

واکاوی همدید اثر گرمایش جهانی بر روند دمای ترازهای جوّی در ایران

فرامرز خوش اخلاق^۱

نعمت احمدی^۲

مصطفی کریمی احمدآباد^۳

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۰۲/۰۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۰۵/۲۲

چکیده

تغییر اقلیم جزء ذاتی همه اقلیم موجود در کره زمین است که به شکل نوسان یک ساله، افت و خیز دهه‌ای تا دگرگونی چند دهه تا سده‌ای می‌باشد. هدف این پژوهش واکاوی اثر تغییر اقلیم و گرمایش جهانی بر روند دمای ترازهای جوّی ایران است. از این‌رو داده‌های دما، فشار سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل، مرکز پیش‌بینی جوی میان‌مدت اروپا (ECMWF) برای دوره‌ای ۶۰ ساله از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ برای چهار تراز جوّی سطح متوسط دریا، ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال^۴ مورد استفاده قرار گرفته است. ابتدا روند دمای داده‌های ترازهای پیش گفته در طول دوره ۶۰ ساله (۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰) و نیز دو دوره ۳۰ ساله (از ۱۹۵۱ تا ۱۹۸۰ و ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰) از طریق آزمون همبستگی مورد واکاوی قرار گرفته است. در ادامه نقشه‌های همدید و ناهنجاری آن برای ترازهای یادشده ترسیم و واکاوی گردید. نتایج نشان می‌دهد که روند دمای جوّ ایران در چهار تراز پیش گفته افزایشی بوده که بیشترین شدت آن از سال ۱۹۹۳ به بعد می‌باشد. روند افزایش در دوره اول افزایشی ولی با افت و خیزهای طبیعی بود که در دوره دوم، روند افزایشی ثابت و پیوسته‌ای حاکم شده است. از نظر همدید در تراز دریا و ۸۵۰ هکتوپاسکال دما بالا رفته و کم‌فشاری شدیدتر گردیده و در تراز بالا بویژه ۵۰۰ هکتوپاسکال، ارتفاع افزایش یافته که این نشانگر تقویت سلول هدلی و پرفشار جنب‌حاره بر روی ایران است.

واژه‌های کلیدی: گرمایش جهانی، ترازهای جوّی، دما و ارتفاع، روند و ناهنجاری، ایران

۱- استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول) fkhosh@ut.ac.ir

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آب‌وهواشناسی سینوپتیک، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران ahmadinem@gmail.com

۳- استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران Mostafakarimi.a@ut.ac.ir

۴- در ادامه به اختصار ه. پ نوشته می‌شود.

۱- مقدمه

جو و در نتیجه گرم شدن زمین است (عزیزی، ۱۳۸۶).

تغییرات اقلیمی و به ویژه گرمایش جهانی به دلیل اهمیتی که در سال‌های اخیر داشته است یکی از مهم‌ترین مباحث اقلیم‌شناسی در مطالعات پژوهشگران بوده است. داش و هانت (۲۰۰۷) با بررسی اثرپذیری هندوستان از تغییرات آب‌وهوایی نتیجه گرفتند که دما در چارک آخر قرن گذشته روندی افزایشی را نشان می‌دهد و تفاوت معنی‌داری بین تغییرات در حداقل دما در شمال و جنوب هندوستان وجود دارد. سیون‌ایچی آکاسوفو (۲۰۰۷) با مطالعه بر روی تغییرات جهانی دما در هزاره گذشته، گرمایش سده گذشته را به دو حالت تقسیم کرده است. در حالت اول یک افزایش خطی ۰/۵ درجه سلسیوس در ۱۰۰ سال گذشته پدیدار شده و علاوه بر آن افزایشی خطی با نوسان چند ده‌ساله با دامنه ۰/۲ درجه سلسیوس که منطبق با یک دوره ۵۰ تا ۶۰ ساله می‌باشد. اما در حالت دوم، افزایش دمای اخیر که به عقیده IPCC توسط اثر گلخانه‌ای گاز CO_2 ایجاد شده را نامبرده یک حالت ترکیبی از تغییرات خطی و روند مثبت نوسان چند ده‌ساله شبیه به دوره ۱۹۴۰-۱۹۱۰ می‌داند. جیمز هانسون، مایکیو ساتو و رتو رثودی (۲۰۱۴) با مطالعه روند دمای جهان تا سال ۲۰۱۳ و با استفاده از واکاوی GISS (مؤسسه مطالعات گودارد) معتقدند که در سال ۲۰۱۳ دمای سطح زمین در جهان ۰/۶ درجه سلسیوس گرمتر از متوسط دوره پایه (۱۹۸۰-۱۹۵۱) بوده است. پی دی جونز و همکاران (۱۹۹۹) با بررسی دماهای ثبت شده از سطح زمین طی ۱۵۰ سال گذشته، دو دوره ۲۰ ساله ۱۹۴۴-۱۹۲۵ و ۱۹۹۷-۱۹۷۸ را بزرگترین گرمایش‌های سده بیستم دانستند. نتایج مطالعات آنها نشان داد که در طول این دو دوره دمای جهانی به ترتیب ۰/۳۷ و ۰/۳۲ درجه سلسیوس افزایش داشته است. محمدی و همکاران (۱۳۸۸) با تقسیم ایران به ۳۰ منطقه جغرافیایی به جز غرب و شمال‌غرب تغییرات بارش و دمای ایران را با استفاده از مدل Magic Scengen مورد مطالعه قرار دادند. نتایج مطالعات آنها نشان داد که در تمام مناطق سی‌گانه ایران برای دهه‌های آینده تغییرات دما از روند

تغییر اقلیم معادل تغییرات معنی‌دار آماری، برای متوسط وضع آب و هوا در یک دوره طولانی (چند دهه و بیشتر) است. این تغییرات می‌تواند در متوسط دما، بارش، الگوهای آب و هوایی، باد، تابش و پارامترهای مشابه آن باشد (عطایی و فنایی، ۱۳۹۱). مهم‌ترین تبعات تغییر اقلیم افزایش دمای متوسط کره زمین، افزایش پدیده‌های حدی اقلیمی نظیر سیل، طوفان، تگرگ، توفان‌های حاره‌ای، امواج گرمایی، افزایش تراز آب دریاها، ذوب شدن یخ‌های قطبی، امواج گرمایی و سرماهای نابهنگام است (حق‌طلب و همکاران، ۱۳۸۸).

تغییرات اقلیمی طی دهه‌های اخیر بسیاری از کشورها را در مناطق مختلف جهان با مشکلات و بحران‌های زیادی روبرو کرده است. روند افزایش دمای کره زمین (گرمایش جهانی) به عنوان یک معضل زیست‌محیطی را می‌توان از جمله مهم‌ترین پیامد این تغییرات دانست. تغییراتی که بدون شک باید سهم عمده‌ای از آن را به رشد صنایع، مصرف بیش از اندازه سوخت‌های فسیلی، افزایش جمعیت جهان، تغییرات کاربری اراضی و دیگر فعالیت‌های انسانی مربوط دانست.

از افزایش غیرعادی میانگین دمای جو و سطح زمین به عنوان گرمایش جهانی یاد می‌شود. طبق گزارش هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) در طول یکصد سال گذشته میانگین دمای هوا در نزدیکی سطح زمین بین ۰/۱۸ تا ۰/۷۴ درجه سلسیوس افزایش یافته است. براساس گزارش پنجم این هیئت هر یک از سه دهه گذشته به ترتیب گرمتر از دهه‌های قبل از سال ۱۸۵۰ بوده‌اند، و با اطمینان بالایی در نیمکره شمالی، دوره ۲۰۱۳-۱۹۸۳ گرم‌ترین دوره ۳۰ ساله طی ۱۴۰۰ سال گذشته بوده است (خلاصه گزارش ارزیابی پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم).

