

تحلیل روند دما در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی ایران

امین شیروانی*

بخش مهندسی آب و مرکز پژوهش‌های جوی اقیانوسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

تاریخ وصول مقاله: ۹۴/۰۲/۰۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۰۶/۰۷

چکیده

تغییر در دمای جو اهمیت ویژه‌ای در زمینه تحقیق‌های مربوط به آب و هوا دارد. با افزایش گازهای گلخانه‌ای، دمای هوا و وردسپهر نیز افزایش می‌یابد. آهنگ این افزایش دما در مناطق مختلف متفاوت می‌باشد. در تحقیق حاضر، تغییرات زمانی دمای لایه میانی جو در ایران مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های گره‌بندی شده دما در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در محدوده‌ای با عرض جغرافیایی 25° تا 40° شمالی و طول 45° تا 52° شرقی در مقیاس ماهانه برای دوره ۲۰۱۴-۱۹۶۸ از داده‌های واکاوی شده NCEP-NCAR تهیه شد. این محدوده شامل ۵۶ گره $2/5^{\circ}$ در $2/5^{\circ}$ می‌باشد. معدل مکانی دمای لایه میانی جو در این محدوده به عنوان نمایه منطقه‌ای دمای لایه میانی جو در ایران در نظر گرفته شد و تغییرات سالانه آن بررسی شد. نتایج نشان داد که دمای سالانه لایه میانی جو در ایران افزایش معنی‌داری در سطح ۵٪ داشته است به طوری که در پنجاه سال گذشته به اندازه $0/75$ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. نتایج آزمون ناپارامتری من‌کنندال دنباله‌ای نشان داد که روند افزایشی دمای لایه میانی جو در ایران از سال ۱۹۹۷ شروع شده است به طوری که از این سال به بعد شدت آن نیز افزایش یافته است. همچنین از سال ۲۰۰۷ به بعد روند افزایشی این دما در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد.

واژگان کلیدی: تحلیل روند، دما، تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، ایران.

*. Email: am_shirvani@hotmail.com

مقدمه

دمای هوا در سطح زمین و لایه‌های مختلف جو از پارمترهای مهم اقلیمی می‌باشند که دیگر پارامترها مانند رطوبت و تبخیر را تحت تاثیر قرار می‌دهند. از این‌رو، تغییر در مقدار یا الگوی دما در بازه‌های زمانی مختلف از اهمیت بالایی برخوردار است. تغییر در دمای جو نیز اهمیت ویژه‌ای در زمینه تحقیق‌های مربوط به آب و هوا دارد. با افزایش گازهای گلخانه‌ای، دمای هوا در سطح و وردسپهر نیز افزایش می‌یابد (Thorne et al, 2010). آهنگ افزایش دمای سطح و لایه‌های مختلف جو در مناطق مختلف متفاوت می‌باشد.

در ایران تحقیقات وسیعی در زمینه روند دمای هوا در سطح زمین صورت گرفته است که نتایج اغلب آن‌ها حاکی از افزایش دما می‌باشد. اما فهم بهتر از گرمایش جهانی با بررسی کمی روند و تغییر دمای هوا در لایه‌های مختلف جو و برای مناطق مختلف آب و هوایی میسر می‌شود. ماکروگیانس و ساسمنوگلاو (Makrogiannis and Sahsamanoğlu, 1992) دمای میانگین لایه‌های ۱۰۰۰ میلی‌بار تا ۵۰۰ میلی‌بار بر روی اروپا بر پایه داده‌های گره‌بندی شده را برای دوره ۱۹۸۸-۱۹۴۳ مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها روند افزایشی میانگین دما بر روی اغلب مناطق اروپا را گزارش نمودند. اغلب پژوهش‌های صورت گرفته حاکی از افزایش دمای هوا در لایه‌های پایینی در هر دو نیم‌کره‌ی شمالی و جنوبی دارد (Harley, 1978; Angell and Korshover, 1983).

