

روند تغییرات رطوبت (ویژه و نسبی) در ایستگاه‌های سینوپتیک ایران طی دوره آماری (۱۹۷۶-۲۰۰۵)

پری سیما کتیرایی بروجردی، فروزان ارکیان و رقیه رضائی فرکوش*

گروه هواشناسی، علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

تاریخ پذیرش: ۹۰/۶/۲۸

تاریخ دریافت: ۹۰/۴/۲۱

چکیده

در دهه‌های اخیر تغییر اقلیم در نتیجه گرمایش جهانی از بحث‌های اساسی بین دانشمندان بوده است. رطوبت جو به علت نقش بسزایی که در ترازمندی انرژی سیاره زمین دارد، در تبیین تغییرات اقلیمی موثر می‌باشد. در این مطالعه مقادیر متوسط ماهانه فشار هوای ایستگاه (QFE)، فشار بخار و رطوبت نسبی و دمای نقطه شبنم ۴۶ ایستگاه سینوپتیک ایران طی دوره آماری (۱۹۷۶-۲۰۰۵) جمع‌آوری گردید. و رطوبت ویژه نیز طی دوره آماری (۱۹۷۶-۲۰۰۵) محاسبه شده است. روند تغییرات رطوبت نسبی و ویژه، با روش حداقل مربعات محاسبه شد. از آزمون من-کندال برای تعیین معنی‌داری روند استفاده شد. نتایج نشان داد که در شمال (۸۰ درصد) و شمال غرب ایران میانگین رطوبت نسبی سالانه بیش‌تر از سایر مناطق است و میانگین رطوبت نسبی فصل زمستان بیش‌تر از سایر فصول است. همچنین میانگین رطوبت ویژه سالانه در کرانه‌های خلیج فارس و دریای عمان و حاشیه دریای خزر بیش‌تر از سایر نقاط است و مقدار رطوبت ویژه در فصل تابستان در کل کشور بیش‌تر از فصول دیگر است ($\sim 4\text{g/kg}$). روند رطوبت نسبی سالانه در اکثر ایستگاه‌ها غیر از کرانه دریای خزر و خلیج فارس و پاره‌ای از ایستگاه‌های غربی منفی است. روند رطوبت ویژه سالانه تنها در ایستگاه‌های کرانه دریای خزر و خلیج فارس مثبت و در سایر ایستگاه‌ها منفی است. بیش‌تر ایستگاه‌های ایران در فصل زمستان روند منفی معنی‌دار در رطوبت نسبی دارند (۲۸ درصد). روند رطوبت ویژه فصل بهار در اکثر ایستگاه‌ها کاهش و تنها در چند ایستگاه کرانه دریای خزر و خلیج فارس افزایشی است. در مجموع می‌توان بیان داشت که روند متغیرهای مورد بررسی بیش‌تر کاهش‌ی است.