آب و هوای زمین در چند دهه اخیر تعادل خود را از دست داده و گرایش به افزایش دما داشته است. پیش‌بینی‌های مدل‌های اقلیمی متفاوت نیز برای قرن ۲۱ حاکی از افزایش گازهای گلخانه‌ای به ویژه گاز دی‌اکسیدکربن موجود در

هکتوپاسکال در بروز دوره های ترسالی و یا خشکسالی تأثیر بیشتری نسبت به ترازهای دیگر دارد.

با وجود پژوهش های بسیاری که در ارتباط با تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی انجام شده و با توجه به اهمیت این موضوع و جدید بودن آن که اثراتش هر ساله دیده می شود و همچنان ادامه دارد و همچنین به دلیل اینکه بیشتر مطالعات انجام شده مختص به تغییرات دمای سطح زمین بوده، این نیاز احساس شد که در پژوهش حاضر که برگرفته از نتایج پایان نامه (احمدی، ۱۳۹۴) است، تغییرات دما (و فشار و ارتفاع) در دیگر ترازهای جوی و همچنین رابطه تغییرات سطح زمین با ترازهای جوی دیگر مورد واکاوی قرار گیرد.

۲- داده ها و روش پژوهش

در این پژوهش از داده های مرکز پیش بینی های جوی میان مدت اروپا (ECMWF) برای دوره ۶۰ ساله (۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰)، با شبکه بندی ۱×۱ درجه طول و عرض جغرافیایی برای تراز دریا و ترازهای ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ ه. پ استفاده شده است. سپس با استفاده از افزونه نرم افزاری Netcdf for excel ۲۰۰۷ داده های شبکه بندی تبدیل به داده های برنامه اکسل (رقومی) شده و برای تبدیل داده های شبکه بندی به داده های مورد استفاده در اکسل هر کدام از داده ها در عامل مقیاس (scale factor) ضرب و با (add offset) که یک مقدار ثابت است و باید به مجموعه داده ها اضافه شود، جمع شده اند. سپس برای داده های دما (به کلونین) تبدیل به درجه سلسیوس شدند. همچنین داده های فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل نیز بر ۱۰۰ تقسیم شده اند تا از پاسکال به هکتوپاسکال تغییر یابند. در ادامه، روند دما و ارتفاع ژئوپتانسیل متر^۱ برای هر کدام از ترازهای یاد شده برای دوره ۶۰ ساله و دو دوره ۳۰ ساله (۱۹۵۱ تا ۱۹۸۰ و ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰) محاسبه گردید و تغییرات و روند دمایی هر کدام از دوره ها مورد واکاوی قرار گرفت. بعد از بدست آوردن روند دمایی و ارتفاع ژئوپتانسیل برای ترازهای مختلف،

افزایشی برخوردار خواهد بود. گودرزی و سلطانی (۱۳۹۲) با استفاده از مدل LARS-WG که جهت ریزمقیاس نمایی داده های پیش یابی مدل HadCm3 استفاده کردند به پیش یابی اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش در دهه ۲۰۲۰ پرداختند. نتایج مطالعات آنها حاکی از افزایش ۷/۲ درصدی بارش سالانه و افزایش ۱ درجه ای دمای سالانه است. طاووسی و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی روند دمای ماهانه شهر زاهدان پرداختند و دریافتند که افزایش دما در بیشتر ماه ها در زاهدان وجود داشته که بیشتر در میانگین های کمینه ماهانه وجود داشته است. صیدی شاه آبادی (۱۳۹۰) در پایان نامه خود اثر تغییر اقلیم و گرمایش جهانی را بر منابع آب حوضه کرخه مورد واکاوی قرار داد و به این نتیجه رسید که طی دهه های آتی این حوضه با کاهش بارش و دبی مواجه خواهد شد. زارعی (۱۳۹۰) در پایان نامه خود تغییرات فرین های بارش و دما در غرب میانی ایران را با توجه به مراکز کنش جوی مورد واکاوی قرار داد و میزان جابجایی های این مراکز را مشخص کرد. عطایی و فنایی (۱۳۹۱) با استفاده از روش من- کندال به بررسی تغییر اقلیم استان مرکزی پرداختند، بررسی آنها نشان داد که میانگین دمای اکثر ماه ها بدون روند و تنها در تعدادی از ماه ها در ایستگاه های تفرش و ساوه روند مثبتی را نشان می دهد. قانقرمه و روشن (۱۳۹۱) با استفاده از مدل HadCm3 و سناریو A1 به مطالعه دگرگونی های مؤلفه دما در شمال غرب پرداختند. نتایج مطالعات آنها نشانگر افزایش مجموع میانگین های دمای سالانه هفت ایستگاه منتخب به میزان ۰/۹۴ درجه سلسیوس برای سال های پیش یابی شده نسبت به دوره مبنا (۱۹۹۰-۱۹۶۱) بود. حیدری (۱۳۹۲) در پایان نامه خود تغییرات فشار تراز دریا و ترازهای دیگر را تا دهه های آتی تحت شرایط گرمایش جهانی مورد واکاوی قرار داد و به این نتیجه رسید که سامانه پرفشار جنب حاره تقویت شده و متوسط بارش ها کاهش خواهد یافت. محمد مرادیان (۱۳۹۵) در پایان نامه خویش به ناهنجاری های ارتفاع ژئوپتانسیل در ترازهای زیرین تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال پرداخت و نتیجه گرفت که تراز ۷۰۰

می‌دهد (خط‌پر در نگاره ۱). میانگین دمای ایران در طی این ۶۰ سال، ۱۸/۰۶ درجه سلسیوس بوده است. سال ۱۹۹۹ را می‌توان گرمترین سال در طی ۶۰ یادشده دانست که میانگین دمای آن به ۲۰ درجه سلسیوس رسید و بیشترین افزایش دما را نسبت به میانگین بلندمدت نشان می‌دهد. نکته‌ای که در دماهای این ۶۰ سال خیلی مهم است، این است که از سال ۱۹۹۳ تا سال ۲۰۱۰، در همه سال‌ها به جز دو سال ۱۹۹۷ و ۲۰۰۷ همواره میانگین دما بیشتر از میانگین بلندمدت دوره بوده است که برای ایران با توجه به مقدار بارش سالانه پایین در اکثر نقاط کشور می‌تواند هشدار جدی برای تحدید و اتلاف منابع گوناگون اعم از کشاورزی، صنعتی و آشامیدنی باشد.

با مشاهده روند دمای ترازهای بالا (۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ ه. پ) مشاهده می‌شود که روند افزایش منحصر به تراز دریا نبوده و دیگر ترازها را نیز دربر می‌گیرد. گفتنی است که روند افزایش دما در تراز ۵۰۰ بیشتر از ترازهای دیگر است. روند (مقدار R) دما در تراز دریا و تراز ۵۰۰ ه. پ به ترتیب $R=0.45$ و $R=0.46$ و در ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ ه. پ به ترتیب $R=0.41$ و $R=0.39$ است که همگی در سطح ۱ درصد معنی‌دار هستند.

