2023, Vol.10, No.2, Pages 35 to 44
Journal of Water and Sustainable Development

سال دهم، شماره ۲، ۱۴۰۲، صفحات ۳۵ تا ۴۴
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Applied Article

نوع مقاله: پژوهش کاربردی

The Trend of Changes in Relative Humidity in Razavi Khorasan Province, Northeast Iran

Z. Shirmohammadi-Aliakbarkhani[1]*, S. F. Saberali[2], S. M. J. Mirzaei[1], M. N. Modoodi[2]

1- Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, High Educational Complex of Torbat-e Jam, Torbat-e Jam, Iran. 2- Assistant Professor, Department of Horticultural Science and Engineering, High Educational Complex of Torbat-e Jam, Torbat-e Jam, Iran.

*(Corresponding Author Email: shirmohammadi@tjamcaas.ac.ir)

Received: 27-02-2023 Revised: 01-05-2023
Accepted: 23-05-2023 Available Online: 21-09-2022

روند تغییرات رطوبت نسبی در استان خراسان رضوی، شمال شرق ایران

زهرا شیرمحمدی-علی‌اکبرخانی[۱*]، سید فرهاد صابرعلی[۲]، سید محمدجواد میرزایی[۱]، محمدناصر مودودی[۲]

۱- استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی تربت‌جام، تربت‌جام، ایران.
۲- استادیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، مجتمع آموزش عالی تربت‌جام، تربت‌جام، ایران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: shirmohammadi@tjamcaas.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۲/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۲ تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۳۰

Abstract

The present study was conducted to examine the changes in monthly, seasonal, and annual trends in relative humidity of 13 meteorological stations in the Razavi-Khorasan Province from the beginning of the statistical period of each station until 2021. The study area includes Dargaz, Fariman, Golmakan, Gonabad, Kashmar, Khaf, Neyshabour, Mashhad, Quchan, Sarakhs, Sabzevar, Torbat-e Jam, and Torbat-e Heydarieh counties. Parametric linear regression and the nonparametric Mann-Kendall (MK) test were used to detect trends in relative humidity. The majority of stations have shown decreasing trends at 5% significance level in relative humidity in different time scales, and only in two stations, Quchan (June, December, and autumn season) and Sarakhs (autumn season), the relative humidity showed an increasing trend at 5% significance level. A decrease in monthly mean relative humidity for six stations has been found in the range of 0.7 to 3.5 percent/decade, while an increase for Quchan station 1.9 to 2.6 percent/decade was observed. In addition, most of the studied stations have experienced a decrease in relative humidity on a seasonal and annual scale. A decrease in Seasonal mean relative humidity for six stations has been found in the range of 0.6 to 2 percent/decade, while decreases in annual mean relative humidity stations ranged from 0.9 to 1.6 percent/decade. The results of this research indicate a decreasing trend in the average monthly, annual and seasonal relative humidity during recent years.

Keywords: Climate Change, Relative Humidity, Mann-Kendall Method, Time Series.

چکیده

مطالعه حاضر به‌منظور بررسی تغییرات رطوبت نسبی ۱۳ ایستگاه هواشناسی در استان خراسان رضوی در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه از ابتدای دوره آماری هر ایستگاه تا سال ۱۴۰۰ انجام شد. منطقه مورد مطالعه شامل ایستگاه‌های درگز، فریمان، گلمکان، گناباد، کاشمر، خواف، نیشابور، مشهد، قوچان، سرخس، سبزوار، تربت‌جام و تربت‌حیدریه بود. برای تعیین روند رطوبت نسبی از رگرسیون خطی و آزمون ناپارامتریک من-کندال (MK) استفاده شد. رطوبت نسبی در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه و در مقیاس‌های زمانی مختلف، به جز در دو ایستگاه قوچان (در ماه‌های خرداد، آذر و در فصل پاییز) و سرخس (فصل پاییز)، روند کاهشی در سطح اطمینان ۵ درصد داشت. درصد کاهش میانگین رطوبت نسبی ماهانه برای شش ایستگاه در محدوده ۳/۵-۰/۷ درصد در هر ۱۰ سال مشاهده شد، درحالی‌که درصد افزایش میانگین رطوبت نسبی ماهانه برای ایستگاه قوچان در محدوده ۱/۹-۲/۶ درصد در هر ۱۰ سال مشاهده شده است. علاوه بر این، بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه در مقیاس فصلی و سالانه نیز کاهش رطوبت نسبی را تجربه کرده‌اند. کاهش میانگین رطوبت نسبی فصلی برای شش ایستگاه در محدوده ۲-۰/۶ درصد در هر ۱۰ سال مشاهده شد، درحالی‌که کاهش میانگین سالانه رطوبت نسبی در ایستگاه‌ها در محدوده ۱/۶-۰/۹ درصد در هر ۱۰ سال مشاهده شده است. نتایج این تحقیق حاکی از روند کاهشی در میانگین رطوبت نسبی ماهانه، سالانه و فصلی طی سال‌های اخیر است.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، رطوبت نسبی، روش من-کندال، سری زمانی.

