲۰۱۲ که کمینه ارتفاع متوسط ماهانه تراز یخ زنی در آن رخ داده است، سه سامانه همدیدی دینامیکی بر منطقه فعالیت داشته است. در این سه سامانه در سطح زمین مرکز کم فشار همراه با موج تراز میانی وردسپهر سبب وقوع بارندگی، وزش باد و کاهش دما و ارتفاع تراز صفر درجه سلسیوس گردیده است.

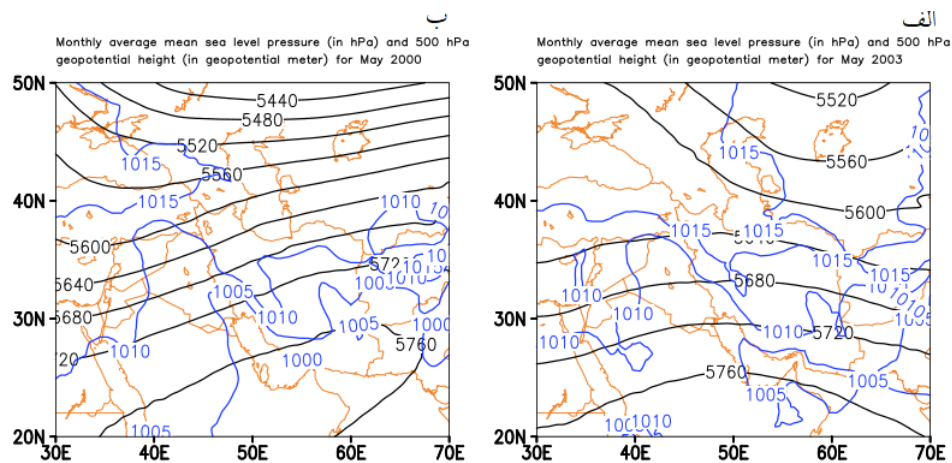
۲. مه

در مطالعه و بررسی ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در ایستگاه مهرآباد در ماه مه، به ترتیب

کمترین و بیشترین مقدار ارتفاع تراز یخ زنی مربوط به سال های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۰ می باشد. بررسی و مطالعه دمای متوسط ماهانه ی تراز ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال نیز کاهش دما در سال ۲۰۰۳ را نسبت به سال ۲۰۰۰ نشان می دهد (شکل ۳). الگوی فشار سطح دریا در سال ۲۰۰۳ که کمینه مقدار ارتفاع تراز یخ زنی در آن رخ داده است افزایش فشار با بیشینه ۵ میلی بار و الگوی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال کاهش ارتفاع ژئوپتانسیل با بیشینه ۴۰ ژئوپتانسیل متر رانشان می دهد (شکل ۴) که منجر به کاهش دما و ارتفاع تراز یخ زنی شده است. در ماه مه سال ۲۰۰۳ که کمینه ارتفاع متوسط تراز یخ زنی در آن رخ داده است، چهار سامانه



شکل ۳- میانگین ماهانه دما (درجه سلسیوس) و ارتفاع ژئوپتانسیل (ژئوپتانسیل متر) در ماه مه به ترتیب در سال های ۲۰۰۳ (الف: تراز ۸۵۰ و ج: تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال) و ۲۰۰۰ (ب: تراز ۸۵۰ و د: تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال) که کمینه و بیشینه ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در بازه زمانی سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۹ در ایستگاه مهرآباد، در این دو سال رخ داده است



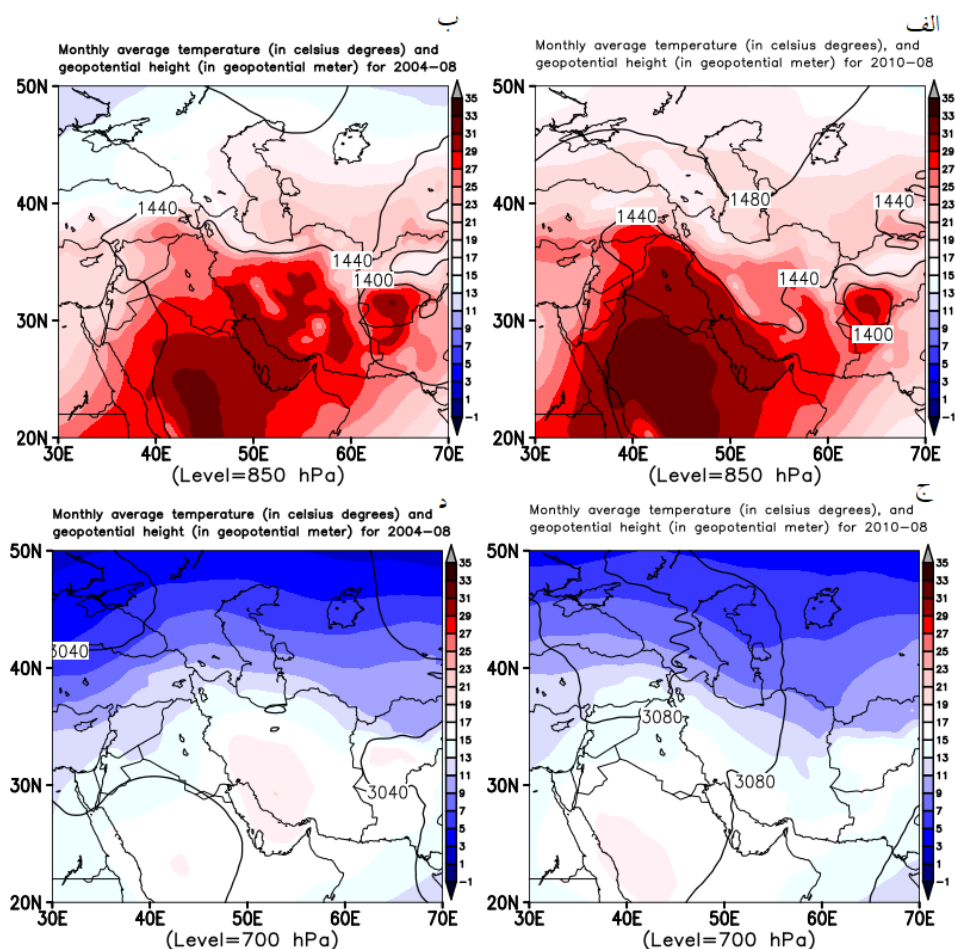
شکل ۴- ارتفاع ژئوپتانسیل (خطوط سیاه رنگ و بر حسب ژئوپتانسیل متر) و فشار سطح دریای (خطوط آبی رنگ و بر حسب هکتوپاسکال) میانگین ماهانه در ماه مه به ترتیب در سال های ۲۰۰۳ (الف) و ۲۰۰۰ (ب) که کمینه و بیشینه ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در بازه زمانی سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۹ در ایستگاه مهرآباد، در این دو سال رخ داده است

آغاز فعالیت نموده است. این سامانه شامل ناوه کم عمق با مرکز مستقر بر دریای سیاه در روز ۲۹ مه سال ۲۰۰۳ است و در روز ۳۰ مه سال ۲۰۰۳ با خروج ناوه تراز میانی وردسپهر از مرزهای شرقی کشور به فعالیت خود بر کشور ایران خاتمه داده است.

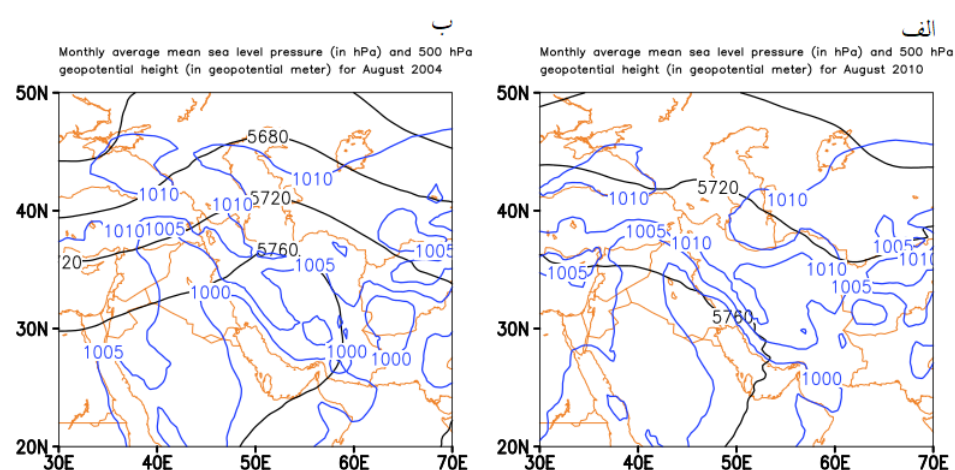
۳.۱/ اوت

در مطالعه و بررسی ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در ایستگاه مهرآباد در ماه اوت، به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار ارتفاع تراز یخ زنی مربوط به سال های ۲۰۱۰ و ۲۰۰۴ می باشد. بررسی و مطالعه دمای متوسط ماهانه ی تراز ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال نیز کاهش دما را در سال ۲۰۱۰ را نسبت به سال ۲۰۰۴ به خصوص در ترازهای زیرین نشان می دهد (شکل ۵). الگوی فشار سطح دریا و الگوی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در سال ۲۰۱۰ که کمینه مقدار ارتفاع تراز یخ زنی در آن رخ داده است نسبت به سال ۲۰۰۴ کاهش ارتفاع ژئوپتانسیل را نشان می دهد اما تفاوت قابل توجهی در الگوی فشار سطح دریا مشاهده نمی شود (شکل ۶). در ماه اوت سال ۲۰۱۰ که کمینه ارتفاع متوسط تراز یخ زنی در آن رخ داده است، تنها یک