واژگان کلیدی

تغییر اقلیم، رطوبت نسبی، رطوبت ویژه، روند، ایران

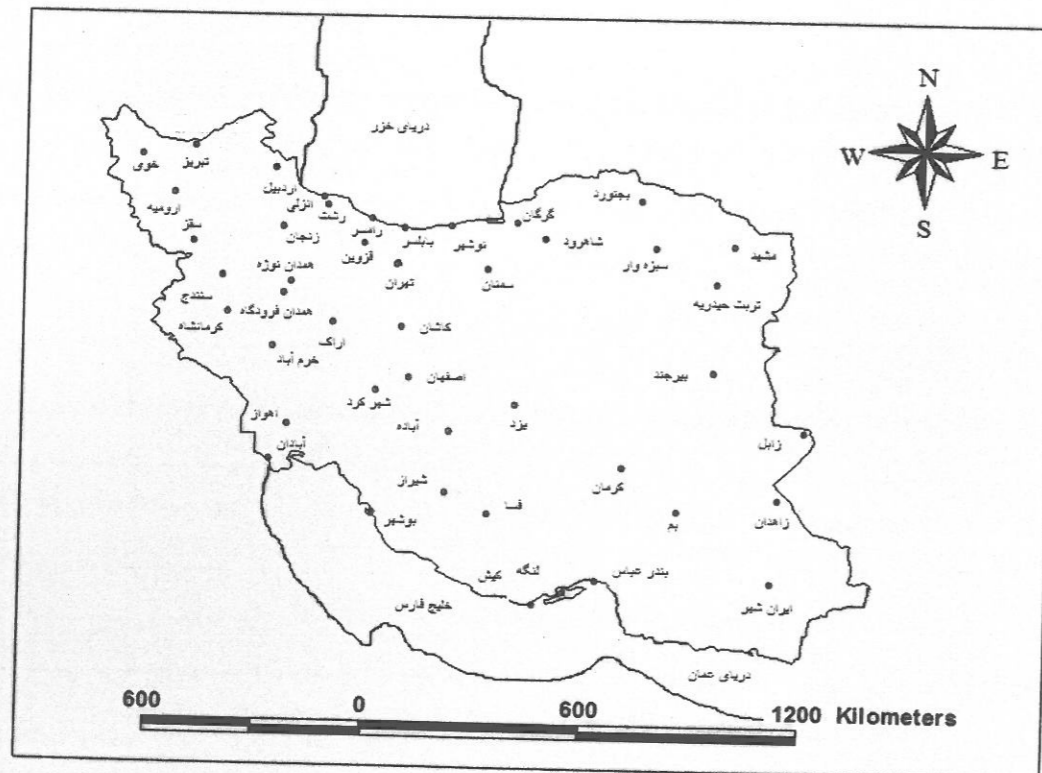
مقدمه

اقلیم کره زمین تاکنون در همه‌ی زمان‌ها در حال تغییر بوده است. نشانه‌ی این تغییرات از هسته‌های یخی، سوابق زمین‌شناسی و اخیراً از حلقه‌های درختان و رشد مرجانی و سوابق مستند تاریخی به دست می‌آید یکی از عوامل که اقلیم کره زمین از آن تأثیر می‌پذیرد بخار آب است. مدل‌های اقلیمی افزایش بخار آب جو را که همراه با تغییر کوچکی در رطوبت نسبی است پیش بینی می‌کنند. البته واضح است که این امر ناشی از افزایش دمایی است که خود به علت افزایش گازهای گلخانه‌ای اتفاق می‌افتد (Dai et al., 2001, et al., 2001 Cubasch). افزایش بخار آب باعث ایجاد یک بازخورد مثبت بزرگ بر دمای سطح زمین می‌شود (Hansen et al., 1984) و این امر باعث افزایش بارش در عرض‌های متوسط و بالا می‌شود. بنابراین واضح است که باید تغییرات محتوای بخار آب جو بررسی گردد و آن هم نه تنها برای آشکار سازی گرمایش جهانی بلکه برای ارزیابی بازخورد بخار آب بزرگی که در مدل‌های اقلیمی دیده می‌شود. در میان متغیرهای هواشناسی رطوبت نسبی به دلیل تأثیر مستقیم بر مقدار دید، تشکیل ابر، مه، مه دود، اهمیت ویژه‌ای دارد (Elliot & Angel, 1997). به علاوه رطوبت نسبی بر ضریب آسایش بشر، تبخیر سطح زمین، تعرق گیاه تأثیر دارد. تاکنون بیش‌تر مطالعات در ایران و جهان در زمینه آشکار سازی تغییرات آب و هوا، معطوف به روندیابی تغییرات دما و بارش بوده است. علاوه بر این چندین محقق روند فشار بخار آب و رطوبت نسبی را مورد مطالعه قرار داده‌اند (Gaffen & Ross, 1999) دمای نقطه شبنم فصلی و سالانه، نقشه‌های رطوبت نسبی و ویژه برای ایالات متحده را برای دوره اقلیمی ۱۹۹۰-۱۹۶۱ بررسی کردند. نتایج افزایش رطوبت ویژه را، چند در صد در هر ده سال و افزایش دمای نقطه شبنم را، چند دهم درجه روی اکثر نقاط کشور در زمستان - بهار و تابستان نشان داده است. همچنین مشخص شده که افزایش رطوبت شب هنگام بیش‌تر از روز هنگام است. رطوبت ویژه با روند افزایشی دما افزایش می‌یابد. همچنین Vincent & Van Wijngaarden (2005) تغییرات رطوبت نسبی را در کانادا بررسی کردند و نتیجه گرفتند که پایین‌ترین رطوبت نسبی مربوط به بعد از ظهر و بالاترین رطوبت نسبی در شب‌ها اتفاق می‌افتد. همچنین در شمال شرق کانادا در زمستان کاهش رطوبت نسبی همگام با کاهش دمای نقطه شبنم است و در غرب و مناطق سرد کانادا افزایش دما در زمستان و با کاهش زیاد بارش همراه است. در غرب کانادا در فصل بهار کاهش رطوبت نسبی همراه با افزایش دما است (Dai, 2006) تغییرات رطوبت ویژه و رطوبت نسبی را با استفاده از داده‌های ۱۵۰۰۰ ایستگاه برای (۶۰°S-۷۵°N) از دسامبر ۱۹۷۵ تا بهار ۲۰۰۵ به دست آورد. آن‌ها تغییرات میان سالی و فصلی و روند خطی رطوبت ویژه و نسبی را با تغییرات دمای سطح زمین و تغییراتی که مشابه با یک مدل اقلیمی است را بررسی کرده‌اند و نتایج زیر را به دست آورده‌اند. بزرگ‌ترین مقدار رطوبت ویژه $17-19 \text{ g/kg}$ در حاره است و تغییرات فصلی بزرگ روی خشکی‌های عرض‌های بالا و شمال عرض‌های میانی است. رطوبت نسبی تغییرات میان سالی و فضایی نسبتاً کوچکی دارد که مقدار متوسط آن (۷۵-۸۰ درصد) روی بیش‌تر اقیانوس‌ها در همه فصل‌ها و (۷۰-۸۰ درصد) اغلب نواحی خشکی به جز صحراها و زمین‌های عرض‌های بالا که مقدار رطوبت نسبی در صحراها و زمین‌های عرض‌های بالا (۶۰-۷۰ درصد) است و همکاران Tonkatz در سال 2007 فشار بخار آب و رطوبت نسبی را در مناطق نیمه خشک ترکیه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که فشار بخار آب در طول دوره مورد مطالعه دارای روند افزایشی و روند تغییرات رطوبت نسبی رو به کاهش بوده است. تغییرات سری زمانی فشار بخار آب ایران در ۵۰ سال گذشته (از ژانویه ۱۹۵۱ تا دسامبر ۲۰۰۰) توسط (قائدی، ۱۳۸۴) بررسی شده است. تحلیل ماهانه روند رطوبت نشان می‌دهد که بیش‌تر نواحی ساحلی کشور با روند مثبت و نواحی مرتفع با روند منفی رطوبت روبرو هستند. روند رطوبت ویژه در تراز میانی جو حاکی از این است که مرکز ایران بدون روند، مناطق شرق، غرب و شمال با روند منفی و تنها منطقه‌ای در کرانه‌های شمال خلیج فارس با روند مثبت رطوبت همراه است. (خردادی و همکاران، ۱۳۸۶) در مطالعه‌ای روند تغییرات رطوبت نسبی را تنها در سه ایستگاه تهران، شیراز و مشهد مورد بررسی قرار

دادند و به این نتیجه رسیدند که رطوبت نسبی دارای روند کاهشی می‌باشد. (قره خانی و قهرمان، ۱۳۸۹) روند تغییرات رطوبت نسبی و دمای نقطه شبنم را بر روی ۲۲ ایستگاه سینوپتیک ایران در بازه زمانی ۱۹۷۳-۲۰۰۳ به دست آوردند. نتایج نشان داد بیش‌ترین روند افزایشی متغیرهای مورد بررسی بر اساس روش ناپارامتری من - کندال در فصل تابستان اتفاق افتاده است و کم‌ترین روند تغییرات متغیر رطوبت نسبی در فصل زمستان حادث شده است. بیش‌ترین روند کاهشی متغیر رطوبت نسبی در فصل زمستان و تابستان و کم‌ترین روند تغییرات کاهشی در فصل پاییز بوده است. بیش‌ترین روند کاهشی متغیر نقطه شبنم در فصل بهار و کم‌ترین روند کاهشی در فصل پاییز اتفاق افتاده است. هدف از انجام این تحقیق بررسی روند تغییرات رطوبت (ویژه و نسبی) در ایستگاه‌های سینوپتیک ایران طی دوره آماری (۱۹۷۶-۲۰۰۵) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور انجام این تحقیق ابتدا شناسنامه اطلاعات آب و هوایی ۴۶ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک از سازمان هواشناسی کشور تهیه گردید. علل انتخاب این ایستگاه‌ها، طول دوره آماری کافی (حداقل ۳۰ سال) آن‌ها بوده است. از بین آمار و اطلاعات هواشناسی ثبت شده در این ایستگاه‌ها کمیت‌های رطوبت نسبی (درصد)، دمای نقطه شبنم (درجه سانتی‌گراد)، فشار بخار و فشار هوای ایستگاه (QFE) هر دو بر حسب (هکتو پاسکال) در بازه‌ی زمانی (۱۹۷۶-۲۰۰۵) استخراج گردید و رطوبت ویژه توسط رابطه $q = \frac{e}{p - 0.378e}$ محاسبه شد. ابتدا میانگین سی ساله رطوبت نسبی و ویژه و دمای نقطه شبنم برای تمام ایستگاه‌ها محاسبه شد. سپس جهت بررسی روند سری داده‌ها از روش حداقل مربعات استفاده شد و برای معنی‌داری روند از آزمون من-کندال استفاده گردید. روند تغییرات سالانه و فصلی رطوبت نسبی و ویژه همچنین روند تغییرات سالانه دمای نقطه شبنم رسم شد. پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل (۱) درج شده است.