How to cite this article: Shirmohammadi-Aliakbarkhani, Z. Saberali, S. F., Mirzaei, S. M. J., & Modoodi, M. N. (2023). The Trend of Changes in Relative Humidity in Razavi Khorasan Province, Northeast Iran. Journal of Water and Sustainable Development, 10(2): 35-44. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v10i2.2302-1220

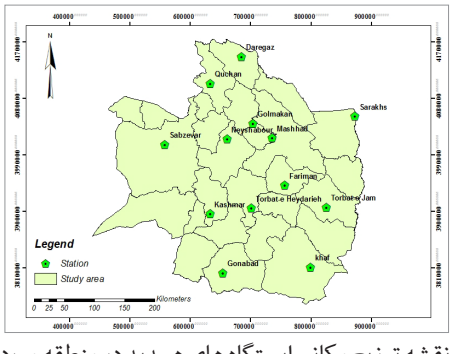
مقدمه

یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های علمی چند دهه اخیر، تغییر اقلیم است که توجه محققان، دانشمندان، برنامه‌ریزان و سیاستمداران را به خود جلب کرده است. مطالعات تغییرات اقلیمی در دو یا سه دهه گذشته تا حدی به دلیل افزایش مداوم گرمایش جهانی مرتبط با اثر گلخانه‌ای افزایش یافته است (Valdez-Cepeda و همکاران، ۲۰۱۱). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر کلیه فعالیت‌های بشری در محافل علمی به دلیل سرعت تغییر اقلیم، حساسیت خاصی پیدا کرده است. در عصر حاضر تغییر اقلیم به‌عنوان مهم‌ترین تهدید برای توسعه پایدار، کشاورزی و امنیت غذایی مطرح است (Mansouri-Daneshvar و همکاران، ۲۰۱۹). واقعیت تغییر اقلیم در میان کشورهای خاورمیانه و به‌ویژه ایران شدید است. در میان کشورهای خاورمیانه، ایران در دهه‌های آینده با افزایش ۲/۶ درجه سانتی‌گراد میانگین دما و کاهش ۳۵ درصدی بارندگی مواجه خواهد شد. برعکس، ایران با مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG) نزدیک به ۶۱۶۷۴۱ میلیون تن CO_2 اولین کشور مسئول تغییرات اقلیمی در خاورمیانه و هفتمین کشور در جهان است (IPCC، ۲۰۱۴). برای ارزیابی تغییرات اقلیمی، اخیراً بررسی روند رطوبت نسبی در دنیا مورد توجه قرار گرفته است. رطوبت نقش مهمی در زندگی روزمره دارد. رطوبت بر آسایش انسان تأثیر می‌گذارد و دمای درک شده توسط انسان تا حد زیادی به میزان رطوبت اتمسفر بستگی دارد. رطوبت، چه نسبی و چه مطلق، نقش مهمی در مطالعات تأثیرات آب‌وهوا ایفا می‌کند و به‌طور بالقوه ابزار بسیار روشنگری برای تحقیقات آب و هوایی است. در زمینه تولید محصول، رطوبت نسبی (RH) به طور مستقیم بر روابط آبی گیاه و به‌طور غیرمستقیم بر رشد برگ، فتوسنتز، گرده‌افشانی، بروز بیماری‌ها و عملکرد اقتصادی تأثیر می‌گذارد (Farooq و Kumar، ۲۰۲۱). در سالهای اخیر رطوبت نسبی در اثر تغییرات آب و هوایی روند افزایش یا کاهشی داشته است. روند افزایش یا کاهش رطوبت نسبی در دوره های اخیر به دلیل اثر تغییرات آب و هوایی است. Gaffen و Ross (۱۹۹۹) روند رطوبت نسبی و دمای نقطه شبنم را در ایالات‌متحده آمریکا برای دوره ۱۹۵۱-۱۹۹۰ مطالعه نمودند که نتایج نشان داد در بسیاری از مکان‌ها به ویژه در فصل زمستان و بهار رطوبت نسبی روند افزایشی داشته است. Wijngaarden و Vincent (۲۰۰۴) کاهش قابل‌توجهی را در رطوبت نسبیِ سراسر کانادا طی دوره ۱۹۵۳-۲۰۰۳ مشاهده کردند. Farooq و Kumar (۲۰۲۱) روند رطوبت نسبی ماهانه، سالانه و فصلی را در سه منطقه سرینگار (کشمیر) برای دوره ۲۶ ساله (۱۹۹۵-۲۰۱۹)، رانیچائوری[1] برای دوره ۲۸ ساله (۱۹۸۵-۲۰۱۲) و له[2] برای دوره ۱۵ ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۴) بررسی