همدیدی بر منطقه تاثیر گذاشته است و منجر به کاهش دما شده است. در سامانه اول که در دوم مه سال ۲۰۰۳ فعالیت آن با استقرار کم ارتفاع بریده بر شمال غرب کشور ایران آغاز شده است با حرکت شرق سوی این سامانه در روز پنجم مه سال ۲۰۰۳ از مرزهای شرقی کشور خارج شده است و فعالیت آن که منجر به بارندگی، وزش باد و کاهش دما و ارتفاع تراز یخ زنی شده است، در منطقه ایران خاتمه یافته است. در سامانه دوم مرکز کم ارتفاع بسته ۵۴۰۰ ژئوپتانسیل متر در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر شمال دریای خزر قرار دارد و زبانه آن تا مناطق شمال غربی کشور ایران نفوذ نموده است و با وجود شیو فشاری قابل توجه در این منطقه، جبهه گرم در نوار غربی کشور حاکم است و منجر به کاهش ارتفاع تراز یخ زنی و بارش شده است. شروع فعالیت این سامانه روز هفتم مه ۲۰۰۳ و پایان فعالیت آن بر کشور ایران روز دهم مه بوده است. در سامانه سوم با بازه فعالیت ۲۳ تا ۲۶ مه سال ۲۰۰۳، ناوه ای مستقر بر شمال غرب کشور ایران نفوذ نموده است. این سامانه دینامیکی با حرکت شرق سوی خود از مرزهای شمال شرقی کشور در روز ۲۶ مه سال ۲۰۰۳ خارج می شود. سامانه همدیدی چهارم با طول عمر کوتاه دو روزه از مرزهای شمال غربی کشور



شکل ۵- میانگین ماهانه دما (درجه سلسیوس) و ارتفاع ژئوپتانسیل (ژئوپتانسیل متر) در ماه اوت به ترتیب در سال های ۲۰۱۰ (الف: تراز ۸۵۰ و ج: تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال) و ۲۰۰۴ (ب: تراز ۸۵۰ و د: تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال) که کمینه و بیشینه ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در بازه زمانی سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۹ در ایستگاه مهرآباد، در این دو سال رخ داده است



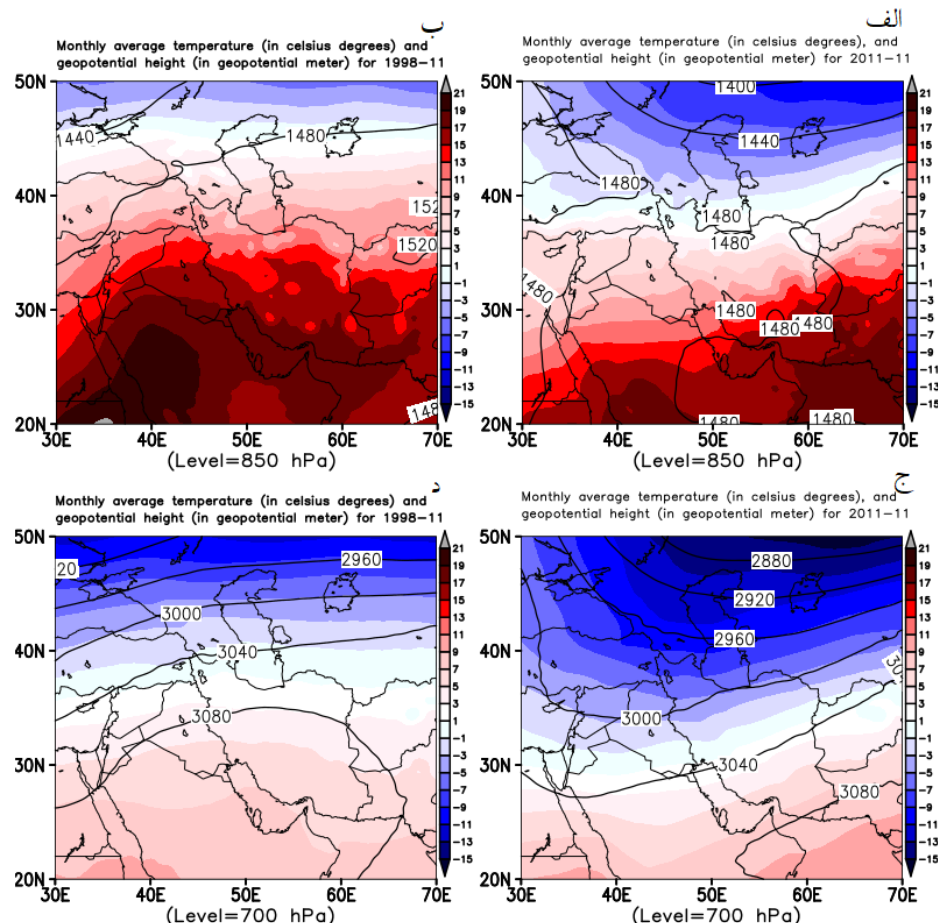
شکل ۶- ارتفاع ژئوپتانسیل (خطوط سیاه رنگ و بر حسب ژئوپتانسیل متر) و فشار سطح دریای (خطوط آبی رنگ و بر حسب هکتوپاسکال) میانگین ماهانه در ماه اوت به ترتیب در سال های ۲۰۱۰ (الف) و ۲۰۰۴ (ب) که کمینه و بیشینه ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در بازه زمانی سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۹ در ایستگاه مهرآباد، در این دو سال رخ داده است

سامانه همدیدی بر منطقه تاثیر گذاشته است و منجر به کاهش دما گردیده است. این سامانه در ۲۵ تا ۳۰ اوت سال ۲۰۱۰ با استقرار ناوه تراز میانی وردسپهر بر شرق دریاچه آرال و نفوذ زبانه های آن بر شمال شرق و نوار شمالی کشور ایران فعالیت نموده است.

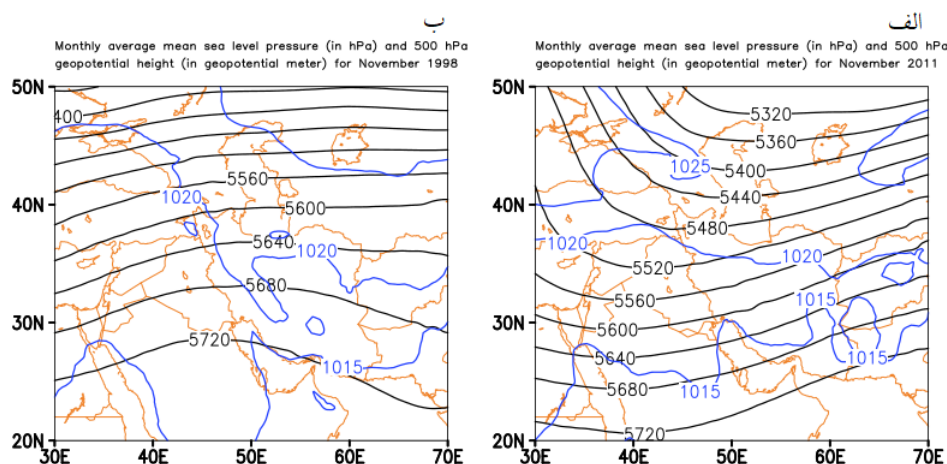
۴. نوامبر

در مطالعه و بررسی ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در ایستگاه مهرآباد در ماه نوامبر، به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار ارتفاع تراز یخ زنی مربوط به سال های ۲۰۱۱ و ۱۹۹۸ می باشد. بررسی و مطالعه دمای متوسط ماهانه ی تراز ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال

نیز کاهش دمای قابل توجه را در سال ۲۰۱۱ را نسبت به سال ۱۹۹۸ نشان می دهد (شکل ۷). الگوی میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ماه نوامبر سال ۲۰۱۱ که کمینه مقدار ارتفاع تراز یخ زنی در آن رخ داده است نسبت به سال ۱۹۹۸ کاهش ارتفاع ژئوپتانسیل را به میزان ۱۲۰ ژئوپتانسیل متر نشان می دهد (شکل ۸). همچنین الگوی میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ماه نوامبر سال ۲۰۱۱ به صورت ناوه ای با رفتار واچرخندی می باشد. در ماه نوامبر سال ۲۰۱۱ که کمینه ارتفاع متوسط تراز یخ زنی در آن رخ داده است، پنج سامانه همدیدی بر منطقه تاثیر گذاشته است و منجر به کاهش دما گردیده است. سامانه اول در اول تا



شکل ۷- میانگین ماهانه دما (درجه سلسیوس) و ارتفاع ژئوپتانسیل (ژئوپتانسیل متر) در ماه نوامبر به ترتیب در سال های ۲۰۱۱ (الف) تراز ۸۵۰ و ج: تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال) و ۱۹۹۸ (ب: تراز ۸۵۰ و د: تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال) که کمینه و بیشینه ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در بازه زمانی سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۹ در ایستگاه مهرآباد، در این دو سال رخ داده است



شکل ۸- ارتفاع ژئوپتانسیل (خطوط سیاه رنگ و بر حسب ژئوپتانسیل متر) و فشار سطح دریای (خطوط آبی رنگ و بر حسب هکتوپاسکال) میانگین ماهانه در ماه نوامبر به ترتیب در سال های ۲۰۱۱ (الف) و ۱۹۹۸ (ب) که کمینه و بیشینه ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در بازه زمانی سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۹ در ایستگاه مهرآباد، در این دو سال رخ داده است

ناوه ای با رفتار واچرخندی با مرکز کم ارتفاع بریده ۵۲۰۰ ژئوپتانسیل متر مستقر بر شمال دریاچه آرال همراه با شیو فشاری قابل توجه بر نیمه شمالی کشور ایران در روز ۲۵ نوامبر سال ۲۰۱۱ آغاز فعالیت نموده است و با رخداد بارش و وزش باد، منجر به کاهش ارتفاع تراز یخ زنی گردیده است. این سامانه در روز ۲۷ نوامبر با حرکت به عرض های بالا به فعالیت خود بر کشور ایران خاتمه داده است. سامانه همدیدی پنجم که آخرین سامانه بارشی این ماه در سال ۲۰۱۱ است با طول عمر کوتاه مدت دو روزه، شامل ناه ای با رفتار واچرخندی با مرکز کم ارتفاع بریده ۵۲۸۰ ژئوپتانسیل متر مستقر در بین دریاچه آرال و خزر است که در روز ۲۹ نوامبر سال ۲۰۱۱ بر کشور ایران آغاز فعالیت نموده است و با رخداد بارش و وزش باد، منجر به کاهش ارتفاع تراز یخ زنی گردیده است. این سامانه در روز ۳۰ نوامبر با حرکت به عرض های بالا به فعالیت خود بر کشور ایران خاتمه داده است.