شکل ۱- پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

آزمون نا پارامتری من - کندال: (Sneyers, 1990) این آزمون ابتدا توسط (Mann, 1945) ارائه سپس توسط (Kendall, 1975) توسعه یافت. این روش به طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به کار گرفته می‌شود و یکی از روش‌های مهم برای آزمون روند سری‌های زمانی محسوب می‌شود. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند اشاره نمود (Hulme, 1994) اثر پذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای این روش است در این آزمون برای هر سری از داده‌ها رتبه‌های آن در نظر گرفته می‌شود. برای محاسبه ضریب من کندال (t) ابتدا یک سری n تایی از اعضا شامل X_i ها در نظر گرفته می‌شود. سپس به ازای هر عضو X_i تعداد عضوهایی که در سری قبل از X_i عضو بوده و اندازه اشان کوچکتر از X_i است (n_i) محاسبه و سری جدیدی از n_i ها که مربوط به هر عضو متناظر X_i است تشکیل می‌شود. در ادامه جمع تراکمی سری جدید (n_i) حساب می‌شود. به طوری که $t = \sum n_i$ اگر قبل از X_i عضوهایی وجود داشته باشند که مقدارشان درست مساوی مقدار X_i باشد به اندازه نصف تعداد آن‌ها به n_i اضافه شود.

این کمیت تحت فرض صفر با میانگین و واریانس برابر

$$E(t) = \frac{n(n-1)}{4}, \quad \text{var } t = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72}$$

از توزیع نرمال پیروی می‌کنند. این آزمون یک آزمون دو طرفه است، بنابراین به ازای مقادیر بزرگ $|u(t)|$ با مقدار $u(t) = [t - E(t)] / \sqrt{\text{var } t}$ فرض صفر رد می‌شود. یا به طور دقیق‌تر، اگر احتمال α_1 با استفاده از جدول توزیع نرمال استاندارد برابر $\alpha_1 = P(|u| > u(t))$ باشد، فرض صفر (یعنی عدم وجود روند) در سطح α پذیرفته می‌شود، اگر $\alpha_1 > \alpha$ باشد و اگر $\alpha_1 < \alpha$ باشد رد می‌شود. هنگامیکه مقدار $u(t)$ معنی‌دار است، روند کاهشی یا افزایشی به علامت $u(t)$ بستگی دارد، به طوری که $u(t) > 0$ نشان‌دهنده روند افزایشی و $u(t) < 0$ نشان‌دهنده روند کاهشی در سری X ها است.

رطوبت ویژه رطوبت ویژه (q) برابر است با جرم بخار آب بر جرم کل هوای مرطوب، که بر حسب گرم بر کیلو گرم ($\frac{g}{kg}$) یا کیلو گرم بر کیلو گرم ($\frac{kg}{kg}$) اندازه‌گیری می‌شود.

رطوبت نسبی شاخصی است که نسبت بین فشار بخار آب واقعی و فشار بخار آب اشباع را در همان دما نشان می‌دهد و به صورت درصد نشان داده می‌شود که معرف مقدار بخار آب موجود در هوا در مقایسه با هوای اشباع شده از بخار آب می‌باشد.

دمای نقطه شبنم به دمایی که یک نمونه هوا در فشار ثابت و بدون تبادل رطوبتی تنها با سرد شدن به حالت اشباع می‌رسد گویند.

نتایج

برای بررسی روند متغیرهای مورد مطالعه از آزمون من-کندال استفاده شده و معنی‌داری روند در سطح (۹۵ درصد) محاسبه شده و خلاصه آن در جدول (۴) درج شده است.

میانگین سالانه و روند رطوبت نسبی

میانگین رطوبت نسبی سالانه برای کل کشور طی دوره آماری (۲۰۰۵-۱۹۷۶)، ۵۲ درصد است. مطابق شکل (۲) مقدار رطوبت نسبی در شمال و شمال غرب ایران بیش‌تر از سایر نقاط است و بیش‌ترین مقدار آن مربوط به ایستگاه بندر انزلی در سواحل دریای خزر است که با کوه‌های بلند البرز از مناطق مرکزی ایران جدا شده و بیشینه‌ی رطوبت نسبی در این منطقه وجود دارد (۸۴/۸۱ درصد). از طرفی ایستگاه بم در منطقه جنوب ایران و همچنین در منطقه کویری و دور از

ساحل جنوبی قرار دارد. بنابراین کوچک بودن رطوبت نسبی در این ایستگاه قابل انتظار است (۲۸/۱ درصد). از طرفی رطوبت نسبی سالانه بر حسب درصد در شمال ایران (به دلیل نزدیکی دریا) مقادیر بالای ۷۰ درصد دارد. همان طور که جدول (۱) مشخص می‌کند بیش‌تر ایستگاه‌ها روند منفی در رطوبت نسبی سالانه دارند (۶۵/۲ درصد). البته این نتیجه با کاهش بارش سالانه در اغلب مناطق ایران مطابقت دارد (کتیرایی و همکاران، ۱۳۸۶؛ رحیم‌زاده و همکاران، ۱۳۸۲). شکل (۴) مشخص می‌کند روند رطوبت نسبی در اغلب نقاط ایران غیر از کرانه دریای خزر و خلیج فارس و پاره‌ای از ایستگاه‌های غربی منفی است.

میانگین فصلی و روند رطوبت نسبی

از جدول (۱) مشخص می‌شود میانگین رطوبت نسبی در فصل زمستان بیش از سایر فصل‌ها است دلیل آن پایین بودن دما در این فصل و بیش‌تر شدن فشار بخار اشباع و در نتیجه رطوبت نسبی زیاد است. مطابق شکل‌های (۶ تا ۹) در فصل زمستان (DJF) و بهار (MAM) بیش‌تر ایستگاه‌ها روند منفی در رطوبت نسبی دارند.

میانگین سالانه و روند رطوبت ویژه

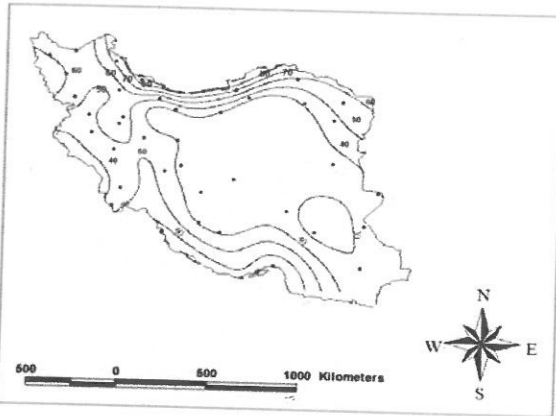
میانگین رطوبت ویژه سالانه در کرانه‌های خلیج فارس و دریای عمان و همچنین دریای خزر بیش‌تر از سایر نقاط ایران و در جنوب بیش‌تر از شمال است (شکل ۳). همچنین بیش‌ترین مقدار رطوبت ویژه مربوط به ایستگاه بندر لنگه ($15/48 \text{ g/kg}$) و کمترین مقدار در ایستگاه آباده ($4/12 \text{ g/kg}$) است. با توجه به شکل (۵) روند رطوبت ویژه سالانه تنها در ایستگاه‌های کرانه دریای خزر و خلیج فارس مثبت و در سایر ایستگاه‌ها منفی است. چون در حاشیه دریا آب کافی برای تبخیر وجود دارد. بنابراین در سایر مناطق با وجود افزایش دما چون در مناطق خشکی قرار گرفته‌اند و آب کافی وجود ندارد رطوبت ویژه علاوه بر این که افزایش نیافته بلکه روند کاهشی دارد.