یو و همکاران (Yoo et al, 2011) داده‌های ماهواره‌ای و اندازه‌گیری زمینی را برای تحلیل روند دما در تروپسفر میانی و استراتسفر پایینی در کره جنوبی طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۰ را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها میزان افزایش دمای سطح با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای را بیش‌تر از رادیوسوند گزارش نمودند. ولی عکس این موضوع در لایه میانی تروپسفر مشاهده شد که بیانگر تفاوت سیستماتیک بین داده‌های ماهواره‌ای و زمینی می‌باشد. هایمبرگر و همکاران (Haimberger et al, 2008) روند کاهشی در سری دمای میانگین جهانی که از شیب داده‌های رادیو سوند بدست آمده بود را در مقایسه با

داده‌های مشاهده شده پیدا نمودند. آلن و شرود (Allen and Sherwood, 2008) روند دما برای لایه‌های بالای تروپوسفر بر پایه داده‌های مشاهده شده را در حدود ۰/۴۷ کلون در هر دهه برآورد نمودند. فیلاندراس و همکاران (Philandras et al, 2015) دمای هوا در لایه‌های مختلف جو را بر روی منطقه مدیترانه برای دوره ۲۰۱۱-۱۹۶۵ مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها هم‌چنین ارتباط بین دما در لایه‌های مختلف جو را با شاخص‌های نوسان مدیترانه، الگوی شمالی دریای خزر و نوسان‌های آتلانتیک شمالی بررسی کردند. طبق گزارش‌های محققین نامبرده دمای هوا در لایه‌های پایینی و میانی تروپوسفر، برخلاف لایه بالایی در حال افزایش است.

تاکنون، مطالعه‌ای بر روی روند دما در لایه‌های جو ایران صورت نگرفته است و یافتن زیر دوره‌هایی که دما وضعیت کاهشی یا افزایشی داشته و یافتن نقطه (نقاط) تغییر و زمان‌هایی که یک تغییر ناگهانی در روند دمای لایه‌های جو بوجود آمده، مورد توجه محققان داخلی نبوده است. از این‌رو، هدف از تحقیق حاضر بررسی تغییرات دما در لایه میانی جو ایران و هم‌چنین تعیین نقطه تغییر و یافتن دوره‌های زمانی است که این دما روند ناگهانی و غیر معمول داشته است. به دلیل آن‌که رفتار سری‌های زمانی دما در در ترازهای ۷۰۰، ۶۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال بسیار شبیه به یکدیگر است، در این تحقیق با استفاده از آزمون من-کندال دنباله‌ای شروع روندهای افزایشی دما تنها در تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

داده‌های ماهانه گره‌بندی شده دما در ترازهای ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال در محدوده‌هایی با عرض جغرافیایی 25° تا 40° شمالی و طول 45° تا $62/5^{\circ}$ شرقی برای دوره ۲۰۱۴-۱۹۶۸ از داده‌های واکاوی شده NCEP-NCAR استخراج شدند (Kalnay et al, 1962). این داده‌ها از ژانویه سال ۱۹۴۸ در دسترس قرار دارند، اما به علت این‌که قبل از سال ۱۹۶۸ برای منطقه آسیا کیفیت داده‌ها پایین است، در این پژوهش از داده‌های ۱۹۶۸ به بعد استفاده شد (Yang et al, 2002). تفکیک مکانی داده‌های

تعیین مشاهده تغییر روند با زمان در نظر گرفته می‌شود. برای محاسبه این آزمون مراحل زیر به کار برده می‌شوند.

۱- بزرگی $x_j, (j = 2, \dots, n)$ با تعداد دفعاتی که $x_j > x_k$ باشد با n_j نمایش داده می‌شود. آماره آزمون از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$t_j = \sum_{i=2}^j n_i, \quad j = 2, \dots, n \quad (1)$$

۲- این آماره دارای توزیع نرمال با میانگین و پراش زیر می‌باشد:

$$E(t_j) = \frac{j(j-1)}{4} \quad (2)$$

$$\text{Var}(t_j) = \frac{j(j-1)(2j+5)}{72} \quad (3)$$

۳- مقادیر دنباله‌ای آماره $U(t)$ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$U(t) = \frac{t_j - E(t_j)}{\sqrt{\text{Var}(t_j)}}, \quad j = 2, \dots, n. \quad (4)$$