پس از این در بخش (ب) و (ج) به دلیل زیاد بودن تعداد شکل ها و محدودیت حجم مقاله، از ارائه تحلیل همدیدی سامانه های همدیدی فعال، در ماه و سالی که کمینه ارتفاع تراز یخ زنی در ایستگاه های فرودگاه مشهد و کرمانشاه رخ داده است خودداری می شود.

سوم نوامبر سال ۲۰۱۱ با استقرار ناه تراز میانی وردسپهر با رفتار واچرخندی بر نیمه شمالی کشور ایران فعالیت نموده است. دامنه این ناه بتدریج ضعیف شده است و با حرکت به عرض های بالا سرانجام این سامانه در روز سوم نوامبر سال ۲۰۱۱ از مرزهای شمال شرقی کشور خارج شده است و فعالیت آن که منجر به بارندگی، وزش باد و کاهش دما و ارتفاع تراز یخ زنی شده است، در منطقه ایران خاتمه یافته است. در سامانه دوم کم ارتفاع بریده با مرکز ۵۴۸۰ ژئوپتانسیل متر در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر کشورهای همسایه غربی ایران قرار دارد و مرزهای غربی کشور ایران در دامنه این موج قرار دارد و منجر به کاهش ارتفاع تراز یخ زنی و بارش شده است. شروع فعالیت این سامانه روز ششم نوامبر سال ۲۰۱۱ و پایان فعالیت آن بر کشور ایران روز نهم نوامبر سال ۲۰۱۱ بوده است. سامانه سوم با بازه فعالیت ۲۰ تا ۲۳ نوامبر سال ۲۰۱۱، مشابه با سامانه قبلی ناه ای بر کشورهای همسایه غربی کشور ایران مستقر است که با حرکت شرق سوی این سامانه کشور ایران تحت تاثیر این سامانه قرار گرفته است. این سامانه با حرکت شرق سوی خود از مرزهای شمال شرقی کشور در روز ۲۳ نوامبر سال ۲۰۱۱ خارج می شود. در سامانه همدیدی چهارم با طول عمر کوتاه مدت دو روزه،

ب: ایستگاه فرودگاه مشهد

و یا نزولی ماهانه و فصلی تغییرات ارتفاع متوسط تراز صفر درجه سلسیوس در سال های مختلف با استفاده از آزمون من کندال در جدول های ۵ تا ۸ آورده شده است. بررسی ماهانه و فصلی تغییرات ارتفاع متوسط تراز صفر درجه سلسیوس در سال های مختلف با استفاده از آزمون من کندال روند صعودی و یا نزولی خاصی را نشان نمی دهد. به بیان دیگر تغییرات ماهانه و فصلی ارتفاع این

در این ایستگاه با شرایط ذکر شده در بخش داده ها و روش کار، داده های رادیوگمانه در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ وجود داشتند. از این اطلاعات در دسترس برای بررسی تغییرات ارتفاع متوسط تراز صفر درجه سلسیوس در ماه ها، فصل ها و سال های مختلف در ایستگاه فرودگاه مشهد استفاده شد. نتایج بررسی روند صعودی

جدول ۵- نتایج آزمون من کندال در سطح اطمینان ۹۵ درصد برای تایید یا رد وجود روند صعودی یا نزولی داده های ارتفاع تراز یخ زنی در ایستگاه مشهد (OIMM) در ماه ها و فصل بهار در بازه زمانی ۱۹۹۸-۲۰۱۷

ردیف	ماه/ فصل	نوع روند	Z (شیب)	P-Value	معادله خط	نتیجه آزمون
۱	آوریل	نزولی	-۱/۷۴۲	۰/۰۴۰	$y = -15.144x + 33844$	رد
۲	مه	صعودی	۱/۱۳۶	۰/۸۷۲	$y = 13.228x - 22517$	رد
۳	ژوئن	صعودی	۱/۰۶۰	۰/۸۵۵	$y = 8.773x - 13034$	رد
۴	بهار	صعودی	۰	۰/۵	$y = 2.6x - 1200.7$	رد

جدول ۶- نتایج آزمون من کندال در سطح اطمینان ۹۵ درصد برای تایید یا رد وجود روند صعودی یا نزولی داده های ارتفاع تراز یخ زنی در ایستگاه مشهد (OIMM) در ماه ها و فصل تابستان در بازه زمانی ۱۹۹۸-۲۰۱۷

ردیف	ماه/ فصل	نوع روند	Z (شیب)	P-Value	معادله خط	نتیجه آزمون
۱	ژوئیه	صعودی	۰/۹۰۹	۰/۱۸۱	$y = 14.905x - 24994$	رد
۲	اوت	نزولی	-۰/۳۷۸	۰/۳۵۲	$y = -1.0047x + 6839.8$	رد
۳	سپتامبر	صعودی	۰/۱۵۱	۰/۴۳۹	$y = 3.4156x - 2482.7$	رد
۴	تابستان	صعودی	۱/۱۳۶	۰/۱۲۷	$y = 5.2135x - 5761.3$	رد

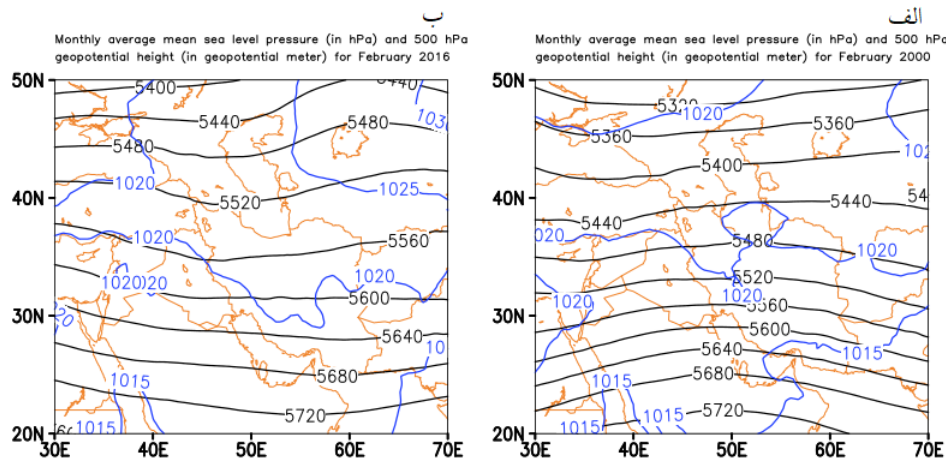
جدول ۷- نتایج آزمون من کندال در سطح اطمینان ۹۵ درصد برای تایید یا رد وجود روند صعودی یا نزولی داده های ارتفاع تراز یخ زنی در ایستگاه مشهد (OIMM) در ماه ها و فصل پاییز در بازه زمانی ۱۹۹۸-۲۰۱۷

ردیف	ماه/ فصل	نوع روند	Z (شیب)	P-Value	معادله خط	نتیجه آزمون
۱	اکتبر	نزولی	-۰/۶۸۱	۰/۲۴۷	$y = -7.1342x + 18044$	رد
۲	نوامبر	صعودی	۰/۱۵۱	۰/۴۳۹	$y = 4.089x - 5350.4$	رد
۳	دسامبر	صعودی	۰/۶۱۷	۰/۲۶۸	$y = 10.71x - 19155$	رد
۴	پاییز	صعودی	۰/۱۵۱	۰/۴۳۹	$y = 0.5756x + 1842.6$	رد

جدول ۸- نتایج آزمون من کندال در سطح اطمینان ۹۵ درصد برای تایید یا رد وجود روند صعودی یا نزولی داده های ارتفاع تراز یخ زنی در ایستگاه مشهد (OIMM) در ماه ها و فصل زمستان در بازه زمانی ۱۹۹۸-۲۰۱۷

ردیف	ماه/ فصل	نوع روند	Z (شیب)	P-Value	معادله خط	نتیجه آزمون
۱	ژانویه	نزولی	-۰/۵۳۰	۰/۲۹۷	$y = -6.6931x + 15672$	رد
۲	فوریه	صعودی	۰/۶۰۶	۰/۷۲۷	$y = 7.0329x - 11899$	رد
۳	مارس	نزولی	-۰/۶۰۶	۰/۲۷۲	$y = -5.3335x + 13448$	رد
۴	زمستان	نزولی	-۰/۳۰۳	۰/۳۸۰	$y = -1.6646x + 5740.5$	رد

شکل ۹- میانگین ماهانه دما (درجه سلسیوس) و ارتفاع ژئوپتانسیل (ژئوپتانسیل متر) در ماه فوریه به ترتیب در سال های ۲۰۰۰ (الف): تراز ۸۵۰ و ج: تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال) و ۲۰۱۶ (ب): تراز ۸۵۰ و د: تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال) که کمینه و بیشینه ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در بازه زمانی سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ در ایستگاه فرودگاه مشهد، در این دو سال رخ داده است



شکل ۱۰- ارتفاع ژئوپتانسیل (خطوط سیاه رنگ و بر حسب ژئوپتانسیل متر) و فشار سطح دریای (خطوط آبی رنگ و بر حسب هکتوپاسکال) میانگین ماهانه در ماه فوریه به ترتیب در سال های ۲۰۰۰ (الف) و ۲۰۱۶ (ب) که کمینه و بیشینه ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در بازه زمانی سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ در ایستگاه فرودگاه مشهد، در این دو سال رخ داده است

ماهانۀ ی تراز ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال نیز کاهش دما را در سال ۲۰۱۰ را نسبت به سال ۲۰۱۳ در شمال شرق کشور نشان می دهد (شکل ۱۱). الگوی میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ماه اوت سال ۲۰۱۰ که کمینه مقدار ارتفاع تراز یخ زنی در آن رخ داده است نسبت به سال ۲۰۱۳ کاهش ناچیز ارتفاع ژئوپتانسیل را در شمال شرق کشور نشان می دهد (شکل ۱۲).