در جدول (۱) میزان تغییرات دما و ارتفاع در چهار تراز

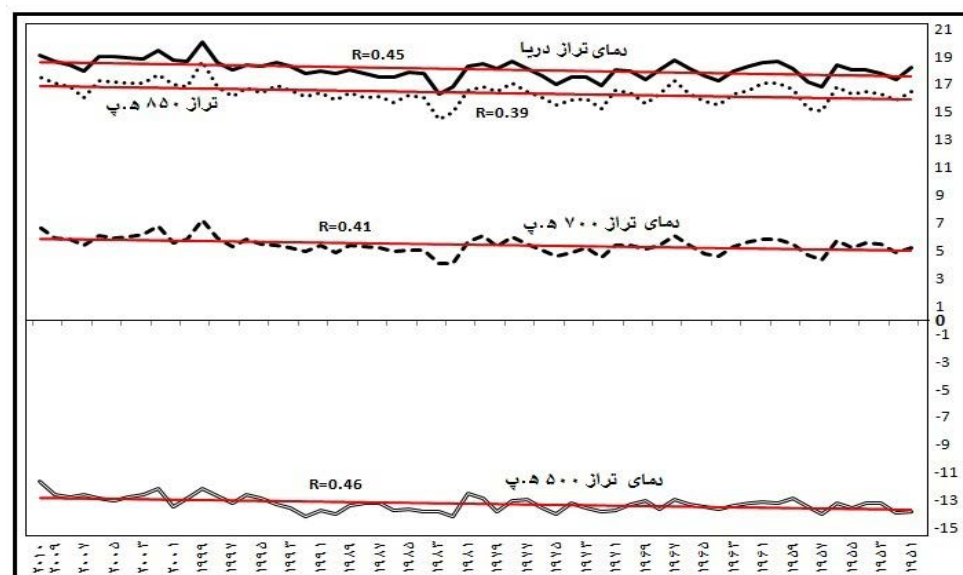
آزمون همبستگی بین روند دمای داده‌های تراز دریا و داده‌های ترازهای ۸۵۰، ۷۰۰، ۵۰۰ ه. پ انجام گردید تا پیوند و ارتباط بین میزان تراز دریا و ناهنجاری‌های آن با دما و ناهنجاری‌های ترازهای بالاتر بدست آید. علاوه بر همبستگی بین دمای ترازها، نقشه‌های الگوی همدید و ناهنجاری دما در مقیاس منطقه‌ای از ۲۰- تا ۹۰ درجه طول شرقی و از صفر تا ۷۰ درجه عرض شمالی ترسیم شد و همخوانی نقشه‌های هر دوره با روندهای دمایی آنها مورد سنجش قرار گرفت.

۳- یافته‌ها و بحث

اقلیم همواره در حال تغییر است و مهمترین پدیده کنونی آن گرمایش جهانی است. منظور از گرمایش جهانی افزایش بی‌رویه و شدید میانگین دمای کره زمین (جو و سطح زمین) است. دمای نزدیک سطح زمین تحت‌تأثیر عوامل متعددی از جمله تابش دریافتی، تابش برگشتی زمین، نگهداشت گرما در جو، تبخیر و چگالش بخار آب است (برگرفته از درخشان بابایی، ۱۳۹۳).

کشور ایران نیز از دگرگونی‌های اقلیمی منجمله گرمایش جهانی مستثنی نبوده و روند دمای ۶۰ ساله (۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰) آن به خوبی این افزایش دما را در نقاط مختلف ایران نشان

نگاره ۱: روند میانگین دمای ۶۰ ساله ایران در تراز دریا، ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ ه. پ (۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰).



جدول ۱: میزان تغییرات دما و ارتفاع در ترازهای مختلف به صورت سالانه و کل دوره ۶۰ ساله.

ترازهای جوئی	میانگین تغییرات سالانه دما (C)	مقدار کلی تغییرات دما (C) میانگین تغییرات سالانه فشار مقدار کلی تغییرات فشار - ارتفاع* (۶۰ سال)	میانگین تغییرات سالانه ارتفاع* (۶۰ سال)	ترازهای جوئی
تراز دریا (ه. پ)	۰/۰۱۴	۰/۸۴	-۰/۰۰۹	-۰/۵۴
۸۵۰ (ه. پ)	۰/۰۱۸	۱/۰۸	-۰/۰۰۹۵	-۰/۵۷
۷۰۰ (ه. پ)	۰/۰۲۵	۱/۵	۰/۱۱۶	۷
۵۰۰ (ه. پ)	۰/۰۳۹	۲/۲۲	۰/۴۱۸	۲۵/۱

*توجه: ارقام مربوط به تراز دریا به ه. پ و ترازهای دیگر به ژ. پ. م است.

به همین ترتیب در کل دوره ۶۰ ساله به ۰/۵۴- ه. پ و ۰/۵۷- ژ. پ. م بالغ می‌شود. در تراز ۷۰۰ ه. پ روند تغییرات ارتفاع ژ. پ. م افزایشی است که هر ساله به اندازه ۰/۱۱۶ ژ. پ. م بر ارتفاع آن افزوده شده و در طول دوره ۶۰ ساله به ۷ ژ. پ. م می‌رسد. اما بیشترین تغییرات همانطور که قبلاً نیز اشاره شد در تراز ۵۰۰ ه. پ رخ داده است، جایی که افزایش سالانه ۰/۴۱۸ و افزایش کلی ۲۵/۱ ژ. پ. م برای ارتفاع این تراز عدد قابل توجهی را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر تراز دریا کم‌فشارتر و تراز ۸۵۰ ه. پ کم‌ارتفاع‌تر و دو تراز دیگر پراارتفاع‌تر شده‌اند که همه این مقادیر نشانگر برهمکنش ناشی از روند افزایش دمای تراز زیرین تحت تأثیر گرمایش جهانی است.

در ادامه با تفکیک دوره مطالعاتی به دو دوره ۳۰ ساله (دوره اول از سال ۱۹۵۱ تا ۱۹۸۰ و دوره دوم از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰) نتایج دیگری نیز بدست آمد که نشانگر تأثیر پدیده گرمایش جهانی به ویژه در سال‌های اخیر است. در نگاره‌های (۲) تا (۵)، خط‌پر مربوط به دوره اول (۱۹۵۱ تا ۱۹۸۰) و خط‌چین مربوط به دوره دوم (۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰) است، که خط روند آنها نیز بصورت خط‌پر (دوره اول) و خط‌چین (دوره دوم) نشان داده شده است. منحنی دما در دوره اول در هر چهار تراز یادشده به صورت افت و خیزهای تقریباً مشابه و با دوره‌های کوتاه‌مدت فراز و فرود دیده می‌شود، که این ویژگی در تمام ۳۰ سال دوره اول به همین صورت بوده و خط روند این دوره تقریباً مستقیم با شیب افزایشی خیلی ملایم (فاقد معنی‌داری) است. اما منحنی

منتخب بصورت میانگین سالانه و مقدار دوره‌ای ارائه شده که در آن منظور از تغییرات سالانه، اختلاف دما و ارتفاع هر سال نسبت به سال قبل و منظور از مقدار کلی تغییرات، مجموع سالانه آن برای دوره ۶۰ ساله (۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰) است. مطابق جدول یادشده تراز دریا در ایران هر سال به طور میانگین ۰/۰۱۴ درجه افزایش دما را تجربه کرده، که مقدار کلی آن در بازه ۶۰ ساله به ۰/۸۴ درجه سلسیوس می‌رسد. در بین ترازهای منتخب کمترین میزان گرمایش مربوط به تراز دریاست و متقابلاً تراز ۵۰۰ ه. پ بیشترین میزان تغییرات را داشته، به طوری که دمای آن ۰/۰۳۹ درجه سلسیوس در هر سال افزایش داشته که طی ۶۰ سال به ۲/۲۲ درجه سلسیوس می‌رسد. ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ ه. پ نیز به ترتیب دارای افزایش سالانه ۰/۰۱۸ و ۰/۰۲۵ درجه هستند که در کل طول دوره مطالعاتی به ترتیب افزایشی حدود ۱/۰۸ و ۱/۵ درجه سلسیوس را نشان می‌دهد.