میانگین فصلی و روند رطوبت ویژه

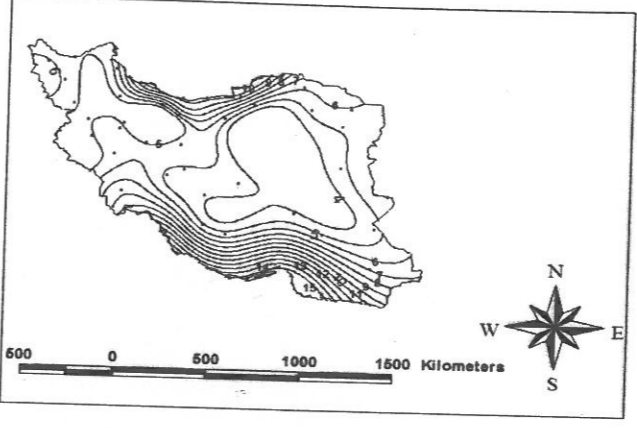
میانگین رطوبت ویژه فصل تابستان بیش‌تر از سایر فصول است. مطابق جدول (۲) در فصل بهار (MAM) بیش‌تر ایستگاه‌ها روند منفی در رطوبت ویژه دارند و تنها در چند ایستگاه کرانه خزر و خلیج فارس افزایشی است. همچنین روند رطوبت ویژه فصل زمستان تنها در ایستگاه‌های شرق و جنوب شرق و پاره‌ای از ایستگاه‌های دامنه شرقی زاگرس منفی و در سایر ایستگاه‌ها مثبت است (شکل‌های ۱۰ تا ۱۳).

میانگین سالانه و روند دمای نقطه شبنم

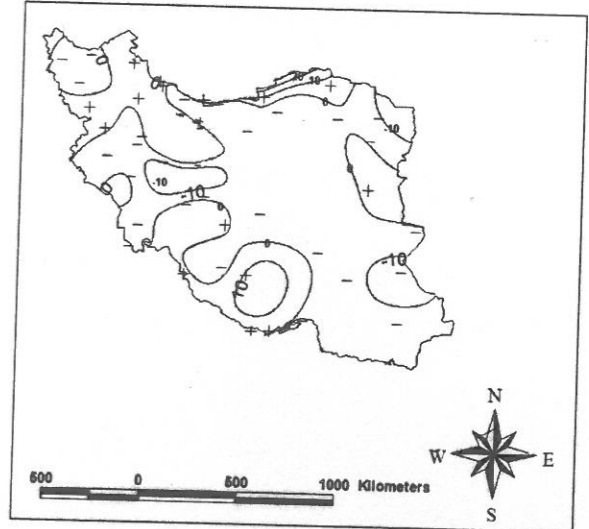
مطابق شکل (۱۴) میانگین دمای نقطه شبنم در کرانه‌های خلیج فارس و دریای عمان و همچنین دریای خزر بیش‌تر از سایر نقاط ایران و در جنوب بیش‌تر از شمال است. همچنین بیش‌ترین مقدار دمای نقطه شبنم مربوط به ایستگاه جزیره کیش ($19/75^\circ \text{C}$) و کم‌ترین مقدار مربوط به ایستگاه سمنان ($-2/78^\circ \text{C}$) است. ۶۱ درصد ایستگاه‌ها روند منفی و ۳۹ درصد ایستگاه‌ها روند مثبت سالانه دارند جدول (۳).



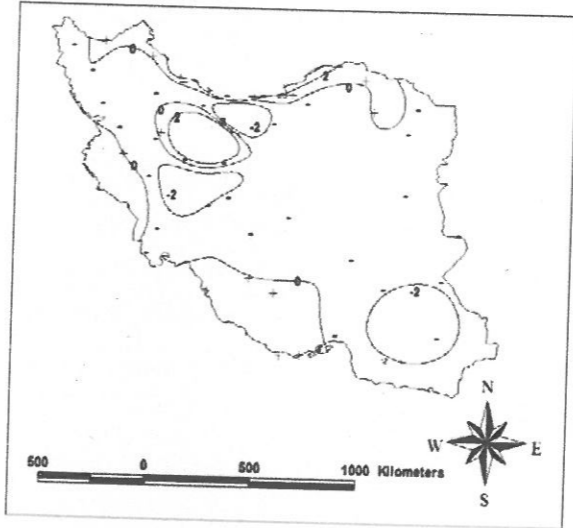
شکل ۲- میانگین رطوبت نسبی سالانه (درصد) طی دوره آماری ۱۹۷۶-۲۰۰۵



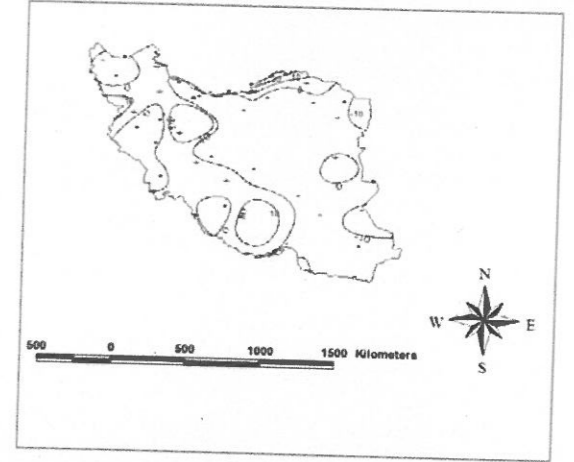
شکل ۳- میانگین رطوبت ویژه سالانه (گرم بر کیلوگرم در سی سال) طی دوره آماری ۱۹۷۶-۲۰۰۵



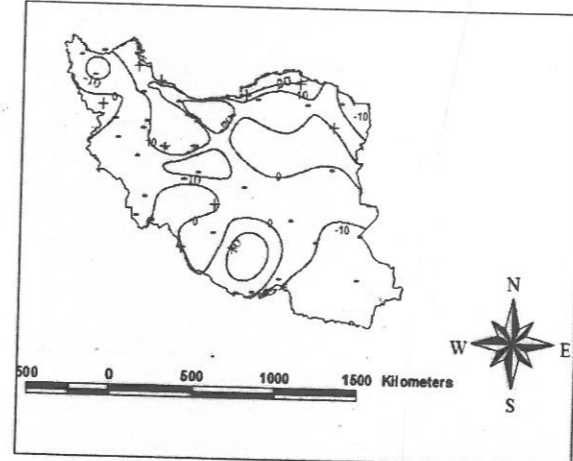
شکل ۴- روند رطوبت نسبی سالانه بر حسب (درصد) درسی سال) طی دوره آماری ۱۹۷۶-۲۰۰۵