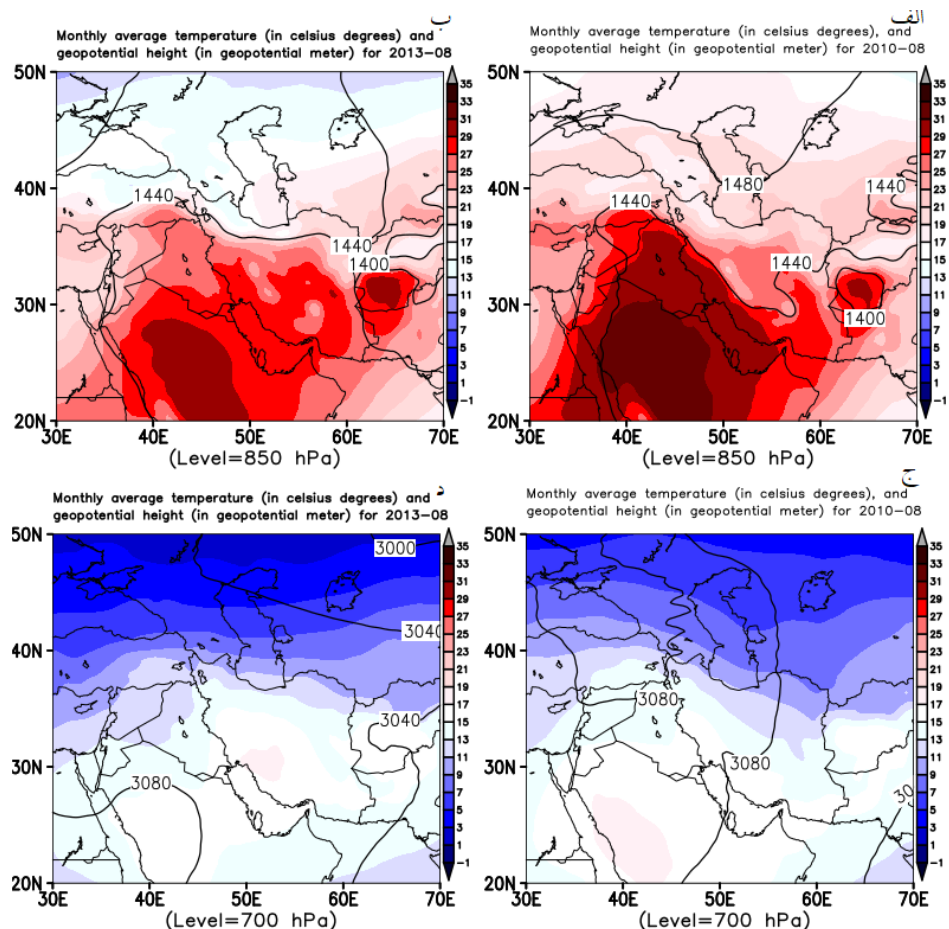
۴. نوامبر

در مطالعه و بررسی ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در ایستگاه مشهد در ماه نوامبر، به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار ارتفاع تراز یخ زنی مربوط به سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۷ می باشد. بررسی و مطالعه دمای متوسط ماهانه ی تراز ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال نیز کاهش دما را در سال ۲۰۰۰ را نسبت به سال ۲۰۰۷ نشان می دهد (شکل ۱۳). الگوی میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ماه نوامبر سال ۲۰۰۰ که کمینه مقدار ارتفاع تراز یخ زنی در آن رخ داده است نسبت به سال ۲۰۰۷ کاهش ارتفاع ژئوپتانسیل را به میزان ۴۰ ژئوپتانسیل متر و افزایش فشار در حدود پنج هکتوپاسکال را نشان می دهد (شکل ۱۴). در ماه

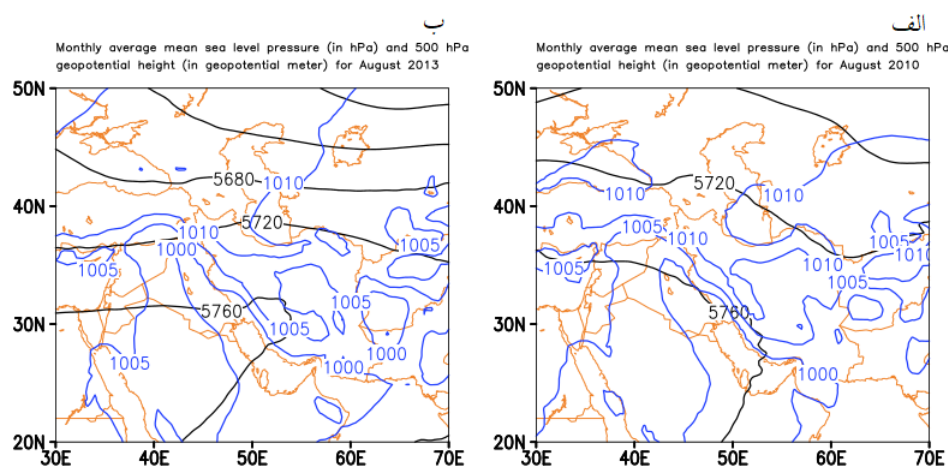
۲. مه
در مطالعه و بررسی ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در ایستگاه مشهد در ماه مه، به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار ارتفاع تراز یخ زنی مربوط به سال های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۰ می باشد. این شرایط دقیقاً مطابق با ماه مه ایستگاه فرودگاه مهرآباد است. از این رو تحلیل همدیدی شرایط متوسط ماهانه سال رخداد کمترین و بیشترین مقدار ارتفاع تراز یخ زنی و تحلیل همدیدی سامانه های عبوری در ماه رخداد کمترین ارتفاع تراز یخ زنی مانند بخش الف-۵ است.

۳. اوت

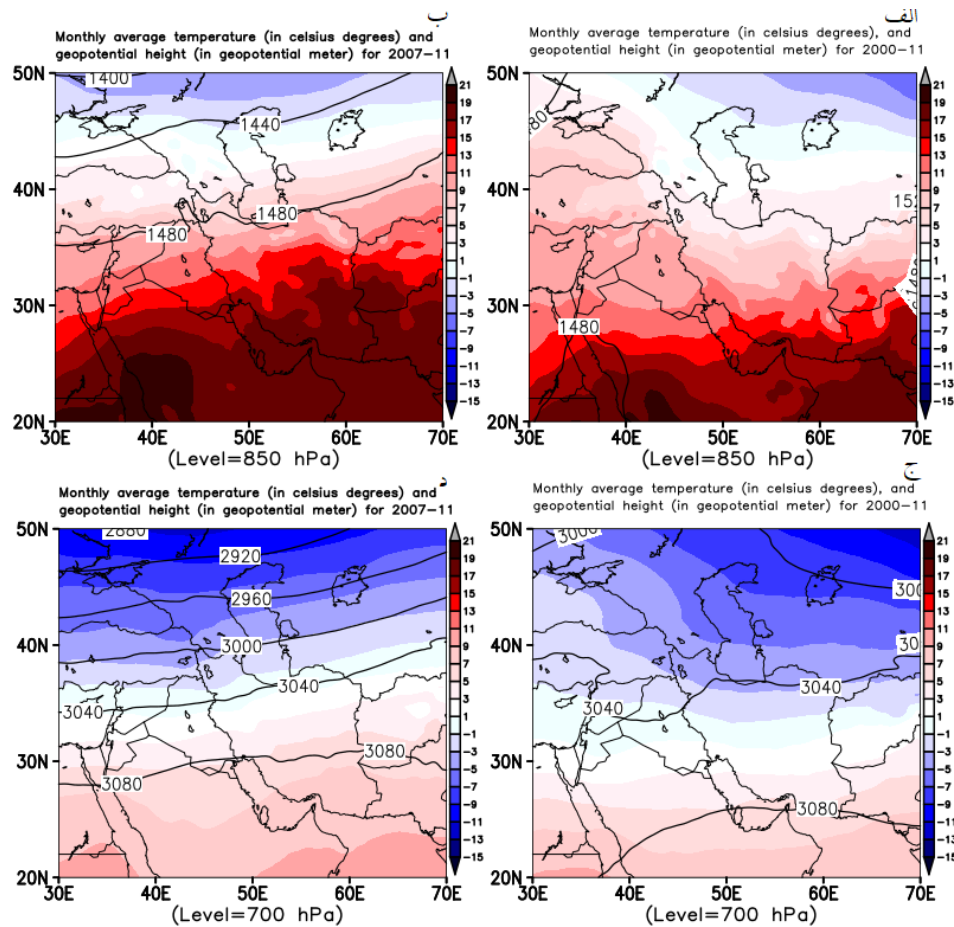
در مطالعه و بررسی ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در ایستگاه مشهد در ماه اوت، به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار ارتفاع تراز یخ زنی مربوط به سال های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۳ می باشد. سالی که در ماه اوت در آن کمینه مقدار ارتفاع تراز یخ زنی در آن در ایستگاه فرودگاه مشهد رخ داده است مطابق با ایستگاه فرودگاه مهرآباد است. از این رو تحلیل همدیدی سامانه های عبوری در ماه رخداد کمترین ارتفاع تراز یخ زنی مانند بخش الف-۸ است. بررسی و مطالعه دمای متوسط