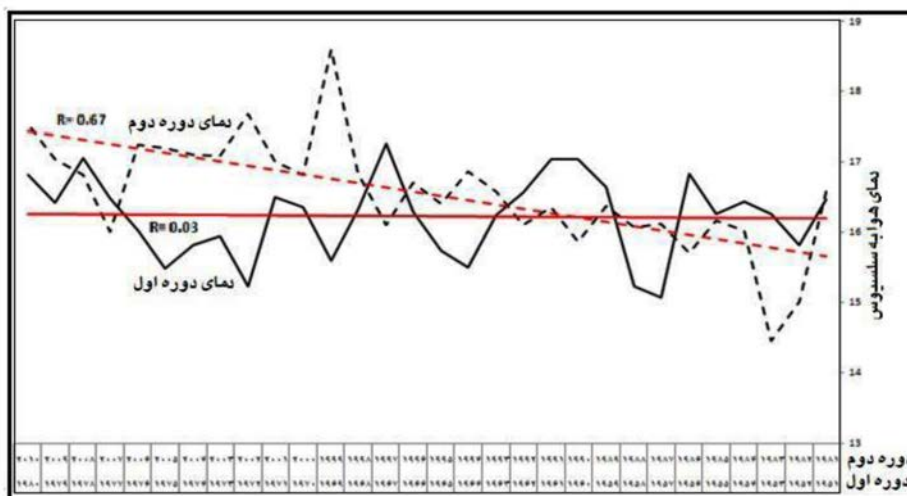
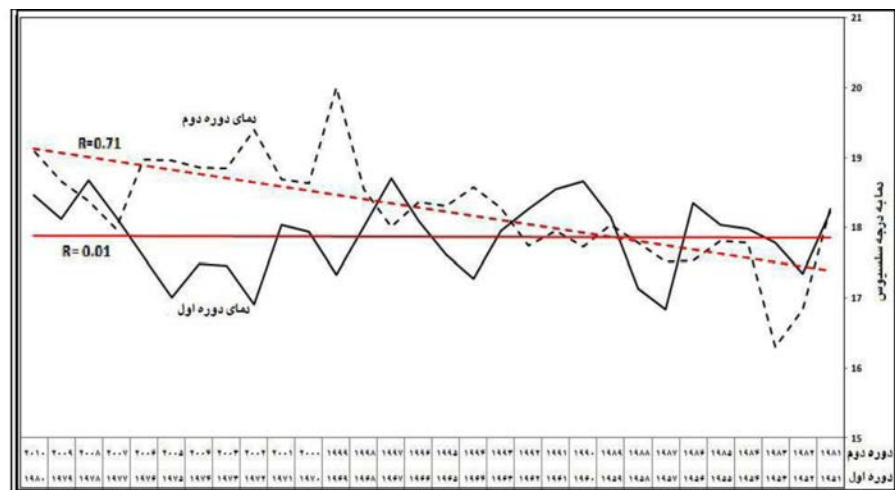
اما روند تغییرات فشار و ارتفاع ترازها همانند دما نیست. در واقع در ترازهای زیرین مانند تراز دریا و ۸۵۰ ه. پ روند فشار- ارتفاع کاهشی، ولی در تراز ۷۰۰ و ۵۰۰ ه. پ روند (ارتفاع) افزایشی است. اما نکته مهم شباهت در شکل تغییرات ارتفاع با تغییرات دما است، بطوری که همانند دما، روند تغییرات فشار - ارتفاع در تراز دریا کمترین مقدار و در تراز ۵۰۰ ه. پ بیشترین میزان را داراست. فشار تراز دریا و ارتفاع تراز ۸۵۰ ه. پ تغییراتی نزدیک به هم دارند، به نحوی که مقدار سالانه این تغییر برای تراز دریا به ۰/۰۰۹- و در تراز ۸۵۰ ه. پ به ۰/۰۰۹۵- ژ. پ. م می‌رسد، که

غیرمعنی دار $R=0.008$ و $R=0.1$ و برای دوره دوم به ترتیب مقادیر معنی دار $R=0.67$ و $R=0.7$ می باشد.

در جداول (۲) و (۳) میزان تغییرات دما و ارتفاع در دوره های ۳۰ ساله اول و دوم به صورت جداگانه ارائه شده است. از نکات قابل توجه در دوره دوم نسبت به دوره اول افزایش مشخص دمای ترازهاست. از نظر مقایسه ای دو دوره دیده می شود که افزایش دما در تراز دریا در دوره دوم نسبت به دوره اول بیشتر از بقیه ترازهاست، که می توان آن را تأثیر بیشتر منابع انتشار گازهای گلخانه ای در سطح زمین در ایجاد گرمایش جهانی در نظر گرفت. دمای تراز دریا در دوره دوم هر ساله $0.13/0$ درجه و در کل دوره ۳۰ ساله دوم $3.9/0$ درجه سلسیوس نسبت به دوره اول افزایش داشته

دمای دوره دوم ۳۰ ساله که شیب افزایشی مشخص تری دارد با رسیدن به سال های پایانی، از شیب بیشتری برخوردار شده است. گفتنی است در هر چهار تراز جوئی روند دما، افزایشی است. به عبارت دقیق تر در روند افزایشی دمای جو ایران طی ۶۰ سال گذشته، دوره ۳۰ ساله دوم و بویژه سال های اخیر دارای نقش معنی دارتری هستند. روند دمای تراز دریا در دوره دوم مقدار معنی دار $R=0.71$ و برای دوره اول مقدار غیرمعنی دار $R=0.01$ را نشان می دهد. این شرایط در دیگر ترازهای جوئی نیز مشاهده می شود. روند دما در تراز ۸۵۰ ه. پ در دوره اول مقدار غیرمعنی دار $R=0.03$ و دوره دوم مقدار معنی دار $R=0.67$ است. روند دما در دو تراز ۷۰۰ و ۵۰۰ ه. پ نیز به ترتیب برای دوره اول مقادیر

نگاره ۲: نمودار تغییرات و روند دمای تراز دریا در دوره اول از سال ۱۹۵۱ تا ۱۹۸۰ (خط پُرها) و نمودار تغییرات و روند دما در دوره دوم از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ (خط چین ها).



نگاره ۳: نمودار تغییرات و روند دمای تراز ۸۵۰ ه. پ در دوره اول از سال ۱۹۵۱ تا ۱۹۸۰ (خط پُرها) و نمودار تغییرات و روند دما در دوره دوم از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ (خط چین ها).

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سمر)
واکاوی همدید اثر گرمایش جهانی بر روند دمای ... / ۲۱۷

تغییرات فشار تراز دریا و ارتفاع ژ. پ. م ترازهای بالاتر نیز در هر دوره دارای ویژگی‌های متفاوتی است. روند تغییرات فشار تراز دریا در هر دو دوره منفی (کاهش) است، اما با این تفاوت که در دوره اول این کاهش بسیار ناچیز و قابل اغماض در حد $-۰/۰۲۷$ ه. پ. است، در حالی که در دوره دوم به حدود $۰/۵$ هکتوپاسکال ($-۰/۴۹۵$ ه. پ.) رسیده است. تغییرات بین سالانه مقادیر یادشده در هر دوره به ترتیب $-۰/۰۰۰۹$ و $-۰/۰۱۶۵$ ه. پ. است. در هر سه تراز دیگر نیز دوره دوم نسبت به دوره اول کم‌ارتفاع‌تر شده‌است. بیشترین تغییرات در تراز ۵۰۰ ه. پ. رخ داده که دوره دوم نسبت به اول $-۴/۲$ ژ. پ. م کاهش ارتفاع داشته است. این مقدار برای دوره اول در این تراز $۱۴/۷$ ژ. پ. م بوده، در حالی که در دوره دوم به $۱۰/۵$ ژ. پ. م می‌رسد. به عبارت دیگر تغییرات ارتفاع در هر دو دوره افزایشی بوده، اما در دوره دوم روند تغییرات کمتر شده است. روند تغییرات در تراز ۸۵۰ ه. پ. نیز قابل توجه