دنباله $U(t)$ دنباله پیشرو می‌باشد. دنباله پسر $U'(t)$ با استفاده از مراحل بالا محاسبه می‌شود با این تفاوت که نقطه شروع داده‌ها را آخر سری‌های زمانی در نظر گرفته و محاسبات از آخر سری‌های زمانی شروع می‌شوند. به عبارت دیگر، در محاسبات بالا x_n به جای x_1 ، x_{n-1} بجای x_2 و به همین ترتیب تا آخر منظور می‌گردد.

مقادیر مثبت و منفی $U(t)$ به ترتیب بیانگر یک روند افزایشی و کاهشی می‌باشند ($U'(t)$ مشابه $U(t)$ می‌باشد). اگر قدرمطلق آماره آزمون بزرگ‌تر از عدد جدول نرمال استاندارد (یعنی $|U(t)| > Z_{\alpha/2}$) در سطح معنی‌داری α باشد آن‌گاه فرض عدم روند رد می‌شود. $Z_{\alpha/2}$ نقطه بحرانی توزیع نرمال استاندارد است که بالا دست آن به میزان $\alpha/2$ احتمال وجود دارد.

برای محاسبه آماره آزمون من-کندال دنباله‌ای کد برنامه‌های کامپیوتری مربوطه، در محیط برنامه‌نویسی R نوشته شد.

باد مداری $2/5^\circ$ طولی در $2/5^\circ$ عرضی و تعداد کل گره‌ها در پهنه مورد مطالعه ۵۶ می‌باشند. معدل مکانی دمای لایه میانی جو در این محدوده به عنوان نمایه منطقه‌ای دما در سه لایه جو در ایران در نظر گرفته شد و سری زمانی متوسط سالانه آن برای تحلیل‌های بعدی محاسبه شد. شکل (۱) سری‌های زمانی دما در تراز بیان شده را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود رفتار این سه سری زمانی بسیار شبیه به یکدیگر است و همبستگی بالایی با یکدیگر دارند. از این‌رو، تنها سری‌های زمانی سالانه مربوط به تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای محاسبات بعدی منظور شد. روند خطی این دما نیز با استفاده از یک رابطه رگرسیونی بین دما به عنوان متغیر پاسخ و زمان به عنوان متغیر توضیحی تعیین می‌شود.

در این تحقیق از آزمون من-کندال دنباله‌ای (Sneyers, 1990) که در حقیقت تعمیم آزمون من-کندال می‌باشد برای تعیین روند سری‌های زمانی استفاده می‌شود. فرض اولیه در بررسی روند در آزمون من-کندال و من-کندال دنباله‌ای این است که داده‌های اولیه خودهمبستگی معنی‌داری نداشته و مستقل باشند (Sayemuzzaman et al, 2013). در مواردی که سری زمانی دارای ضریب خودهمبستگی معنی‌دار به ویژه در تأخیر یک باشد، احتمال مشاهده روند افزایش یافته و فرض صفر مبنی بر نبود روند رد می‌شود. در این صورت، از تبدیل داده‌ها برای حذف اثر خودهمبستگی استفاده می‌شود. روش پیش سفید کردن (Pre-whitened) یکی از تبدیل‌های معمول است (Von Storch and Zweiers, 2010).

در آزمون من-کندال دنباله‌ای اندازه نمونه، n ، متغیر در نظر گرفته می‌شود و آماره آزمون برپایه رتبه‌های بدست آمده برای $n-1$ زیر نمونه می‌باشد که نمونه اول شامل x_1, x_2 ، نمونه دوم شامل x_1, x_2, x_3 ، نمونه سوم شامل x_1, x_2, x_3, x_4 و در نهایت نمونه آخر شامل کل نمونه یعنی x_1, x_2, \dots, x_n در نظر گرفته می‌شود. این آزمون دنباله‌ای برای ارزیابی و بررسی شروع یک روند در داخل نمونه x_1, x_2, \dots, x_n می‌باشد و بر پایه رتبه سری پیشرو و پسر داده‌های خام نمونه است که در حقیقت برای