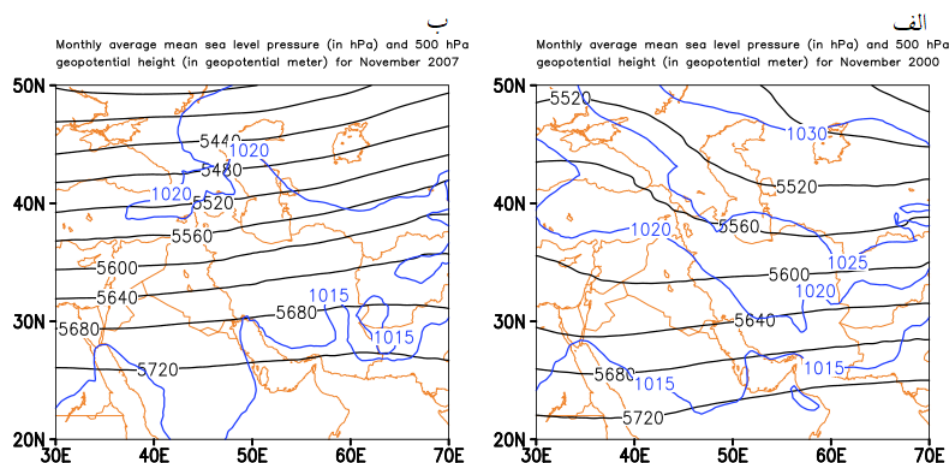
شکل ۱۱- میانگین ماهانه دما (درجه سلسیوس) و ارتفاع ژئوپتانسیل (ژئوپتانسیل متر) در ماه اوت به ترتیب در سال های ۲۰۱۰ (الف: تراز ۸۵۰ و ج: تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال) و ۲۰۱۳ (ب: تراز ۸۵۰ و د: تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال) که کمینه و بیشینه ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در بازه زمانی سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ در ایستگاه فرودگاه مشهد، در این دو سال رخ داده است



شکل ۱۲- ارتفاع ژئوپتانسیل (خطوط سیاه رنگ و بر حسب ژئوپتانسیل متر) و فشار سطح دریای (خطوط آبی رنگ و بر حسب هکتوپاسکال) میانگین ماهانه در ماه اوت به ترتیب در سال های ۲۰۱۰ (الف) و ۲۰۱۳ (ب) که کمینه و بیشینه ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در بازه زمانی سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ در ایستگاه فرودگاه مشهد، در این دو سال رخ داده است



شکل ۱۳- میانگین ماهانه دما (درجه سلسیوس) و ارتفاع ژئوپتانسیل (ژئوپتانسیل متر) در ماه نوامبر به ترتیب در سال های ۲۰۰۰ (الف): تراز ۸۵۰ و ج: تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال) و ۲۰۰۷ (ب): تراز ۸۵۰ و د: تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال) که کمینه و بیشینه ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در بازه زمانی سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ در ایستگاه فرودگاه مشهد، در این دو سال رخ داده است



شکل ۱۴- ارتفاع ژئوپتانسیل (خطوط سیاه رنگ و بر حسب ژئوپتانسیل متر) و فشار سطح دریای (خطوط آبی رنگ و بر حسب هکتوپاسکال) میانگین ماهانه در ماه نوامبر به ترتیب در سال های ۲۰۰۰ (الف) و ۲۰۰۷ (ب) که کمینه و بیشینه ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در بازه زمانی سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ در ایستگاه فرودگاه مشهد، در این دو سال رخ داده است

نوامبر سال ۲۰۰۰ که کمینه ارتفاع متوسط تراز یخ زنی در آن رخ داده است، دو سامانه همدیدی بر منطقه تاثیر گذاشته است و منجر به کاهش دما گردیده است.

ج: ایستگاه فرودگاه کرمانشاه

داده های رادیوگمانه در ایستگاه فرودگاه کرمانشاه با شرایط ذکر شده در بخش داده ها و روش کار، در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ در دسترس بودند که از این اطلاعات برای بررسی تغییرات ارتفاع متوسط تراز صفر درجه سلسیوس در ماه ها، فصل ها و سال های مختلف استفاده گردید. بدلیل کمبود داده های در دسترس رادیوگمانه در این ایستگاه امکان بررسی ماهانه و فصلی تغییرات ارتفاع متوسط تراز صفر درجه سلسیوس در سال های مختلف با استفاده از آزمون من کندال میسر نیست. اما بر اساس نتایج دو ایستگاه دیگر که تغییرات ماهانه و فصلی ارتفاع این تراز در سال های مختلف در این ایستگاه ها وابسته به تغییرات اقلیم نبود، بررسی های همدیدی در این ایستگاه نیز صورت گرفته است که این بررسی ها گواه این مطلب است که تغییرات ارتفاع این تراز در سال های مختلف وابسته به سامانه های جو عبوری و شرایط همدیدی ماه یا فصل مربوطه است.

بررسی همدیدی بیشینه و کمینه ارتفاع تراز صفر درجه سلسیوس در ماه های مختلف سال در ایستگاه مشهد (OIMM) در بازه زمانی ۲۰۱۲-۲۰۰۷:

۱. فوریه

در مطالعه و بررسی ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در ایستگاه کرمانشاه در ماه فوریه، به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار ارتفاع تراز یخ زنی مربوط به سال های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۰ می باشد. سالی که در ماه فوریه در آن کمینه مقدار ارتفاع تراز یخ زنی در آن در ایستگاه فرودگاه کرمانشاه رخ داده است مطابق با ایستگاه فرودگاه مهرآباد است. از این رو تحلیل همدیدی سامانه های عبوری در ماه رخداد کمترین ارتفاع تراز یخ زنی مانند بخش الف-۲ است. بررسی و مطالعه دمای

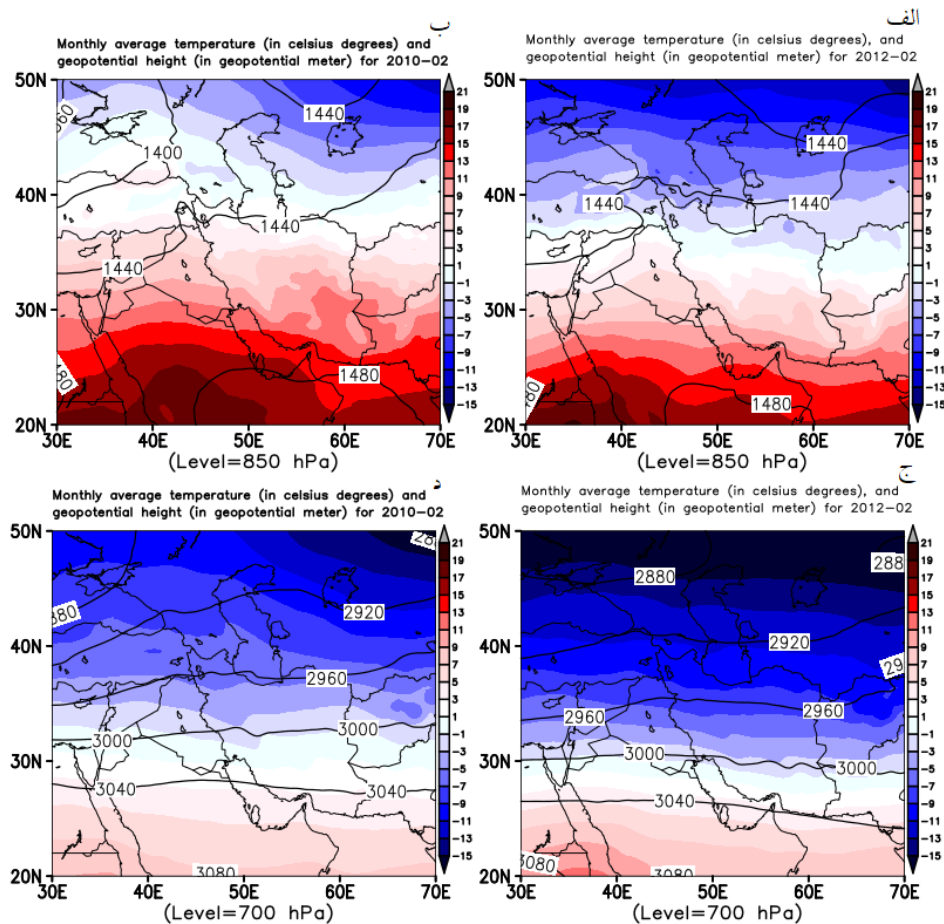
متوسط ماهانه ی تراز ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال نیز کاهش دما را در سال ۲۰۱۲ را نسبت به سال ۲۰۱۰ نشان می دهد (شکل ۱۵). الگوی میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ماه فوریه سال ۲۰۱۲ که کمینه مقدار ارتفاع تراز یخ زنی در آن رخ داده است نسبت به سال ۲۰۱۰ کاهش ارتفاع ژئوپتانسیل را به میزان ۴۰ ژئوپتانسیل متر و افزایش فشار در حدود پنج هکتوپاسکال را نشان می دهد (شکل ۱۶).

۲. مه

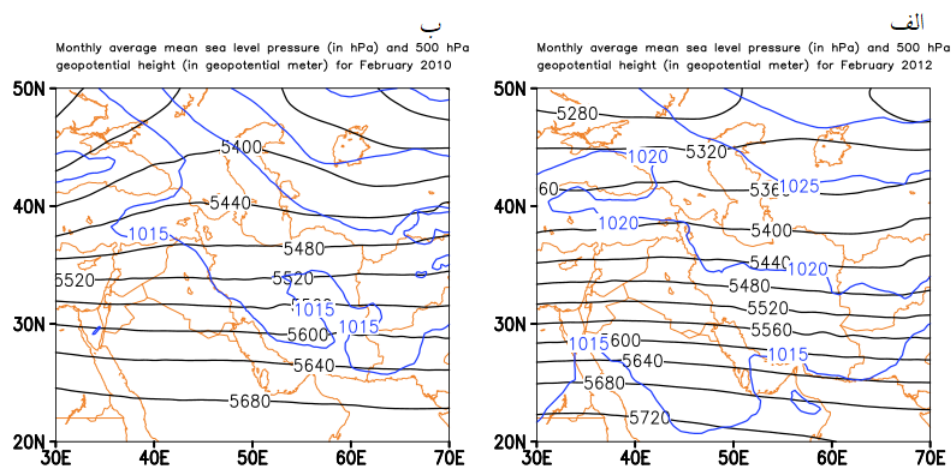
در مطالعه و بررسی ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در ایستگاه کرمانشاه در ماه مه، به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار ارتفاع تراز یخ زنی مربوط به سال های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۷ می باشد. بررسی و مطالعه دمای متوسط ماهانه ی تراز ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال نیز کاهش دما را در سال ۲۰۰۸ را نسبت به سال ۲۰۰۷ در منطقه کرمانشاه و غرب کشور به ویژه در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال نشان می دهد (شکل ۱۷). الگوی میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ماه مه سال ۲۰۰۸ که کمینه مقدار ارتفاع تراز یخ زنی در آن رخ داده است نسبت به سال ۲۰۰۷ کاهش ارتفاع ژئوپتانسیل را به میزان ۸۰ ژئوپتانسیل متر را نشان می دهد (شکل ۱۸). همچنین الگوی میانگین این ماه در سال ۲۰۰۸ به صورت ناوه ای نصف النهاری با محور واقع بر کشورهای همسایه غربی ایران است که کشور ایران در دامنه این ناوه قرار دارد. در ماه مه سال ۲۰۰۸ که کمینه ارتفاع متوسط تراز یخ زنی در آن رخ داده است، سه سامانه همدیدی بر منطقه تاثیر گذاشته است و منجر به کاهش دما گردیده است.