است. تراز ۸۵۰ ه. پ. نیز به دلیل نزدیکی به سطح زمین دومین تراز از لحاظ افزایش دما در دوره دوم نسبت به دوره اول است. میزان گرمایش در این تراز در دوره دوم تقریباً دو برابر دوره اول است، به طوری که در دوره دوم هر ساله $۰/۰۱۲$ درجه بیشتر از دوره اول افزایش داشته و افزایش کلی آن از $۰/۳۶$ درجه در دوره اول به $۰/۷۲$ درجه در دوره دوم رسیده است. در تراز ۷۰۰ ه. پ. میزان افزایش سالانه دوره دوم نسبت به اول همانند ترازهای زیرین $۰/۰۱۲$ درجه و در کل دوره $۰/۳۶$ درجه بوده است ولی تغییرات دمایی تراز ۵۰۰ ه. پ. در دوره دوم نسبت به اول کمتر از سه تراز زیرین است. این تراز در دوره دوم در مقایسه با دوره اول هر ساله $۰/۰۰۸$ درجه و در کل $۰/۲۴$ درجه سلسیوس گرم‌تر شده است. میزان افزایش دمای هر ساله برای این تراز در دوره اول و دوم به ترتیب $۰/۰۳۳$ و $۰/۰۴۱$ درجه را نشان می‌دهد که افزایش کلی در طول دوره‌های سی ساله به ترتیب $۰/۹۹$ و $۱/۲۳$ درجه سلسیوس می‌باشد.

جدول ۲: میزان تغییرات دما و ارتفاع در ترازهای مختلف بصورت سالانه و برای دوره اول (۱۹۸۰-۱۹۵۱).

ترازهای جوی	میانگین تغییرات سالانه دما (C)	مقدار کلی تغییرات ۳۰ ساله دما (C)	میانگین تغییرات سالانه فشار - ارتفاع*	مقدار کلی تغییرات فشار - ارتفاع طی ۳۰ سال*
تراز دریا	$۰/۰۰۸$	$۰/۲۴$	$-۰/۰۰۰۹$	$-۰/۰۲۷$
پ. ۸۵۰ ه.	$۰/۰۱۲$	$۰/۳۶$	$۰/۰۱۳۳$	$۰/۳۹۹$
پ. ۷۰۰ ه.	$۰/۰۱۹$	$۰/۵۷$	$۰/۱۵۳۸$	$۴/۶۱۴$
پ. ۵۰۰ ه.	$۰/۰۳۳$	$۰/۹۹$	$۰/۴۸۹$	$۱۴/۶۷$

*توجه: ارقام مربوط به تراز دریا به ه. پ. و ارقام ترازهای دیگر به ژ. پ. م است.

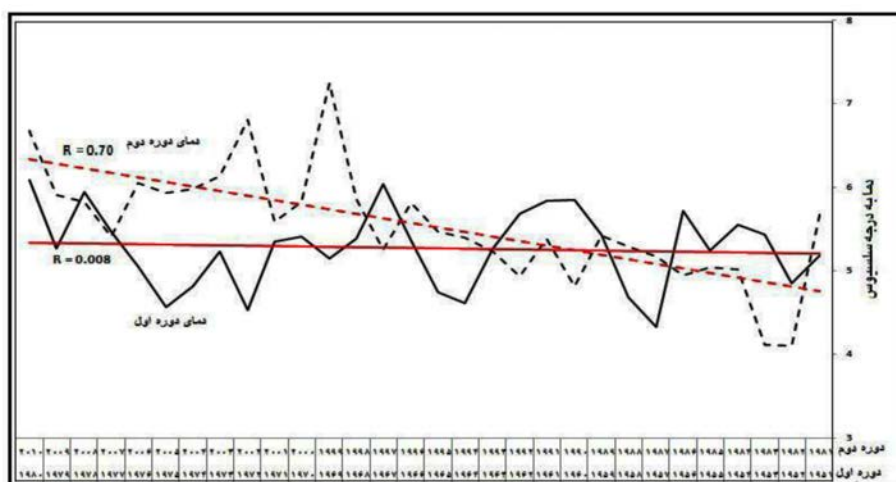
جدول ۳: میزان تغییرات دما و ارتفاع در سطوح مختلف بصورت سالانه و برای دوره دوم (۲۰۱۰-۱۹۸۱).

ترازهای جوی	میانگین تغییرات سالانه دما (C)	مقدار کلی تغییرات ۳۰ ساله دما (C)	میانگین تغییرات سالانه فشار - ارتفاع*	مقدار کلی تغییرات فشار - ارتفاع طی ۳۰ سال*
تراز دریا	$۰/۰۲۱$	$۰/۶۳$	$-۰/۰۱۶۵$	$-۰/۴۹۵$
پ. ۸۵۰ ه.	$۰/۰۲۴$	$۰/۷۲$	$-۰/۰۳۱۷$	$-۰/۹۵۱$
پ. ۷۰۰ ه.	$۰/۰۳۱$	$۰/۹۳$	$۰/۰۷۸۸$	$۲/۳۶۴$
پ. ۵۰۰ ه.	$۰/۰۴۱$	$۱/۲۳$	$۰/۳۴۸۹$	$۱۰/۴۶۷$

*توجه: ارقام مربوط به تراز دریا به ه. پ. و ارقام ترازهای دیگر به ژ. پ. م است.

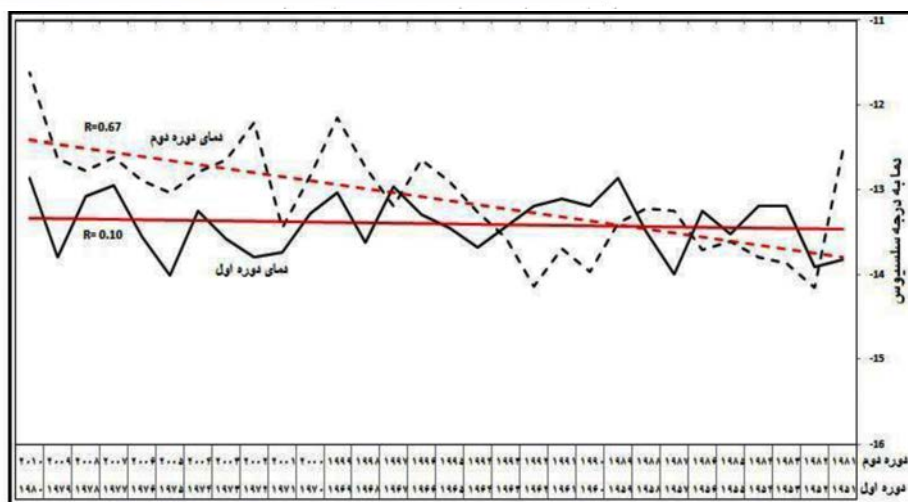
در جدول (۴) همبستگی دمای تراز دریا با ترازهای ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ ه. پ در طی دوره ۶۰ ساله و نیز دوره‌های ۳۰ ساله اول و دوم ارائه شده است. همان طور که دیده می‌شود تراز ۸۵۰ ه. پ به دلیل نزدیکتر بودن در هر دوره، بیشترین همبستگی را با تراز دریا دارد، اما نکته مهم همبستگی بالای دوره ۳۰ ساله دوم نسبت به دوره ۳۰ ساله اول می‌باشد، که این ویژگی برای سه تراز ارتفاعی نیز دیده می‌شود. این به این معنی است که دوره ۳۰ ساله اول موج‌های افزایشی و کاهشی دما بطور متوازن و تصادفی تر رخ داده‌اند، در حالی که در دوره ۳۰ ساله دوم به واسطه روند افزایشی دما و انتشار بالاسوی گرما از سطح زمین و تراز دریا به ترازهای بالایی وردسپهر، میزان همبستگی و