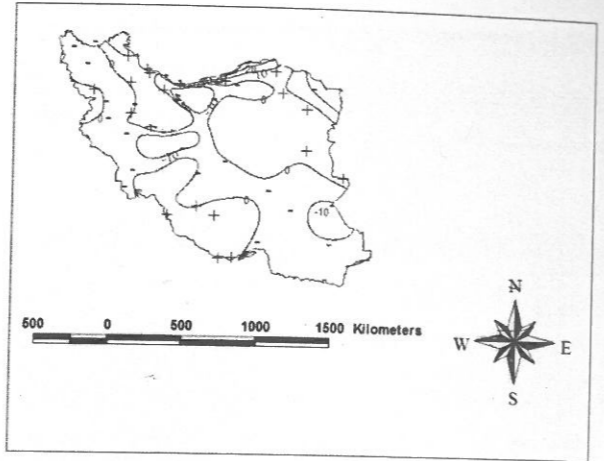
شکل ۵- روند رطوبت ویژه سالانه (گرم بر کیلوگرم در سی سال) طی دوره آماری ۱۹۷۶-۲۰۰۵



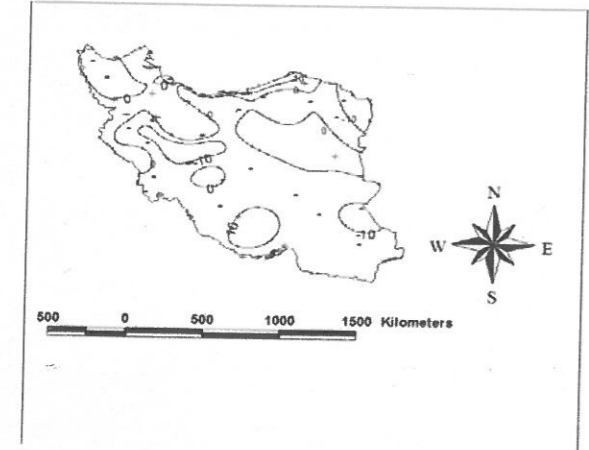
شکل ۶- روند رطوبت نسبی فصل زمستان (DJF) (درصد درسی سال) طی دوره آماری ۱۹۷۶-۲۰۰۵



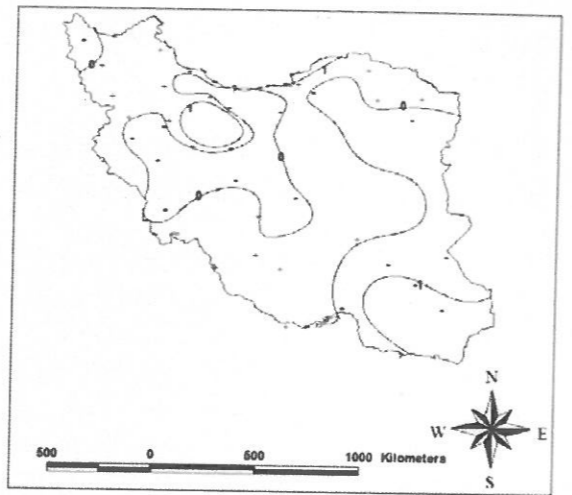
شکل ۷- روند رطوبت نسبی فصل بهار (MAM) (درصد درسی سال) طی دوره آماری ۱۹۷۶-۲۰۰۵



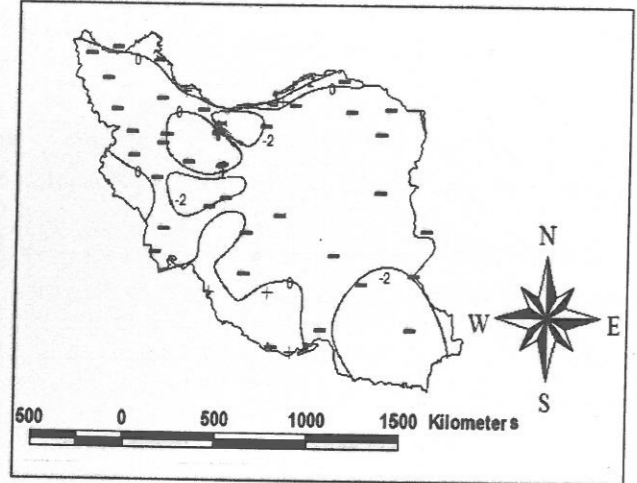
شکل ۸- روند رطوبت نسبی فصل تابستان (JJA) (درصد درسی سال) طی دوره آماری ۱۹۷۶-۲۰۰۵



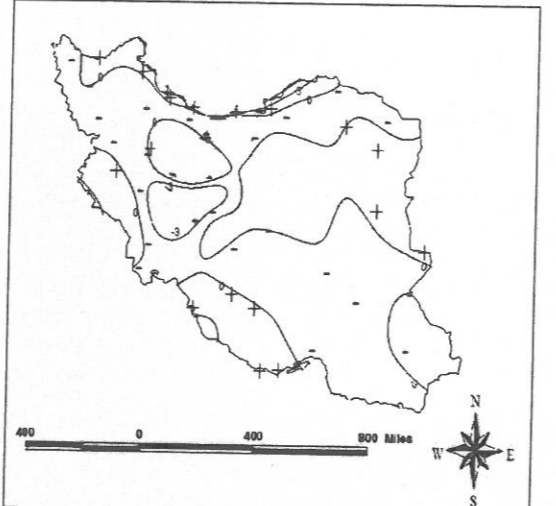
شکل ۹- روند رطوبت نسبی فصل پاییز (SON) (درصد در سی سال) طی دوره آماری ۱۹۷۶-۲۰۰۵



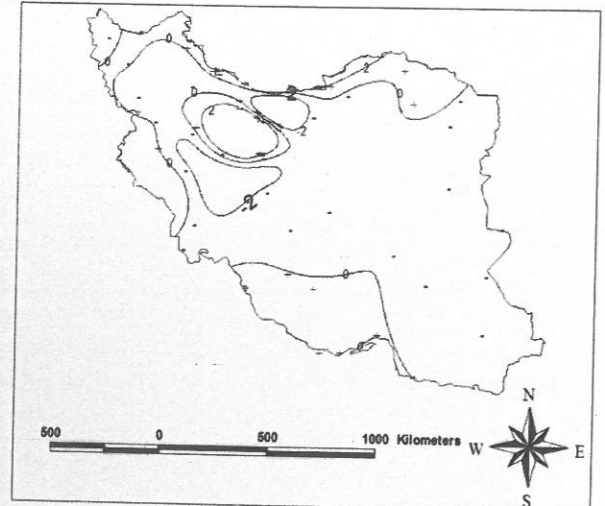
شکل ۱۰- روند رطوبت نسبی فصل زمستان (DJF) بر حسب (درصد درسی سال) طی دوره آماری ۱۹۷۶-۲۰۰۵