۳. اوت

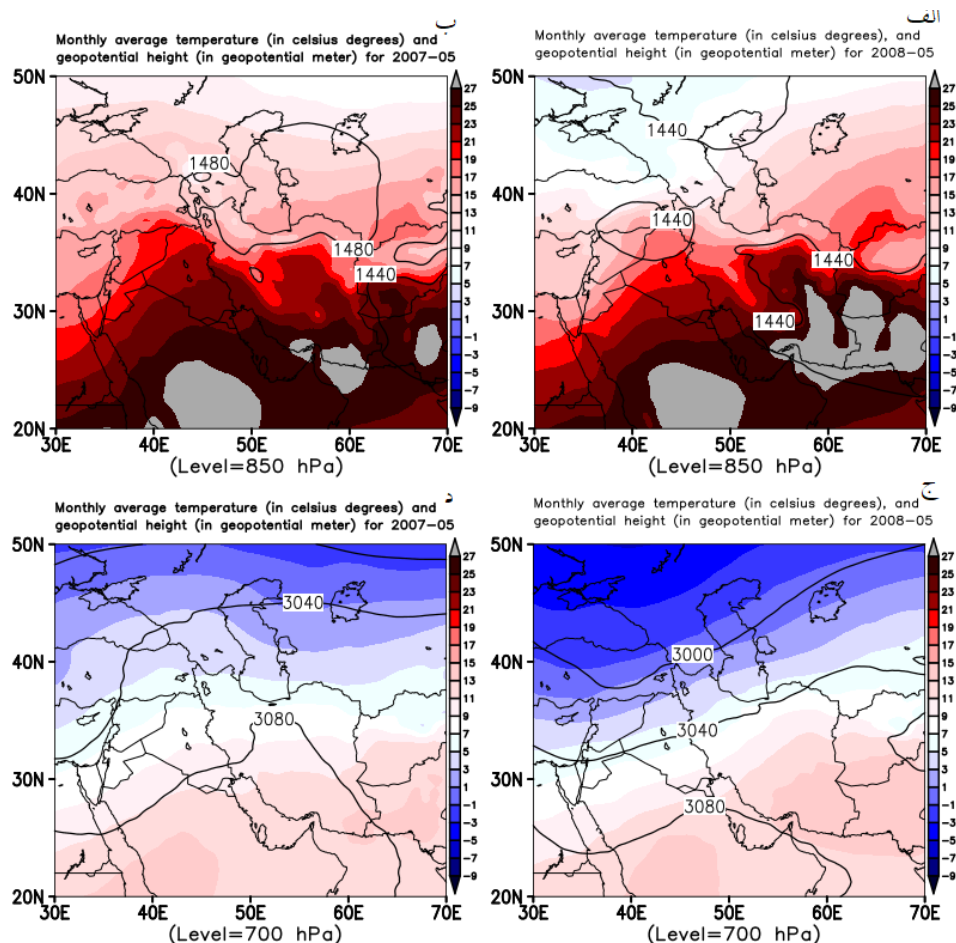
در مطالعه و بررسی ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در ایستگاه کرمانشاه در ماه اوت، به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار ارتفاع تراز یخ زنی مربوط به سال های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۲ می باشد. بررسی



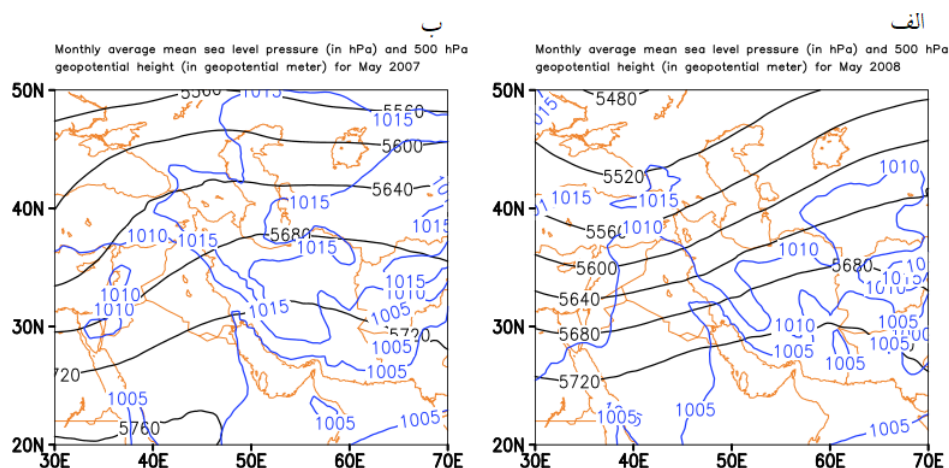
شکل ۱۵- میانگین ماهانه دما (درجه سلسیوس) و ارتفاع ژئوپتانسیل (ژئوپتانسیل متر) در ماه فوریه به ترتیب در سال های ۲۰۱۲ (الف: تراز ۸۵۰ و ج: تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال) و ۲۰۱۰ (ب: تراز ۸۵۰ و د: تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال) که کمینه و بیشینه ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در بازه زمانی سال های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ در ایستگاه فرودگاه کرمانشاه، در این دو سال رخ داده است



شکل ۱۶- ارتفاع ژئوپتانسیل (خطوط سیاه رنگ و بر حسب ژئوپتانسیل متر) و فشار سطح دریای (خطوط آبی رنگ و بر حسب هکتوپاسکال) میانگین ماهانه در ماه فوریه به ترتیب در سال های ۲۰۱۲ (الف) و ۲۰۱۰ (ب) که کمینه و بیشینه ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در بازه زمانی سال های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ در ایستگاه فرودگاه کرمانشاه، در این دو سال رخ داده است



شکل ۱۷- میانگین ماهانه دما (درجه سلسیوس) و ارتفاع ژئوپتانسیل (ژئوپتانسیل متر) در ماه مه به ترتیب در سال های ۲۰۰۸ (الف: تراز ۸۵۰ و ج: تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال) و ۲۰۰۷ (ب: تراز ۸۵۰ و د: تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال) که کمینه و بیشینه ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در بازه زمانی سال های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ در ایستگاه فرودگاه کرمانشاه، در این دو سال رخ داده است

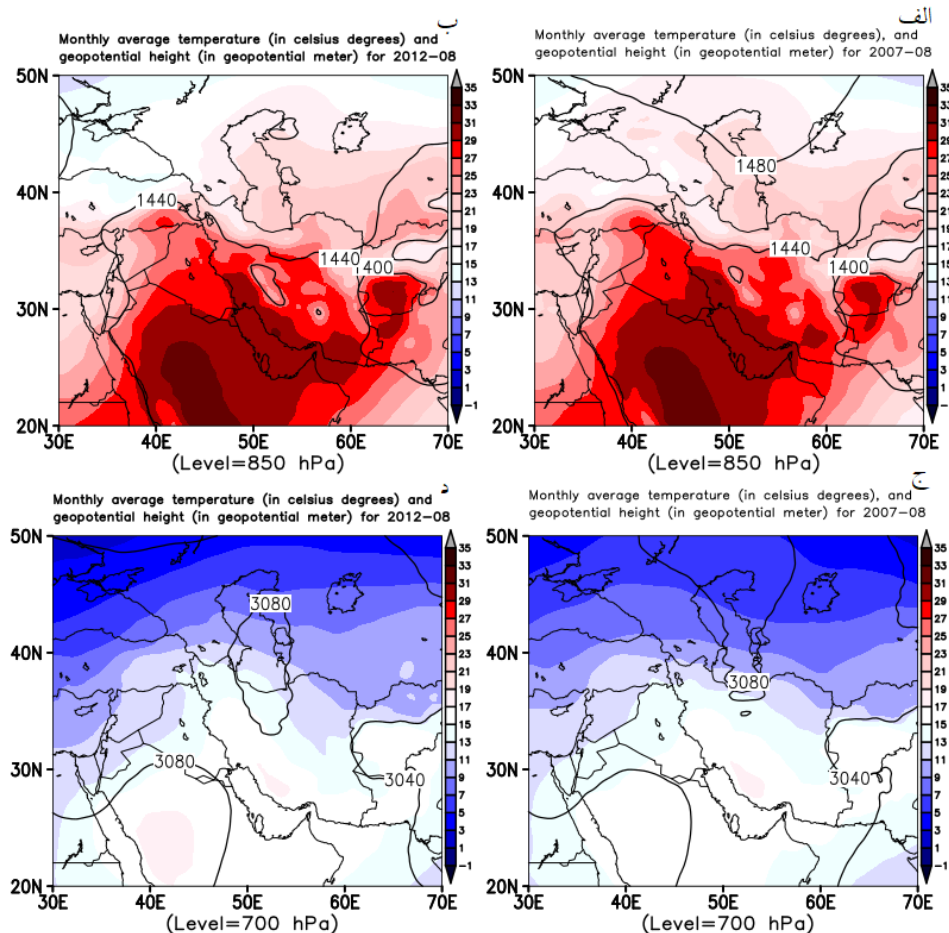


شکل ۱۸- ارتفاع ژئوپتانسیل (خطوط سیاه رنگ و بر حسب ژئوپتانسیل متر) و فشار سطح دریای (خطوط آبی رنگ و بر حسب هکتوپاسکال) میانگین ماهانه در ماه مه به ترتیب در سال های ۲۰۰۸ (الف) و ۲۰۰۷ (ب) که کمینه و بیشینه ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در بازه زمانی سال های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ در ایستگاه فرودگاه کرمانشاه، در این دو سال رخ داده است