است، به طوری که تغییرات دوره اول افزایشی اما در دوره دوم روندی کاهشی دارد، یعنی در دوره اول پراارتفاع‌تر بوده و دوره دوم کم‌ارتفاع‌تر شده است. میانگین تغییرات سالانه دوره اول ۰/۱۳۳ و مقدار کل ۳۰ ساله آن ۰/۳۹۹ ژ. پ. م است، که این مقادیر برای دوره دوم منفی و به ترتیب هر ساله ۰/۳۱۷- و در کل دوره ۰/۹۵۱- ژ. پ. م کاهش ارتفاع داشته است. در تراز ۷۰۰ ه. پ نیز هر دو دوره تراز روندی افزایشی را نشان می‌دهند، با این تفاوت که شیب روند در دوره دوم کمتر از دوره اول است. میزان تغییرات سالانه برای هر دو دوره به ترتیب ۰/۱۵۳۸ و ۰/۰۷۸۸ ژ. پ. م است که به ترتیب برای دوره اول به ۴/۶۱۴ و برای دوره دوم به ۲/۳۶۴ ژ. پ. م رسیده است (جداول ۲ و ۳).



نگاره ۴: نمودار تغییرات و روند دمای تراز ۷۰۰ ه. پ در دوره اول از سال ۱۹۵۱ تا ۱۹۸۰ (خط‌پُرها) و نمودار تغییرات و روند دما در دوره دوم از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ (خط‌چین‌ها).

نگاره ۵: نمودار تغییرات و روند دمای تراز ۵۰۰ ه. پ در دوره اول از سال ۱۹۵۱ تا ۱۹۸۰ (خط‌پُرها) و نمودار تغییرات و روند دما در دوره دوم از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ (خط‌چین‌ها).



ارتباط آنها بیشتر شده است.

جدول ۴: همبستگی بین دمای تراز دریا و ترازهای بالاتر در دوره‌های ۳۰ ساله و دوره ۶۰ ساله.

تراز ۵۰۰	تراز ۷۰۰	تراز ۸۵۰	
۰/۷۴۳**	۰/۹۴۹**	۰/۹۸۴**	دوره ۶۰ ساله
۰/۶۲۵**	۰/۹۳۴**	۰/۹۸۰**	دوره ۳۰ ساله اول
۰/۷۶۶**	۰/۹۵۵**	۰/۹۸۸**	دوره ۳۰ ساله دوم

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد

واکاوی الگوهای همدید ترازهای جوّی در دوره‌های ۳۰ ساله اول و دوم

در نگاره (۶) الگوی همدید فشار تراز دریا در دو دوره ۳۰ ساله اول و دوم نشان داده شده است. بر روی ایران شرایط کم‌فشاری حاکم است که حاکی از وجود هوای گرم در سطح زمین می‌باشد.

در دوره ۳۰ ساله اول زبان‌های کم‌فشاری بر روی کشور مستقر است که با دو یاخته ۱۰۰۶ ه. پ که بر روی هندوستان و پاکستان قرار گرفته و دارای شیو تقریباً شدیدی با پرفشار مستقر بر روی تبت (پهنه بسته ۱۰۲۲ ه. پ) است، ارتباط دارد. همچنین شمال کشور نیز تحت حاکمیت زبان‌های پرفشار مستقر بر روی قزاقستان و اقیانوس اطلس (آزورز) با پهنه بسته ۱۰۲۰ ه. پ قرار دارد. این شرایط در دوره ۳۰ ساله دوم نیز حاکم است، با این تفاوت که شرایط کم‌فشاری بر روی ایران گسترش یافته و دو منحنی بسته کم‌فشاری بر روی هندوستان و پاکستان با یکدیگر ادغام شده و حاکمیت پرفشارها بر روی منطقه کاهش یافته است. ناهنجاری‌های دمایی نشانگر گرم‌تر بودن دوره دوم نسبت به دوره اول در سراسر پهنه نقشه است.

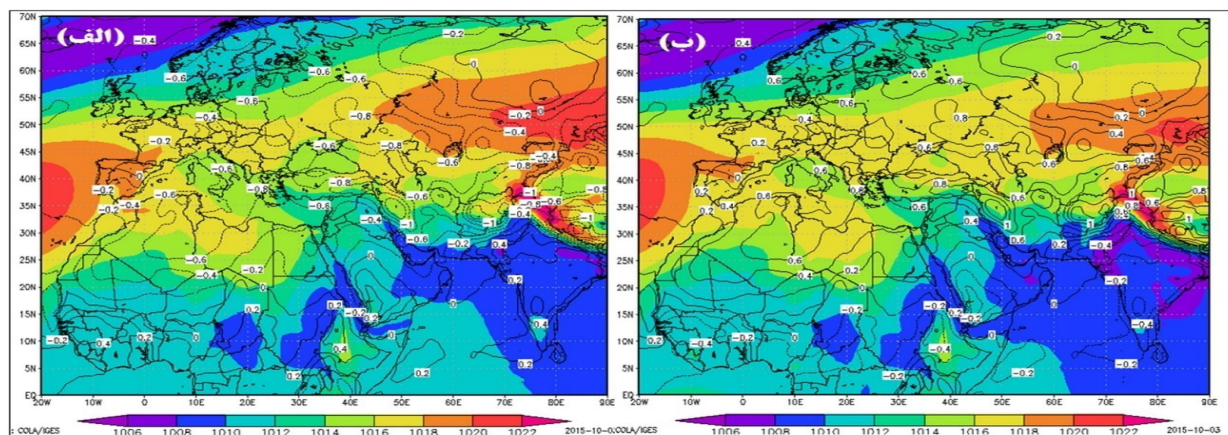
در نگاره (۷) مربوط به تراز ۸۵۰ ه. پ در دوره ۳۰ ساله اول پراارتفاع مستقر بر روی تبت نیز به صورت یک پهنه پراارتفاع بسته ۱۵۰۰ ژ. پ. م دیده می‌شود، ضمن اینکه زبان‌های پراارتفاع جنب‌حاره (با پهنه بسته مرکزی ۱۵۰۰ ژ. پ. م) بر روی اقیانوس اطلس و اروپا و آفریقا گسترش دارد.

در دوره دوم پراارتفاع جنب‌حاره به سمت شرق گسترش داشته و بر روی لیبی پهنه بسته‌ای با ارتفاع ۱۵۰۰ ژ. پ. م از پراارتفاع جنب‌حاره آزورز جدا شده که نشان‌دهنده افزایش ارتفاع آن نسبت به دوره اول است، اما زبان‌های مستقر بر روی ایران چندان تغییر خاصی نداشته و حتی با توجه به جدول‌های (۲) و (۳) می‌توان گفت که ارتفاع ژئوپتانسیلی بر روی ایران در دوره دوم نسبت به دوره اول کاهش جزئی نیز داشته است. این حالت به علت ناهنجاری افزایشی دما در دوره دوم می‌باشد که احتمالاً افزایش ارتفاع ترازهای بالاتر و نیز ریزش بیشتر هوا به عنوان دلیل فرعی برای آن قابل اشاره است.