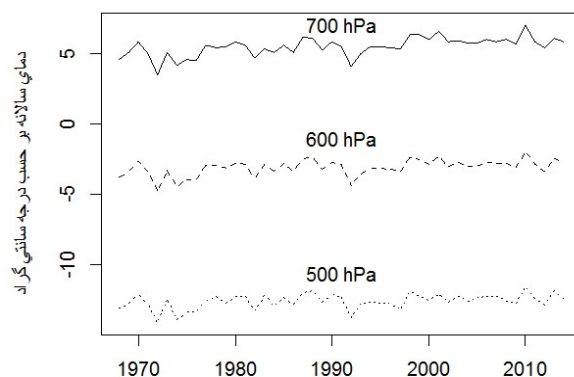
نتایج و بحث

فرض کنید $AT700hPa_t$ ، $AT600hPa_t$ و $AT500hPa_t$ به ترتیب بیانگر میانگین دما برای ترازهای ۷۰۰، ۶۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال برای محدوده ایران در سال t باشد. نمودار سری‌های زمانی این دما برای ترازهای ذکر شده برای کل دوره مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است. همانطور که در شکل یک دیده می‌شود نوسان‌های هر سه سری بسیار شبیه هم هستند به طوری می‌توان با اضافه یا کم کردن مقداری ثابت از مقدار یک سری به دیگر رسید. بنابراین تحلیل روند این سه سری به طور جداگانه منجر به یک نتیجه می‌شود. از این رو، تنها سری‌های زمانی دمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (لایه میانی جو) برای محاسبه‌های بعدی منظور شد. به روند خطی مربوطه به این سری زمانی به صورت خط چین در شکل

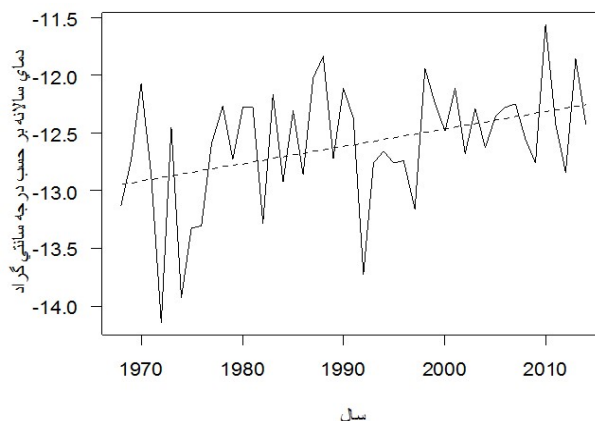
(۲) رسم شده است. معادله رگرسیونی خط روند برای دمای لایه میانی جو به صورت زیر محاسبه گردید:

$$AT500hPa_t = 0.015t - 42.8, \quad (5)$$

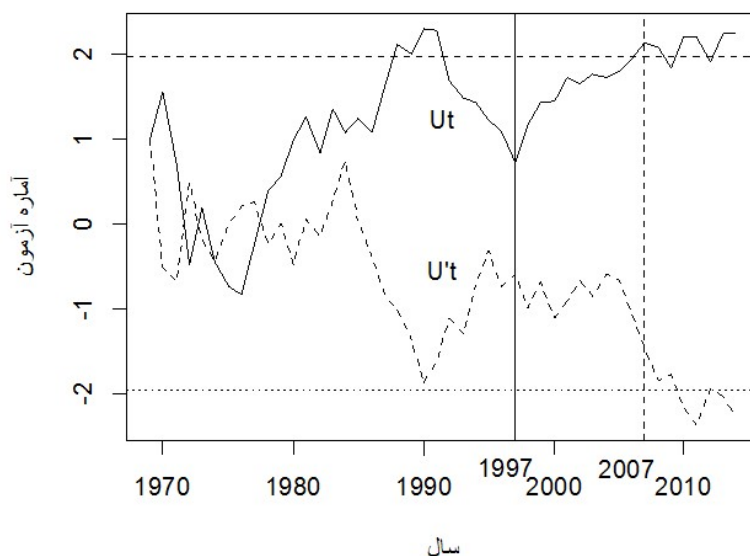
مقدار P-value مربوط به ضریب رگرسیونی برابر ۰/۰۰۶ می‌باشد که نشان دهنده معنی‌داری شیب خط رگرسیونی دمای لایه میانی جو در سطح ۵٪ است. هم‌چنین تحلیل واریانس مربوط به مدل‌های رگرسیونی نشان داد که مقدار آماره آزمون F برابر ۸ است که از عدد جدول $(F_{0.05}(1,45) = 4)$ بزرگ‌تر می‌باشد. بنابراین، مدل رگرسیونی برازش داده شده بالا در سطح ۵٪ معنی‌دار است. لذا، دمای لایه میانی جو بر روی ایران دارای یک روند (خطی) افزایشی در دوره ۲۰۱۴-۱۹۶۸ است. شیب رگرسیونی خطی نشان دهنده این واقعیت است که در پنجاه سال گذشته در حدود ۰/۷۵ درجه سانتی‌گراد افزایش دما در لایه میانی جو ایران رخ داده است.