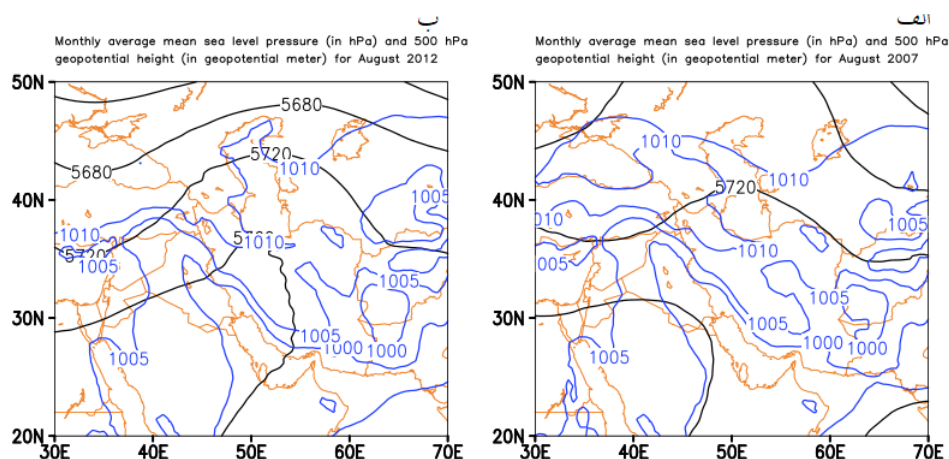
۴. نوامبر

در مطالعه و بررسی ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در ایستگاه کرمانشاه در ماه نوامبر، به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار ارتفاع تراز یخ زنی مربوط به سال های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۰ می باشد. سالی که در ماه نوامبر در آن کمینه مقدار ارتفاع تراز یخ زنی در ایستگاه فرودگاه کرمانشاه رخ داده است مطابق با سامانه های عبوری در ماه رخداد کمترین ارتفاع تراز یخ زنی مانند بخش الف-۱۱ است. بررسی و مطالعه دمای متوسط ماهانه ی تراز ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال نیز

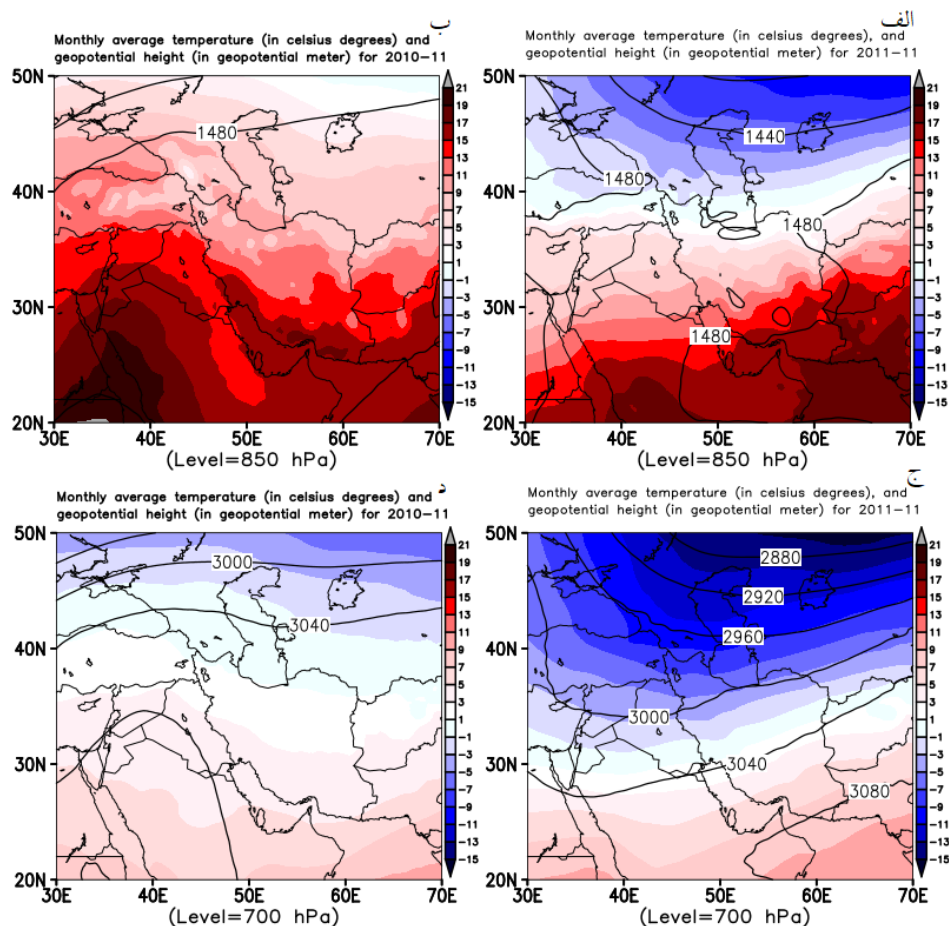
و مطالعه دمای متوسط ماهانه ی تراز ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال نیز کاهش دما را در سال ۲۰۰۷ را نسبت به سال ۲۰۱۲ نشان می دهد (شکل ۱۹). الگوی میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ماه اوت سال ۲۰۰۷ که کمینه مقدار ارتفاع تراز یخ زنی در آن رخ داده است نسبت به سال ۲۰۱۲ کاهش ارتفاع ژئوپتانسیل را به میزان ۴۰ ژئوپتانسیل متر را نشان می دهد (شکل ۲۰). در ماه اوت سال ۲۰۰۷ که کمینه ارتفاع متوسط تراز یخ زنی در آن رخ داده است، دو سامانه همدیدی بر منطقه تاثیر گذاشته است و منجر به کاهش دما گردیده است.



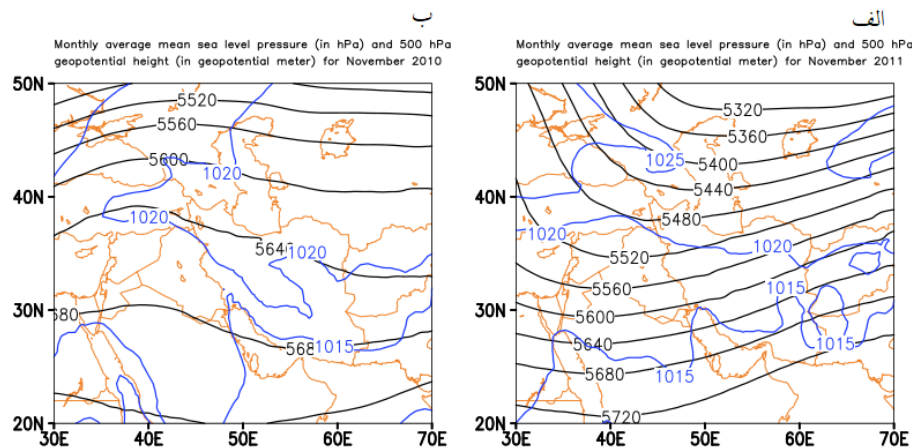
شکل ۱۹- میانگین ماهانه دما (درجه سلسیوس) و ارتفاع ژئوپتانسیل (ژئوپتانسیل متر) در ماه اوت به ترتیب در سال های ۲۰۰۷ (الف): تراز ۸۵۰ و ج: تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال) و ۲۰۱۲ (ب): تراز ۸۵۰ و د: تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال) که کمینه و بیشینه ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در بازه زمانی سال های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ در ایستگاه فرودگاه کرمانشاه، در این دو سال رخ داده است



شکل ۲۰- ارتفاع ژئوپتانسیل (خطوط سیاه رنگ و بر حسب ژئوپتانسیل متر) و فشار سطح دریای (خطوط آبی رنگ و بر حسب هکتوپاسکال) میانگین ماهانه در ماه اوت به ترتیب در سال های ۲۰۰۷ (الف) و ۲۰۱۲ (ب) که کمینه و بیشینه ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در بازه زمانی سال های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ در ایستگاه فرودگاه کرمانشاه، در این دو سال رخ داده است



شکل ۲۱- میانگین ماهانه دما (درجه سلسیوس) و ارتفاع ژئوپتانسیل (ژئوپتانسیل متر) در ماه نوامبر به ترتیب در سال های ۲۰۱۱ (الف): تراز ۸۵۰ و ج: تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال) و ۲۰۱۰ (ب): تراز ۸۵۰ و د: تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال) که کمینه و بیشینه ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در بازه زمانی سال های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ در ایستگاه فرودگاه کرمانشاه، در این دو سال رخ داده است



شکل ۲۲- ارتفاع ژئوپتانسیل (خطوط سیاه رنگ و بر حسب ژئوپتانسیل متر) و فشار سطح دریای (خطوط آبی رنگ و بر حسب هکتوپاسکال) میانگین ماهانه در ماه نوامبر به ترتیب در سال های ۲۰۱۱ (الف) و ۲۰۱۰ (ب) که کمینه و بیشینه ارتفاع متوسط ماهانه تراز صفر درجه سلسیوس در بازه زمانی سال های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ در ایستگاه فرودگاه کرمانشاه، در این دو سال رخ داده است