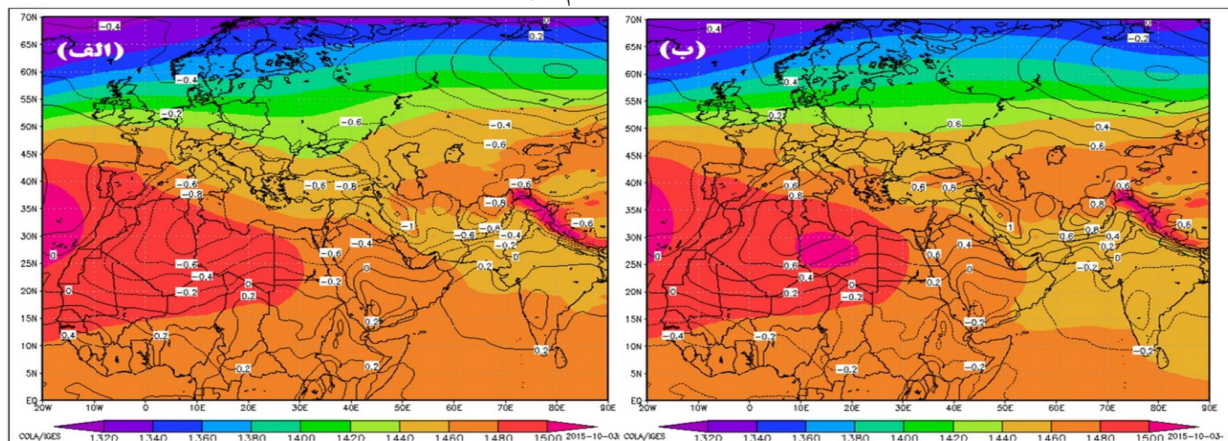
در نگاره (۸) مربوط به تراز ۷۰۰ ه. پ در دو دوره ۳۰ ساله، پراارتفاع جنب‌حاره بر کل منطقه گسترش داشته و بر روی ایران نیز پشته آن دیده می‌شود. شرایط یادشده در نقشه تراز ۷۰۰ با توجه به ارقام جدول‌های (۲) و (۳) نشانگر این است که در دوره دوم شرایط دمایی و ژئوپتانسیلی دوره اول تحت تأثیر گسترش زبان‌های پراارتفاع جنب‌حاره همچنان حاکمیت داشته، که این حالت در مقایسه دو دوره یادشده مشخص است.

در هر صورت وجود پشته در منطقه نشانگر فرونشینی دینامیکی گسترده هوا است که لایه گرم زیرین را محبوس کرده و بر شدت گرمایش آن می‌افزاید.

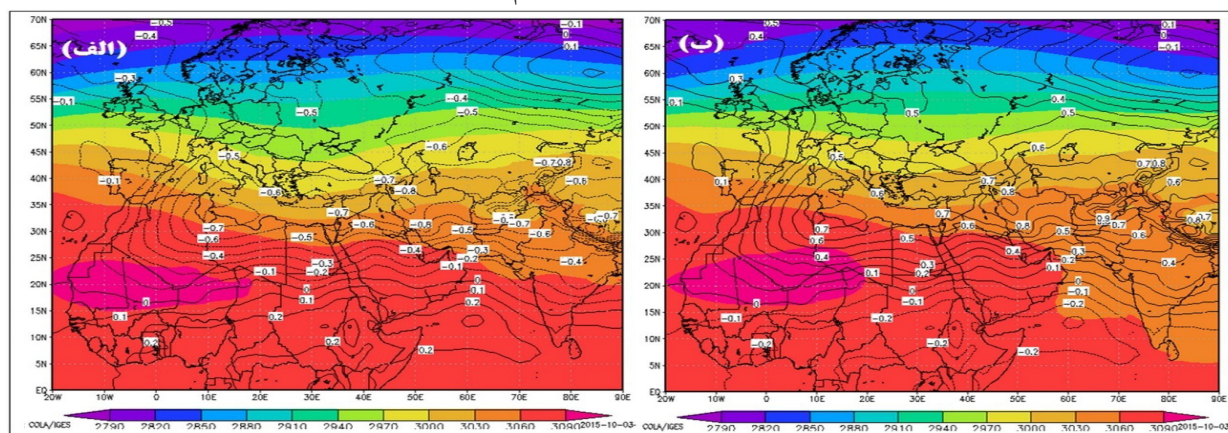
در نگاره (۹) شرایط همدید حاکم بر تراز ۵۰۰ ه. پ شبیه به تراز ۷۰۰ ه. پ است، با این تفاوت که در تراز ۵۰۰ ه. پ منحنی‌ها به صورت مداری هستند. علاوه بر این در این تراز نیز زبان‌های پراارتفاعی مستقر بر روی ایران در دوره دوم نسبت به دوره اول به سوی عرض‌های بالاتر پیشروی داشته و همانند تراز ۷۰۰ ه. پ در این تراز نیز بر روی ایران یک پشته مستقر می‌باشد. ناهنجاری مثبت دمای این تراز در دوره دوم نسبت به اول بواسطه تشدید پرفشاری و تقویت پراارتفاع جنب‌حاره است که فرونشینی هوا و افزایش دمای بی‌دررو سبب این ناهنجاری مثبت دما شده است.



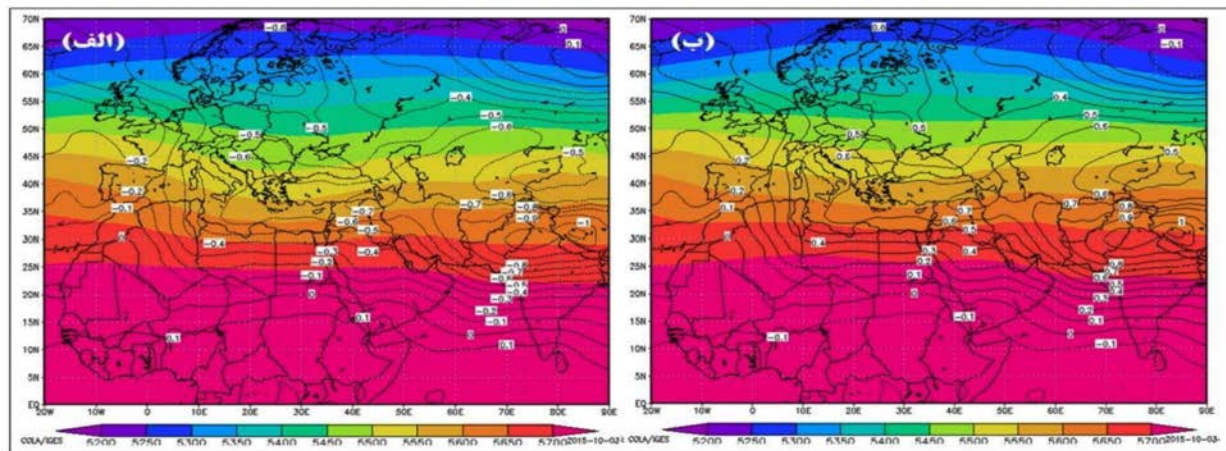
نگاره ۶: نقشه میانگین فشار تراز دریا به ه. پ (پهنه رنگی) و ناهنجاری دما نسبت به دوره ۶۰ ساله (منحنی‌ها). دوره اول (الف) و دوره دوم (ب).



نگاره ۷: نقشه میانگین ارتفاع تراز ۸۵۰ ه. پ (پهنه رنگی به ژ. پ. م) و ناهنجاری دما نسبت به دوره ۶۰ ساله (منحنی‌ها). دوره اول (الف) و دوره دوم (ب)



نگاره ۸: نقشه میانگین ارتفاع تراز ۷۰۰ ه. پ (پهنه رنگی به ژ. پ. م) و ناهنجاری دما نسبت به دوره ۶۰ ساله (منحنی‌ها). دوره اول (الف) و دوره دوم (ب)



نگاره ۹: نقشه میانگین ارتفاع تراز ۵۰۰ ه. پ (پهنه رنگی به ژ. پ. م) و ناهنجاری دما نسبت به دوره ۶۰ ساله (منحنی‌ها). دوره اول (الف) و دوره دوم (ب).