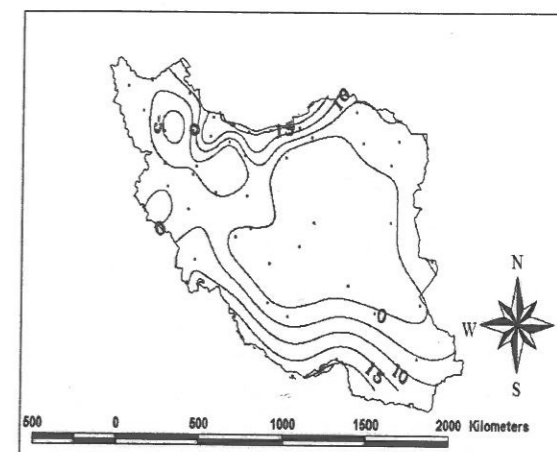
شکل ۱۱- روند رطوبت ویژه فصل بهار (MAM) (گرم بر کیلوگرم در سی سال) طی دوره آماری ۱۹۷۶-۲۰۰۵



شکل ۱۲- روند رطوبت ویژه فصل تابستان (JJA) (گرم بر کیلوگرم در سی سال) طی دوره آماری ۱۹۷۶-۲۰۰۵

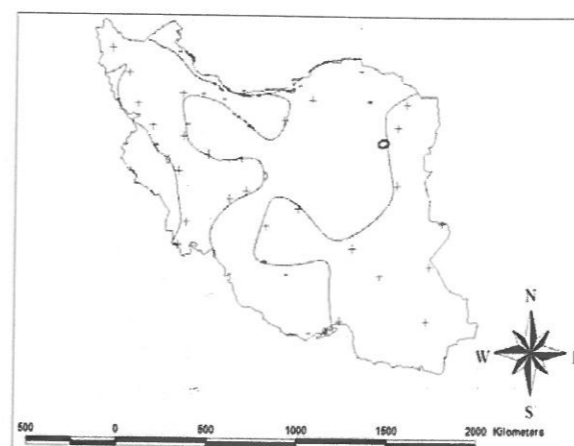


شکل ۱۳- روند رطوبت ویژه فصل پاییز (JJA) (گرم بر کیلوگرم در سی سال) طی دوره آماری ۱۹۷۶-۲۰۰۵



شکل ۱۴- میانگین دمای نقطه شبنم سالانه (درجه سانتی

گراد در سی سال) طی دوره آماری ۱۹۷۶-۲۰۰۵



شکل ۱۵- روند دمای نقطه شبنم سالانه (درجه سانتی

گراد در سی سال) طی دوره آماری ۱۹۷۶-۲۰۰۵

لازم به ذکر است روند در هر سال محاسبه شده است و چون مقدار روند عدد کوچکی می‌باشد، در عدد سی (سی سال) ضرب شده است. جدول ۱ و ۲ نتایج روند خطی سری‌های رطوبت نسبی، ویژه و دمای نقطه شبنم (سالانه و فصلی) را طی دوره آماری (۱۹۷۶-۲۰۰۵) در سطوح احتمال ۹۵ و ۹۹ درصد نشان می‌دهد. و جدول (۴) درصد ایستگاه‌های دارای روند معنی‌دار، در صد افزایشی و کاهش‌ی وجود روند با سطح معنی‌داری را نشان می‌دهد.

جدول ۱- نتایج روند خطی سری‌های رطوبت نسبی (سالانه و فصلی)

طی دوره آماری ۱۹۷۶-۲۰۰۵ در سطوح احتمال ۹۵ و ۹۹ درصد

ایستگاه	سالانه	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	ایستگاه	سالانه	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
اراک	c	C	C	C	c	رامسر	B*	B*	C	C	B*
اردبیل	c	C	C	A*	C	رشت	C	C	C	C	C
ارومیه	B**	B*	B*	C	C	زابل	C	C	C	C	C
اصفهان	B*	C	C	C	B*	زاهدان	B**	B**	B**	B**	B**
اهواز	C	C	C	C	C	زنجان	C	C	C	C	C
ایرانشهر	B**	B*	B**	B*	B*	سبزه وار	C	C	C	C	C
آبادان	c	C	C	C	C	سقز	C	C	A**	A*	C
آباده	C	A**	C	C	C	سمنان	C	C	C	B*	C
بابلسر	C	B*	C	C	C	سنندج	C	C	C	C	C
بجنورد	A*	C	C	C	C	شاهرود	C	C	B*	B**	B**
بم	B**	B**	B**	B**	B**	شهرکرد	B**	B**	B**	B**	B**
بندر انزلی	C	C	C	C	C	شیراز	C	C	C	C	C
بندر عباس	C	C	C	C	C	فسا	A**	A**	A**	A**	A**
بندر لنگه	c	C	C	C	C	قزوین	C	C	C	C	C
بوشهر	C	A*	C	C	C	کاشان	C	C	C	C	C
بیرجند	C	C	C	C	C	کرمان	C	C	C	C	C
تبریز	B*	B*	B*	B*	B*	کرمانشاه	C	C	B*	C	C
تربت حیدریه	C	B**	C	C	C	گرگان	C	C	A*	C	C
تهران مهرآباد	C	C	C	C	C	مشهد	B**	B**	B**	B**	B**
جزیره کیش	C	C	C	C	C	نوشهر	C	C	C	C	C
خرم آباد	C	C	C	C	C	همدان فرودگاه	C	C	C	C	C
خوی	c	B*	C	C	C	همدان نوزه	C	C	C	C	C
دوشان تپه	B**	B*	B*	B*	B**	یزد	C	C	B*	C	C

A: روند مثبت B: روند منفی C: بدون روند
*و** سطوح احتمال ۹۵ درصد و ۹۹ درصد را نشان می‌دهد

جدول ۲- نتایج روند خطی سری‌های رطوبت ویژه (سالانه و فصلی)

طی دوره آماری ۱۹۷۶-۲۰۰۵ در سطوح احتمال ۹۵ و ۹۹ درصد

ایستگاه	سالانه	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	ایستگاه	سالانه	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
اراک	c	C	C	C	c	رامسر	A*	A*	C	C	C
اردبیل	C	C	C	C	C	رشت	C	C	C	C	C
ارومیه	C	C	C	C	C	زابل	C	C	C	C	C
اصفهان	C	C	C	C	C	زاهدان	B**	B**	B**	B**	B**
اهواز	B**	B*	B**	B*	B**	زنجان	C	C	C	C	C
ایرانشهر	C	C	C	C	C	سبزه وار	B**	B**	B**	B**	B**
آبادان	B*	C	C	C	C	سقز	C	C	C	C	C
آباده	B**	A*	C	C	C	سمنان	B*	B*	C	C	C
بابلسر	A*	C	C	C	C	سنندج	A*	A*	C	C	C
بجنورد	B**	C	C	C	C	شاهرود	C	C	C	C	C
بم	B**	B**	B**	B**	B**	شهرکرد	B**	B**	B**	B**	B**
بندر انزلی	A*	C	C	C	C	شیراز	A*	A*	A*	A*	A*
بندر عباس	C	C	C	C	C	فسا	C	C	B**	C	C
بندر لنگه	A**	A**	A**	A**	A**	کاشان	A**	A**	A**	A**	A**
بوشهر	C	C	C	C	C	کرمان	C	C	C	C	C
بیرجند	C	C	C	C	C	کرمانشاه	C	C	C	C	C
تبریز	C	C	C	C	C	گرگان	C	C	C	C	C
تربت حیدریه	C	B*	C	C	C	مشهد	A**	A**	C	C	C
تهران مهرآباد	A**	C	C	C	C	نوشهر	A*	A*	C	C	C
جزیره کیش	A*	C	C	C	C	همدان فرودگاه	B**	B*	C	C	C
خرم آباد	B*	C	C	C	C	همدان نوزه	C	C	B*	C	C
خوی	B*	C	C	C	C	یزد	C	B*	B**	C	C
دوشان تپه	B*	C	C	C	C						