نمودند. براساس نتایج آنها در منطقه سرینگار[3] روند خاصی در تغییرات رطوبت نسبی مشاهده نمی‌شود. در منطقه رانیچائوری در هر سه دوره رطوبت نسبی روند افزایشی داشته و در منطقه له در هر سه دوره زمانی رطوبت نسبی روند کاهشی داشته است. Singh و همکاران (۲۰۰۸) روند تغییرات بارش و رطوبت نسبی را در حوزه رودخانه‌های شمال شرق و مرکز هند مطالعه نمودند. نتایج آنها نشان داد که در اکثر حوزه‌های مورد مطالعه رطوبت نسبی در مقیاس زمانی فصلی و سالانه روند افزایشی داشته است. Khan و همکاران (۲۰۲۲) روند تغییرات رطوبت نسبی فصلی را در ۴۹ ایستگاه در هند مطالعه نموده که نتایج نشان داد نرخ افزایش رطوبت نسبی در شمال غربی هند ۵,۴ درصد است و پس از این منطقه، بیشترین نرخ افزایش را به ترتیب سواحل غربی، بخش مرکزی و جنوب هند دارند. رطوبت نسبی در هند به دلیل باران‌های موسمی روند افزایشی دارد. Sein و همکاران (۲۰۲۱) به‌منظور بررسی تغییرات سالانه و فصلی دمای هوا، رطوبت نسبی و همچنین دمای نقطه شبنم مطالعه‌ای در ۴۷ ایستگاه واقع در اطراف میانمار از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹ انجام دادند. نتایج نشان داد رطوبت نسبی افزایش قابل‌توجهی در منطقه شمالی و کاهش در منطقه خشک مرکزی داشته است. در این مطالعه دمای نقطه شبنم و رطوبت نسبی رابطه خطی نسبتاً قابل قبولی از خود نشان دادند. Sachindra و Nowosad (۲۰۲۲) تغییرات رطوبت نسبیِ ۴۴ ایستگاه لهستان را در دوره ۱۹۹۵-۲۰۲۰ بررسی نمودند. نتایج نشان‌دهنده یک روند کاهشی در منطقه مورد مطالعه در میانگین رطوبت نسبی در دوره فوق بود. این روند در ایستگاه‌های مرکزی و شمال غربی لهستان بیشتر مشهود بود. CséplO و همکاران (۲۰۲۲) مطالعه‌ای به‌منظور بررسی و تحلیل تغییرات طولانی مدت (۱۹۶۱-۲۰۲۰) رطوبت نسبی و دما در مجارستان انجام دادند. نتایج نشان‌دهنده افزایش قابل‌توجه دما و کاهش قابل‌توجه رطوبت نسبی تنها در بهار و تابستان بود. تغییر فصلی نشان داد که تغییر دما مستقیماً بر تغییر رطوبت نسبی در تابستان تأثیر می‌گذارد و افزایش تبخیر ناشی از افزایش دما ممکن است تأثیر گرم شدن را کاهش دهد. Katiraei و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی روند تغییرات رطوبت نسبی و ویژه را در مقیاس سالانه و فصلی در ایستگاه‌های سینوپتیک ایران طی سال‌های ۱۹۷۶-۲۰۰۵ بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان‌دهنده روند کاهش رطوبت نسبی در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه بود. Kousari و Asadi Zarch (۲۰۱۱) مطالعه‌ای به‌منظور بررسی روند بارش و رطوبت نسبی در برخی از مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران انجام دادند. نتایج آنان نشان داد که رطوبت نسبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک روند کاهشی دارد. برای شرایط نامناسب ایجاد شده در سال‌های اخیر نیاز به بررسی تغییرات اقلیمی و روند متغیرهای اقلیمی در ایران به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک آن وجود دارد. مطالعه حاضر به‌منظور تجزیه‌وتحلیل روند رطوبت در ۱۳ ایستگاه استان خراسان رضوی انجام شد.