۴- نتیجه گیری

دوره اول با یک حالت تقریباً طبیعی و نرمال کاهشی و افزایشی (بابرتری خفیف دوره‌های افزایشی نسبت به دوره‌های کاهشی) به یک روند افزایشی مداوم و قابل انتظار (تحت تأثیر گرمایش جهانی) تبدیل شده، به طوری که از دوره‌های کاهشی دما بسیار کاسته شده و به جای آن دوره‌های افزایشی دما با روند تقریباً ثابت و مداوم جایگزین شده است.

واکاوی نقشه‌های همدید نیز نشان می‌دهد که زبانه کم‌فشار گرمایی آسیای جنوبی در دوره دوم (نسبت به دوره اول) در تراز دریا و تراز ۸۵۰ ه. پ در مناطق جنوبی و داخلی ایران گسترش بیشتری یافته و همچنین غلبه و گسترش پراترفاع جنب‌حاره در تراز ۵۰۰ ه. پ سبب افزایش فرونشینی و بالا رفتن بی‌درروی دمای هوا در ترازهای بالایی کشور گردیده است. علاوه بر این زبانه‌های پراترفاع در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ ه. پ به سمت عرض‌های بالاتر گسترش داشته‌اند که همین عامل باعث پراترفاع‌تر و گرم‌تر شدن جوّ میانی مناطق شمالی کشور در دوره ۶۰ ساله شده است. بطور کلی افزایش دما در تراز دریا که بر اثر فعالیت‌های انسانی و افزایش گازهای گلخانه‌ای رخ داده باعث کم‌فشارتر شدن این لایه و انبساط جو شده است. عامل پیش گفته باعث تقویت یاخته هدلی شده بطوری که تشدید فرازش در یال صعودی آن (ITCZ) سبب تقویت فرونشینی

در این پژوهش تأثیرات گرمایش جهانی بر روی ارتفاع (فشار) و دمای ترازهای جوی (از تراز دریا تا تراز ۵۰۰ ه. پ) پیگیری شده است. نتایج روند دمایی طی ۶۰ سال (۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰) نشان دهنده روندی افزایشی در طی دوره بود که از سال ۱۹۹۳ به بعد شیب این روند شدیدتر شده است. سال ۱۹۹۹ نیز گرمترین سال در طی این ۶۰ سال بوده، به طوری که در این سال سه تراز اول بیشترین افزایش دما را در طول دوره ۶۰ ساله داشته‌اند. این سه تراز به ترتیب دماهای ۱۸/۶، ۲۰ و ۷/۲ درجه سلسیوس را در سال ۱۹۹۹ تجربه کرده‌اند، اما این شرایط در تراز ۵۰۰ ه. پ در سال ۲۰۱۰ رخ داده است که دمای آن ۱۱/۶- درجه سلسیوس بوده است. البته دمای سه تراز دیگر در سال ۲۰۱۰ نیز بالا بوده، اما مقدار آن از دمای سال ۱۹۹۹ کمتر است. نتایج مقایسه‌ای دو دوره ۳۰ ساله نشانگر افزایش دمای ۰/۳۹ درجه سلسیوس دمای تراز دریا در دوره دوم (۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰) نسبت به دوره اول (۱۹۵۱ تا ۱۹۸۰) است که این شرایط با اندکی تفاوت یعنی افزایش ۰/۳۶ درجه نسبت به دوره اول در تراز ۸۵۰ ه. پ نیز دیده می‌شود. نتایج آزمون همبستگی بین دمای تراز دریا با دماهای ترازهای ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ ه. پ نشانگر افزایش مقادیر همبستگی دوره دوم نسبت به دوره اول است که می‌توان نتیجه گرفت روند افزایشی دوره دوم نسبت به

اثر گرمایش جهانی بر دگرگونی‌های مؤلفه دما در نواحی شمال غرب ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۴، شماره ۴.

۱۱- گودرزی، سلطانی؛ مسعود، محمدجعفر، ۱۳۹۲، پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش دهه ۲۰۲۰، سامانه‌های سطوح آبگیر باران، صص ۳۱ - ۳۸.

۱۲- محمدمرادیان، مهرداد. ۱۳۹۵، بی‌هنجاری‌های ارتفاع ژئوتانسیل ترازهای زیرین جو در دوره‌های ترسالی و خشکسالی ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی گرایش سینوپتیک، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

۱۳- محمدی، مقبل، رنجبر؛ حسین، معصومه، فیروز. ۱۳۸۹، مطالعه تغییرات بارش و دمای ایران با استفاده از مدل MAGICC SCENGEN، فصلنامه علمی - پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، دوره جدید، سال هشتم، شماره ۲۵، صص ۱۲۶ - ۱۴۲.

14- Akasofu, S, I, 2007, Global temperature changes during the last millennium and the prediction for 2100, international arctic research center, pp, 1- 7.

15- James, H & Makiko, S and Reto, R, 2014, Global temperature update through 2013, pp 1-9.

16- Jones, P. D, New, M, Parker, D, E, Martin, S, and Rigor, I, G, 1999, Surface air temperature and its changes over the past 150years, American geophysical union, reviews of Geophysic, vol, 37, pp 173- 199.

17- Krishna, Iekshmi, Vijayan, 2014, Long Term Temperature Trend in four different climatic zones of Saudi Arabia, Department of Physics, University of Tabuk. Vol. 4, No. 5, October 2014, pp: 233- 242.

18- Lallanilla, M. 2013, Effects of Global Warming. Live science (online). October 2, 201.

19- S. K. Dash – J. C.R Hunt, 2007, Variability of climate change in India, Current Science, Vol , 93, No, 6,25, September 2007, pp, 782- 788.

20- Tom, M. L, Wigley, J. R, Christy. 2006, Temperature Trends in Lower Atmosphere, The U.S. Climate Change Science Program, Executive Summary. pages 1-14.

در یال نزولی یاخته (STHP) و گسترش شمال‌سوی پشته آن شده و مجموع این حالات همدید سبب گرم‌تر شدن هوا در منطقه جنوب‌حاره (خاورمیانه و ایران) شده است.

منابع و مآخذ

۱- احمدی، نعمت، ۱۳۹۴، واکاوی آماری همدید اثر تغییر اقلیم بر روند دمایی ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی گرایش سینوپتیک، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

۲- حیدری، محمدامین، ۱۳۹۲، اثر گرمایش جهانی بر مراکز کنش جوی مؤثر بر آب و هوای ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی گرایش سینوپتیک، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

۳- درخشان بابایی، فرزانه، ۱۳۹۳، گرمایش جهانی، رشد آموزش جغرافیا، شماره ۱۰۹، زمستان ۹۳، صص ۵۲ - ۵۷.

۴- زارعی، کبری، ۱۳۹۰، پیش‌بینی تغییرات فرین دما و بارش در غرب میانی ایران در رابطه با موقعیت و فشار مراکز کنش جوی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی گرایش سینوپتیک، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

۵- صیدی شاه‌آبادی، امین، ۱۳۹۰، بررسی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه آبریز کرخه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی گرایش سینوپتیک، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

۶- طاووسی، ثریا، راحت؛ تقی، محمد، زیبا، ۱۳۸۹، بررسی روند دمای ماهانه شهر زاهدان، چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام (ICIWG 2010).

۷- عزیزی، روشنی؛ قاسم، محمود، ۱۳۸۶، مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من کندال، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴، صص ۱۳ - ۲۸.

۸- عزیزی، قاسم، ۱۳۸۳، تغییر اقلیم، انتشارات قومس.

۹- عطایی، فنایی؛ هوشمند، راضیه، ۱۳۹۱، بررسی تغییر اقلیم استان مرکزی به روش من کندال، مجله نیوار، شماره ۷۷ - ۷۶.

۱۰- قانقرمه، روشن؛ عبدالعظیم، غلامرضا، ۱۳۹۱، دورنمای