شکل ۱- سری‌های زمانی سالانه دما در ترازهای ۷۰۰، ۶۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال برای دوره ۲۰۱۴-۱۹۶۸.



شکل ۲- سری‌های زمانی سالانه دما در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای دوره ۲۰۱۴-۱۹۶۸ و روند خطی مربوطه.



شکل ۳- مقادیر آماره آزمون من-کندال دنباله‌ای $U(t)$ و $U'(t)$ برای دما در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی ایران.

ناحیه بحرانی قرار گرفته است و تاکنون ادامه داشته است. سال ۱۹۹۷ می‌تواند به عنوان نقطه تغییر دمای سالانه در لایه میانی جو در نظر گرفته شود. آماره آزمون $U(t)$ برای $t = 2007$ برابر $2/14$ است که از عدد جدول نرمال $(Z_{0.025} = 1.96)$ بزرگ‌تر می‌باشد. شکل (۳) نشان می‌دهد که این آماره آزمون برای اغلب سال‌های بعد از ۲۰۰۷ نیز بیشتر از بازه اطمینان ۹۵ درصدی است که حاکی از آن است که وضعیت افزایشی دمای لایه جو در سال‌های اخیر نیز در حالت بحرانی می‌باشد.

نتیجه‌گیری

دمای لایه میانی جو بر روی ایران دارای یک روند خطی افزایشی در دوره ۲۰۱۴-۱۹۶۸ می‌باشد به طوری که در پنجاه سال گذشته در حدود $0/75$ درجه سانتی‌گراد افزایش دما در لایه میانی جو ایران رخ داده است. هم‌چنین، شدت این روند در سال‌های اخیر نیز بیش‌تر شده است. از سال ۱۹۹۷ به بعد یک روند افزایشی معنی‌دار در دمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ایران آغاز شده است که در لایه میانی جو از سال ۲۰۰۷ به بعد در ناحیه بحرانی قرار گرفته است و تاکنون ادامه داشته است. روند گرمایش دمای هوا (در ارتفاع دو متر) نیز در ایران، حدود $0/24$ درجه سانتی‌گراد

برای کنکاش بیش‌تر روند دمای لایه میانی جو در تمامی زیر دوره‌ها از آزمون ناپارامتری من-کندال دنباله‌ای استفاده شد. همان‌طور که در بخش مواد و روش‌ها توضیح داده شد، قبل از انجام این آزمون، در ابتدا بایستی ناهمبسته بودن سری زمانی دمای لایه میانی جو بررسی شود. مقدار ضریب همبستگی در تأخیر یک مربوط سری‌های زمانی دمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برابر $0/06$ برآورد شد که در سطح ۵٪ معنی‌دار نیست. بنابراین، نیاز به تبدیل داده‌ها نمی‌باشند و این سری زمانی به طور پیاپی ناهمبسته است و برای محاسبات بعدی از خود داده‌ها استفاده می‌شود.