A: روند مثبت B: روند منفی C: بدون روند
*و** سطوح احتمال ۹۵ درصد و ۹۹ درصد را نشان می‌دهد

جدول ۳- نتایج روند خطی سری‌های دمای نقطه شبنم (سالانه و فصلی)

طی دوره آماری ۱۹۷۶-۲۰۰۵ در سطوح احتمال ۹۵ و ۹۹ درصد

ایستگاه	سالانه	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	ایستگاه	سالانه	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
اراک	c	C	C	C	c	رامسر	A*	A*	C	C	C
اردبیل	c	C	C	C	C	رشت	C	C	C	C	C
ارومیه	C	C	C	C	C	زابل	C	C	C	C	C
اصفهان	C	C	C	C	C	زاهدان	B**	B**	B**	B**	B**
اهواز	B*	C	C	C	C	زنجان	C	C	C	C	C
ایرانشهر	B**	B**	B**	B**	B**	سبزه وار	B*	B**	B**	B**	B**
آبادان	C	C	C	C	C	سقز	C	C	C	C	C
آباده	B*	C	C	C	C	سمنان	C	C	C	C	C
بابلسر	A**	A*	C	C	C	سنندج	A**	A*	C	C	C
بجنورد	C	C	C	C	C	شاهرود	C	C	C	C	C
بم	B**	B**	B**	B**	B**	شهرکرد	B**	B**	B**	B**	B**
بندر انزلی	A**	A*	C	C	C	شیراز	A*	A*	C	C	C
بندر عباس	C	C	C	C	C	فسا	C	B*	B*	C	C
بندر لنگه	A**	C	C	C	C	قزوین	A*	A*	C	C	C

C	C	C	C	B*	کاشان	A**	A**	A*	C	A**	بوشهر
C	C	C	C	C	کرمان	c	C	C	C	C	بیرجند
C	C	C	C	C	کرمانشاه	A**	C	C	C	C	تبریز
A**	A*	A**	A**	A**	گرگان	c	C	B*	B*	C	تربت حیدریه
C	C	B*	C	C	مشهد	A**	A**	C	C	A**	تهران مهرآباد
c	C	C	C	C	نوشهر	A*	A*	C	C	A*	جزیره کیش
B**	C	B*	C	B*	همدان فرودگاه	B**	B*	C	C	B**	خرم آباد
C	C	C	C	C	همدان نوژه	c	C	A*	c	B*	خوی
B*	B*	B*	B*	B**	یزد	c	B*	B**	C	B*	دوشان تپه

A: روند مثبت B: روند منفی c: بدون روند
* و ** سطوح احتمال ۹۵ درصد و ۹۹ درصد را نشان می‌دهد

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه روند تغییرات متغیرهای رطوبت نسبی و ویژه و دمای نقطه شبنم با استفاده از روش حداقل مربعات در ۴۶ ایستگاه سینوپتیک بررسی شد. برای معنی‌داری روند از آزمون من-کندال استفاده شد. خلاصه نتایج به صورت زیر می‌باشد:

- ۱- میانگین رطوبت نسبی سالانه شمال و شمال غرب ایران بیش‌تر از سایر مناطق است.
- ۲- رطوبت نسبی فصل زمستان بیش‌تر از سایر فصول است.
- ۳- روند رطوبت نسبی سالانه در اغلب نقاط ایران غیر از کرانه دریای خزر و خلیج فارس و پاره‌ای از ایستگاه‌های غربی منفی است.
- ۴- روند رطوبت نسبی فصل بهار و زمستان در اکثر ایستگاه‌ها منفی است.
- ۵- میانگین رطوبت ویژه سالانه در کرانه‌های خلیج فارس و دریای عمان و همچنین دریای خزر بیش‌تر از سایر نقاط ایران و در جنوب بیش‌تر از شمال است.
- ۶- میانگین رطوبت ویژه فصل تابستان بیش‌تر از سایر فصول است.
- ۷- روند رطوبت ویژه سالانه تنها در ایستگاه‌های کرانه دریای خزر و خلیج فارس مثبت و در سایر ایستگاه‌ها منفی است.
- ۸- روند رطوبت ویژه فصل زمستان تنها در ایستگاه‌های شرق و جنوب شرق و پاره‌ای از ایستگاه‌های دامنه شرقی زاگرس منفی و در سایر ایستگاه‌ها مثبت است.
- ۹- روند رطوبت ویژه فصل بهار در اکثر ایستگاه‌ها کاهشی و تنها در چند ایستگاه کرانه خزر و خلیج فارس افزایشی است.
- ۱۰- الگوی روند رطوبت ویژه فصل پاییز شبیه به فصل بهار است.
- ۱۱- میانگین دمای نقطه شبنم در کرانه‌های خلیج فارس و دریای عمان و همچنین دریای خزر بیش‌تر از سایر نقاط ایران و در جنوب بیش‌تر از شمال است.
- ۱۲- روند سالانه دمای نقطه شبنم در بیش‌تر ایستگاه‌ها منفی است.

نتایج روند یابی به طور خلاصه به صورت زیر است:

جدول ۴- درصد شاخص‌های مورد بررسی در ایستگاه‌های دارای روند معنی‌دار نسبت به کل ایستگاه‌ها با استفاده از آزمون من - کندال

علامت روند	متغیر رطوبت نسبی ۹۵ درصد معنی‌دار		متغیر رطوبت ویژه ۹۵ درصد معنی‌دار		متغیر دمای نقطه شبنم ۹۵ درصد معنی‌دار	
	بهار	زمستان	بهار	زمستان	بهار	زمستان
کل	۲۳/۹	۲۳/۹	۲۳/۹	۲۳/۹	۲۳/۹	۲۳/۹
+	۱۷/۴	۸/۷	۶/۵	۱۵/۲	۱۹/۵	۱۹/۶
-	۳۰/۴	۱۵/۲	۳۰/۴	۲۱/۷	۱۹/۵	۲۸/۲

۱- رطوبت نسبی بیش‌ترین روند افزایشی رطوبت نسبی در فصل تابستان اتفاق افتاده است (۱۰/۸ درصد) و کم‌ترین روند تغییرات متغیر رطوبت نسبی در فصل پاییز حادث شده است (۲/۲ درصد). همچنین بیش‌ترین روند کاهشی متغیر رطوبت نسبی به ترتیب در سری سالانه و فصل زمستان (۳۰/۵ درصد و ۲۸/۲ درصد) و کم‌ترین روند تغییرات کاهشی در فصل تابستان بوده است (۱۳ درصد).