مواد و روش‌ها

• منطقه مورد مطالعه

استان خراسان رضوی در شمالی شرقی ایران و در طول جغرافیایی ۶۳°-۵۶° شرقی و در عرض جغرافیایی ۳۸°-۳۳° شمالی با مساحت ۱۱۷۲۰۰ کیلومترمربع گسترش یافته است. متوسط سالانه بارندگی در این استان ۲۵۰ میلی‌متر گزارش شده است. این پژوهش با استفاده از داده‌های رطوبت نسبی در ۱۳ ایستگاه سینوپتیک این استان در طول دوره آماری مختلف انجام شده است. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل (۱) آورده شده است. در میان ایستگاه‌ها مشهد با ۷۱ سال آمار، بالاترین دوره آماری و درگز با ۱۴ سال آمار، کمترین دوره آماری را داشتند. اطلاعات جغرافیایی و طول دوره آماری ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول (۱) آورده شده است. آنالیز روند در سه مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و سالانه برای مناطق موردنظر انجام گرفت.



شکل ۱- نقشه توزیع مکانی ایستگاه‌های همدید در منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و تعداد سال‌های آماری مورد استفاده در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	سال‌های آماری
تربت‌جام	۶۰° ۳۵′	۳۵° ۱۶′	۹۵۰/۴	۱۳۷۲-۱۴۰۰
تربت‌حیدریه	۵۹° ۱۳′	۳۵° ۲۰′	۱۴۵۱	۱۳۳۸-۱۴۰۰
خواف	۶۰° ۹′	۳۴° ۳۵′	۹۹۸	۱۳۸۵-۱۴۰۰
درگز	۵۹° ۴′	۳۷° ۲۸′	۵۱۴	۱۳۸۷-۱۴۰۰
سبزوار	۵۷° ۳۹′	۳۶° ۱۲′	۹۶۲	۱۳۳۴-۱۴۰۰
سرخس	۶۱° ۱۰′	۳۶° ۳۲′	۲۳۵	۱۳۶۳-۱۴۰۰
فریمان	۵۹° ۵۰′	۳۵° ۳۵′	۱۴۶۰	۱۳۸۵-۱۴۰۰
قوچان	۵۸° ۳۰′	۳۷° ۴′	۱۲۷۸	۱۳۶۳-۱۴۰۰
کاشمر	۵۸° ۲۸′	۳۵° ۱۶′	۱۱۱۰	۱۳۶۶-۱۴۰۰
گلمکان	۵۹° ۱۷′	۳۶° ۲۹′	۱۱۷۶	۱۳۶۶-۱۴۰۰
گناباد	۵۸° ۴۱′	۳۴° ۲۱′	۱۰۵۶	۱۳۶۷-۱۴۰۰
مشهد	۵۹° ۳۸′	۳۶° ۱۴′	۹۹۹/۲	۱۳۳۰-۱۴۰۰
نیشابور	۵۸° ۴۸′	۳۶° ۱۶′	۱۲۱۳	۱۳۷۱-۱۴۰۰