مقدار آماره آزمون من-کندال دنباله‌ای (رابطه ۴) برای میانگین سالانه دما در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی ایران محاسبه شد و سپس منحنی‌های $U(t)$ و $U'(t)$ و بازه‌های بحرانی بالایی و پایینی در سطح ۵٪ در شکل (۳) آورده شده است. شکل (۳) نشان می‌دهد که منحنی‌های U و U' بین سال‌های ۱۹۷۶ و ۱۹۷۸ با هم برخورد کرده‌اند که بیانگر شروع تغییرات در دمای لایه میانی جو ایران در همین سال‌ها بوده است. منحنی U نشان می‌دهد که در اغلب سال‌های بعد از ۱۹۹۷ شدت روند صعودی دما افزایش یافته و در حقیقت از سال ۱۹۹۷ به بعد یک روند افزایشی دما در لایه میانی جو ایران آغاز شده است (شکل ۳). این روند افزایشی دما در لایه میانی جو، از سال ۲۰۰۷ به بعد در

6. Kalnay E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, A. Leetmaa, R. Reynolds, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, R. Jenne, and D. Joseph, 1996, The NCEP/NCAR40-Year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Volume 77, Issue 3, pp. 437- 471.
7. Makrogiannis, T., and H. Sahsamanoğlu, 1992, Analysis of mean temperature variations at the 500/1000hPa layer over Europe, 1945–88. *Theoretical and Applied Climatology*, Volume 45, Issue 3, pp. 193-200.
8. Philandras, C., P. Nastos, I. Kapsomenakis and C. Repapis, 2015, Climatology of upper air temperature in the Eastern Mediterranean region. *Atmospheric Research*, Volume 152, pp. 29-42.
9. Shirvani, A, 2014, Trend sequential analysis of the air temperature over Iran and its comparison with global warming. *Iranian Congress of Soil and Water Engineering management*, Tehran University, 2-3 Ordibehest, pp. 92-101.
10. Sneyers, R, 1990, On the statistical analysis of series of observations. *World Meteorological Organization, Technical Note 143*, Geneva, Switzerland.
11. Von Storch, H., and F. W. Zwiers, 2001, *Statistical analysis in climate research*. Cambridge University press.
12. Yang, S., K.M. Lau, and K.M. Kim, 2002, Variations of the East Asian Jet: Stream and Asian–Pacific–American winter climate anomalies. *Journal of Climate*, Volume 15, Issue 3, pp. 306- 325.
- در هر دهه می‌باشد و بنابراین دمای هوا در ایران در پنجاه سال گذشته یک درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (شیروانی، ۱۳۹۳).
- تحقیق حاضر نشان می‌دهد که دما در لایه میانی جو نیز مانند دمای هوا در ارتفاع دو متری در حال افزایش است اما شدت افزایش دما در لایه‌های میانی به اندازه ۰/۲۵ درجه در پنجاه سال می‌باشد. گزارش‌های بین‌المللی افزایش گازهای گلخانه‌ای را عامل مؤثر افزایش دما در سطح و جو می‌دانند (Solomon, 2007).

منابع

- Allen, R. J., and S. C. Sherwood, 2008, Warming maximum in the tropical upper troposphere deduced from thermal winds. *Nature Geoscience*, Volume 1, Issue 6, pp. 399-403.
- Angell, J., and J. Korshover, 1983, Global temperature variations in the troposphere and stratosphere, 1982-1958. *Monthly Weather Review*, Volume 111, Issue 5, pp. 901-921.
- Haimberger, L., C. Tavalato and S. Sperka, 2008, Toward elimination of the warm bias in historic radiosonde temperature records-Some new results from a comprehensive inter-comparison of upper-air data. *Journal of Climate*, Volume 21, Issue 18, pp. 4587-4606.
- Harley, W. S, 1978, Trends and variations of mean temperature in the lower troposphere. *Monthly Weather Review*. Volume 106, Issue 3, pp. 413-416.
- Solomon, S, 2007, *Climate Change 2007- The Physical Science Basis*. Working group, I contribution to the fourth assessment report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.