برخی مطالعات انجام شده در خارج از کشور (مانند وانگ و همکاران، ۲۰۱۴؛ شاوکر و همکاران، ۲۰۱۷) وابسته به تغییرات اقلیم نمی باشد. اما نتایج مطالعه حاضر همبستگی ارتفاع تراز صفر درجه سلسیوس را با دمای سطوح نزدیک سطح زمین نشان می دهد که مطابق با نتایج مطالعه دیاز و گراهام، ۱۹۹۶ و هریس و همکاران، ۲۰۰۰ می باشد. بررسی های همدیدی که در بخش های الف، ب و ج آورده شده است، بیان گر این مطلب است که تغییرات ارتفاع این تراز در سال های مختلف وابسته به سامانه های جوی عبوری و شرایط همدیدی ماه یا فصل مربوطه است. همچنین داده های رادیوگمانه در ایستگاه فرودگاه کرمانشاه با شرایط ذکر شده در بخش داده ها و روش کار در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ در دسترس بودند که از این اطلاعات برای بررسی تغییرات ارتفاع متوسط تراز صفر درجه سلسیوس در ماه ها، فصل ها و سال های مختلف استفاده گردید. بدلیل کمبود داده های در دسترس رادیوگمانه در این ایستگاه امکان بررسی ماهانه و فصلی تغییرات ارتفاع متوسط تراز صفر درجه سلسیوس در سال های مختلف با استفاده از آزمون مَن کندال میسر نیست. اما بر اساس نتایج دو ایستگاه دیگر که تغییرات ماهانه و فصلی ارتفاع این تراز در سال های مختلف در این ایستگاه ها وابسته به تغییرات اقلیم نبود، بررسی های

کاهش دما را در سال ۲۰۱۱ را نسبت به سال ۲۰۱۰ نشان می دهد (شکل ۲۱). الگوی میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ماه نوامبر سال ۲۰۱۱ که کمینه مقدار ارتفاع تراز یخ زنی در آن رخ داده است نسبت به سال ۲۰۱۰ کاهش قابل توجه ارتفاع ژئوپتانسیل را به میزان ۱۴۰ ژئوپتانسیل متر نشان می دهد (شکل ۲۲). همچنین الگوی میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ماه نوامبر سال ۲۰۱۱ حضور ناوه با محور شمال شرقی- جنوب غربی را نشان می دهد.

جمع بندی

در پژوهش حاضر با استفاده از داده های در دسترس رادیوگمانه در ایستگاه های فرودگاه مهرآباد، مشهد و کرمانشاه در بازه زمانی ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۹ به منظور بررسی تغییرات ارتفاع متوسط تراز صفر درجه سلسیوس در ماه ها، فصل ها و سال های مختلف، مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. بررسی ماهانه و فصلی تغییرات ارتفاع متوسط تراز صفر درجه سلسیوس در سال های مختلف با استفاده از آزمون مَن کندال، روند صعودی و یا نزولی را در ایستگاه های فرودگاه مهرآباد، مشهد نشان نمی دهد (جدول های ۱ تا ۸). به عبارت دیگر تغییرات ماهانه و فصلی ارتفاع این تراز در سال های مختلف بر خلاف

همدیدی در این ایستگاه نیز صورت گرفته است که این بررسی ها گواه این مطلب است که تغییرات ارتفاع این تراز در سال های مختلف وابسته به سامانه های جوی عبوری و شرایط همدیدی ماه یا فصل مربوطه است. نتایج نشان می دهد هر چه تعداد سامانه های بارش زای عبوری در منطقه مورد مطالعه بیشتر باشد، در تمام فصل ها، ارتفاع تراز صفر درجه سلسیوس کاهش می یابد.

مراجع

1. تاجبخش، س.، ۱۳۸۷، مطالعه موردی شرایط همدیدی و میان مقیاس یخبندان بر روی بدنه هواپیما و پیش بینی آن به کمک خروجی های یک مدل پیش بینی عددی وضع هوا، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو.
2. تاجبخش، س.، غفاریان، پ. و صحراییان، ف.، ۱۳۹۱، بررسی موردی شرایط هواشناختی یخ زدگی هواپیما در دو بررسی موردی (فرودگاه مهرآباد-تهران)، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۸، شماره ۱، صص ۲۰۵-۲۲۷.
3. حسینی، ق. و عطایی، ه.، ۱۳۹۵، تاثیر مخاطرات آب و هوایی در حمل و نقل هوایی، سومین کنفرانس علمی پژوهشی افق های نوین در علوم جغرافیا و برنامه معماری و شهرسازی ایران، تهران، انجمن توسعه و ترویج علوم بنیادی.
4. دوست محمودی، ع.، ر.، ۱۳۸۸، بررسی تجربی و عددی تاثیر رشد یخ ریم در لبه حمله بال بر عملکرد آیرودینامیکی ایرفول، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی هوافضا، رساله کارشناسی ارشد.
5. رنجبر سعادت آبادی، ع.، عموزاده مهدیرچی، ط. و پوریانی، ج.، ۱۳۹۲، مطالعه موردی یخ زنی هواپیما در مسیرهای مختلف پروازی در ایران، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی هوانوردی، سال پانزدهم، شماره دوم.
6. سمندر، ر.، ۱۳۹۶، بررسی تاثیر عناصر اقلیمی بر پروازهای فرودگاهی (مطالعه موردی: فرودگاه همدان)، دانشگاه تبریز، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، رساله کارشناسی ارشد.
7. کفاش، ح.، ر.، ۱۳۹۴، بررسی نتایج تجربی و تحلیلی اثر موانع (یخ زدگی) بر موقعیت و ضخامت و تیزی نوک (یخ زدگی) بر روی نوک بال NACA۰۰۱۵ و بررسی اثر شبکه های توربولانس ساز بر روی پارامترهای دنباله، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده فنی و مهندسی، رساله کارشناسی ارشد.
8. گودرزی، ف.، ۱۳۹۰، بررسی انواع یخ بندان های فراگیر استان های خراسان شمالی و رضوی به منظور تامین امنیت پروازهای هوایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، جغرافیا، رساله کارشناسی ارشد.
9. Bradley, R. S., Keimig, F. T., Diaz, H. F. and Hardy, D. R., 2009, Recent changes in freezing level heights in the Tropics with implications for the deglaciation of high mountain regions. *Geophys Res Lett* 36. L17701.
10. Bromley, E., 1977, Aeronautical meteorology. *Bulletin of the American Meteorological Society* 58. 1156-1160.
11. Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons. A. J., Berrisford, P., Poli, P. Kobayashi, S., ... and
12. Diaz, H. F. and Graham, N. E., 1996, Recent changes in tropical freezing heights and the role of sea-surface temperature. *Nature* 383, 152-155.
13. Harris Jr., G. N., Bowman, K. P. and Shin, D., 2000, Comparison of freezing-level altitudes from the NCEP reanalysis with TRMM precipitation radar bright band data. *J. Climate*, 13, 4137-4148.
14. Hatchett, B.J., Daudert, B., Garner, C.B., Oakley, N.S., Putnam, A.E., White, A.B., 2017, Winter snow level rise in the northern Sierra Nevada from 2008 to 2017. *Water*, 9, 899.
15. Hisdal, H., Stahl, K., Tallaksen, L. M. and Demuth, S., 2001, Have streamflow droughts in Europe become more severe or frequent. *International Journal of Climatology*, 21:317-333.
16. Ibañez, M., Gironás, J., Oberli, C., Chadwick, C., Garreaud, R.D., 2020, Daily and seasonal variation of the surface temperature lapse rate and 0 °C isotherm height in the western subtropical Andes. *Int. J. Climatol.*
17. Mardones, P., Garreaud, R. D., 2020, Future Changes in the Free Tropospheric Freezing Level and Rain-Snow Limit: The Case of Central Chile. *Atmosphere* 11, no. 11: 1259.
18. Schauwecker S., Rohrer, M., Huggle, C., Endries, J., Montoya, N., Neukom, R., Perry, B., Salzmänn, N., Schwarb, M., and Suarez, W., 2017, The freezing level in the tropical Andes, Peru: An indicator for present and future glacier events. *J Geophys Res-Atmos* 122, 5172--5189. doi:10.1002/2016JD025943.
19. Thurai, M., Deguchi, E., Iguchi, T., and Okamoto, K., 2003, Freezing height distribution in the tropics, *Int. J. Satell. Commun. Networking*, 21,533-545.
20. Wang, S. and 6 others, 2014, Recent changes in freezing level heights in High Asia and their impact on glacier changes. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, 1753-1765.
21. Wienert, U. and Wetterdienst, D., 2010, International air safety and climate change conference, Cologne.
22. Zhang, Y. and Guo, Y., 2011, Variability of atmospheric freezing-level height and its impact on the cryosphere in China. *Annals of Glaciology*, 52(58), 81-88. doi:10.3189/172756411797252095.
23. <https://www.asf.org>
24. https://en.wikipedia.org/wiki/Freezing_level

Investigation of climatological changes in height of freezing level in Mehrabad, Mashhad and Kermanshah airports

Sakineh Khansalari

Assistant and professor, Atmospheric Science and Meteorological Research Center, Tehran, Iran

*Corresponding Author Email: khansalari@yahoo.com

Received: 14 April 2020 , accepted: 13 July 2020

ABSTRACT

Identifying and studying freezing level is an important issue in aviation weather science. Due to the global warming climate, the altitude of freezing level, especially in the subtropical, is increasing, which has attracted the attention of many meteorological and climatological researchers, and many studies have been conducted in this field. To quantify these changes, it is necessary to statistically study the changes in freezing level elevation due to climate change and global warming. In this study, in order to identify the freezing level at each point, temperature information was used at different levels of the atmosphere above that point. The oldest and most common method for determining freezing level is the use of radio-sounding data, and this method is performed twice a day at 00 and 12 UTC. Therefore, due to the dispersion of this data in the period under study (if available), this information was collected at three stations of Mehrabad, Mashhad, and Kermanshah airports. Analysis of freezing level changes in selected airports of the country, in different months, seasons, and years using the Mann-Kendall test, does not show an upward or downward trend. In other words, monthly and seasonal changes in the height of this level in different years are not dependent on climate change. Synoptic investigating indicate that changes in the altitude of the freezing level at different years depend on atmospheric systems and the synoptic conditions of the studied month or season

Keywords: *Climate change, Freezing level, Global warming, Synoptic analysis*

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Khansalari, S. (2020). Investigation of climatological changes in height of freezing level in Mehrabad, Mashhad and Kermanshah airports . J. Meteorol. Atmos. Sci., 3(3): 201-223

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