۲- رطوبت ویژه بیش‌ترین روند افزایشی متغیر رطوبت ویژه سالانه (۱۹/۶) و کم‌ترین روند افزایشی در فصل بهار اتفاق افتاده است (۲/۲). همچنین بیش‌ترین روند کاهشی به ترتیب در سری سالانه و فصل بهار (۲۸/۲ و ۲۶) و کم‌ترین روند کاهشی در فصل زمستان حادث شده است (۸/۷).

۳- دمای نقطه شبنم بیش‌ترین روند افزایشی دمای نقطه شبنم در فصل پاییز اتفاق افتاده است (۱۹/۵ درصد) و کم‌ترین روند تغییرات متغیر نقطه شبنم در فصل بهار حادث شده است (۶/۵ درصد). همچنین بیش‌ترین روند کاهشی متغیر دمای نقطه شبنم در سری سالانه و فصل بهار (۳۰/۴ درصد) و کم‌ترین روند تغییرات کاهشی در فصل زمستان بوده است (۱۵/۲ درصد).

با استناد به نتایج مطالعات پیشین (قائدی، ۱۳۸۴) کاهش روند تغییرات رطوبت نسبی و ویژه قابل توجه است. روند کاهشی رطوبت نسبی با نتایج (خردادی و همکارانش، ۱۳۸۶) و (Tonkaz, 2007) ترکیه مطابقت دارد. در این مطالعه میانگین رطوبت نسبی و ویژه سالانه در حاشیه دریای خزر و کرانه‌های خلیج فارس و دریای عمان قابل ملاحظه است که در جنوب بیش‌تر از شمال می‌باشد نتیجه به دست آمده از (Dai, 2006) در مورد رطوبت نسبی، تغییرات میان سالی و کوچک این متغیر است که بیش‌ترین مقدار آن در اقیانوس‌ها و زمین‌های عرض‌های بالا می‌باشد و بزرگ‌ترین مقدار رطوبت ویژه را در حاره به دست آورده است. نتیجه به دست آمده از رطوبت نسبی با نتیجه (Dai, 2006) در ایالات متحده امریکا مطابقت دارد. رطوبت نسبی یکی از عوامل اصلی ایجاد بارندگی می‌باشد و تغییر میزان آن بر مقدار بارش نیز تأثیرگذار خواهد بود که در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک ایران پدیده‌ای حائز اهمیت است. رطوبت نسبی تأثیر مستقیمی روی ضریب آسایش بشر، قدرت دید، تشکیل ابر، مه، دود مه، و بارش دارد رطوبت نسبی بالا مانع تعرق فتوسنتز، گل دادن، گرده افشانی و تشکیل میوه می‌شود. همچنین در کشاورزی رطوبت نسبی بالا هنگام رسیدن پر شدن دانه‌ها جلوگیری می‌کند. رطوبت ویژه رابطه مستقیم با دما دارد پس تغییرات آن در کشاورزی همچنین رطوبت ویژه برای محاسبه شار سطح (تبخیر) و در مدل‌های اقلیمی مورد استفاده قرار می‌گیرد. داده‌های رطوبت نسبی و ویژه و دمای نقطه شبنم مورد باز بینی قرار گیرد تا اطمینان حاصل شود. در محاسبات احتمالی، ناشی از تغییر شیوه اندازه‌گیری یا ادوات مورد استفاده نبوده است. در محاسبات شاخص تکمیلی سودمندی در آشکار سازی تغییر اقلیم می‌باشد.

منابع

- خردادی، م.، اسلامیان، س. و عابدی کوپایی، ج. ۱۳۸۶. بررسی روند پارامترهای هواشناسی در چند منطقه از ایران. کارگاه فنی اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب.
- رحیم زاده، ف. و خوشکام، م. ۱۳۸۲. تغییرات سری‌های رطوبت در ایستگاه‌های سینوپتیک کشور. سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، دانشگاه اصفهان.
- کتیرایی، پ. س.، حجام، س. و ایران نژاد پ. ۱۳۸۶. سهم تغییرات فراوانی و شدت بارش روزانه در روند بارش در ایران طی دوره ۱۹۶۰ الی ۲۰۰۱. مجله زمین و فضا، ۳۳(۱): ۶۷-۸۳.
- قائدی، س. ۱۳۸۶. بررسی روند رطوبت جو ایران در نیم سده گذشته. مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان، ۲۷ (۶): ۱۶۵-۱۷۳.
- قره خانی، ا. و قهرمان، ن. ۱۳۸۹. بررسی روند تغییرات فصلی و سالانه رطوبت نسبی و نقطه شبنم در چند نمونه اقلیمی در ایران. نشریه آب و خاک دانشگاه فردوسی مشهد، ۲۴ (۲۴): ۶۳۶-۶۴۶.
- Cubasch, U., & Coauthors, B. 2001. Projections of future climate Change, Climate Change 2001: The Scientific Basis. (Houghton T. *et al.*, Eds.), Cambridge University Press, UK.
- Dai, A. 2001a. Global precipitation and thunderstorm frequencies Part I: Seasonal and Interannual Variation. *J. Climate*, 14: 1092-1111.
- Dai, A. 2001b. Global precipitation and thunderstorm frequencies Part II: Diurnal Variations. *J. Climate*, 14: 1112-1128.
- Dai, A. 2006. Recent climatology, variability, and trends in global surface humidity. *J. American Meteorology Society*, 8: 3589-3606.
- Elliott, W. P. & Angell, J.K. 1997. Variations of cloudiness, perceivable water and relative humidity over the United States, 1973-1993. *Geophys. Res. Lett.*, 24: 41-44.
- Gaffen D. J. & Ross, R. J. 1999. Climatology and trends of U.S. surface humidity and temperature. *J. Climate*, 12: 811-828.
- Hansen, J., Lacis, A. Rind, D., Russell, G., Stone, P., Fung, I., Ruedy, R. & Lerner, J. 1984. Climate sensitivity analysis of feedback mechanisms. *Climate Processes and Climate Sensitivity*, *Geophys. Monogr.*, 29: 130-163.
- Hulme, M.Z., Zaho, C. & Jiang, T. 1994. Recent and future climate change in East Asia, *Int. J. Clim.*, 14: 637-658.
- Sneyers, R. 1990. On the statistical analysis series of observations. WMO Publ. NO.415, Geneva.
- Tonkaz, T., Cetin, M. & Tulucu, K. 2007. The impact of water resources development projects on water vapor pressure trends in a semi-arid region, Turkey. *Climatic Change*, 82: 195-209.
- Van Wijngaarden, W. A., & Vincent, L. A. 2005 Examination of discontinuities in hourly surface relative humidity in Canada during 1953-2003. *J. Geophys. Res.*, 110, D22102, doi: 10. 1029 / 2005 JD 005925.