• روش‌شناسی

مطالعه حاضر بر روی تشخیص روند در رطوبت نسبی برای استان خراسان رضوی صورت گرفت. در مطالعه حاضر از آزمون ناپارامتریک، معروف به آزمون من-کندال (MK)[۴] برای تشخیص روند رطوبت نسبی استفاده شد. اگرچه آزمون‌های روند پارامتریک قوی‌تر هستند، اما این روش‌ها نیاز به داده‌های با توزیع نرمال دارند. روش من-کندال روشی ناپارامتری است که تحت تأثیر توزیع واقعی داده‌ها نبوده و به شکست‌های ناگهانی به دلیل سری‌های زمانی ناهمگن، حساسیت زیادی ندارد. همچنین به مقادیر داده‌های پرت حساس نیست. به همین دلایل به‌طور گسترده مورداستفاده قرار می‌گیرد. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب‌تر بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره نمود. با توجه به این آزمون، فرضیه صفر (H0) فرض می‌کند که هیچ روندی وجود ندارد (داده‌ها مستقل و به‌صورت تصادفی مرتب‌شده‌اند) و این در برابر فرضیه جایگزین H1 که فرض می‌کند روند وجود دارد، آزمایش می‌شود (Farooq و Kumar، ۲۰۲۱). قبل از انجام آزمون من-کندال ابتدا در مناطقی که داده‌های از دست رفته رطوبت نسبی وجود داشت با استفاده از روش رگرسیون خطی و مشابه با روش مورد استفاده به وسیله Afrifa-Yamoah و همکاران (۲۰۲۰) داده‌ها بازسازی و اصلاح گردیدند.

- آزمون پیش سفیدکردن[۵]:

آزمون من-کندال که برای تشخیص روند در یک سری زمانی استفاده می‌شود، زمانی که روی یک سری خود همبسته بدون روند اعمال شود، نتایج نادرستی از روند را نشان می‌دهد. پیش سفید کردن، این وضعیت را اصلاح می‌کند. به همین منظور آزمون پیش سفید برای حذف وجود هرگونه خودهمبستگی موجود در سری‌های زمانی در داده‌ها انجام شد، زیرا آزمون من-کندال فرض می‌کند که سری‌های زمانی خودهمبستگی ندارند. اما این آزمون در صورت وجود روند، قدرت آزمایش را کاهش می‌دهد. تحقیقات نشان داده است که به‌طورکلی، زمانی که آزمون دارای قدرت بالایی (ضریب تغییرات بسیار پایین، شیب روند زیاد و اندازه نمونه بزرگ) است، باید از پیش سفیدی اجتناب شود. در موارد دیگر، پیش سفید کردن از تشخیص کاذب یک‌روند غیر موجود، بدون افت قدرت قابل‌توجه در شناسایی روندی که وجود دارد، جلوگیری می‌کند؛ البته در استفاده از این آزمون باید احتیاط لازم را انجام داد (Bayazit و Önöz، ۲۰۰۷؛ Razavi و Vogel، ۲۰۱۸). بنابراین پس از بررسی‌های لازم، ابتدا داده های رطوبت نسبی با استفاده از آزمایش پیش سفید، قبل از اعمال آزمون من-کندال پردازش شدند. این آزمون مطابق با روش انجام شده در پژوهش Sharma و همکاران (۲۰۱۵) و برنامه‌نویسی در نرم‌افزار MS-Exell 2019 انجام شد. پس از انجام این عملیات، آزمون من-کندال بر روی داده‌های جدید انجام گرفت.

آزمون من-کندال:

آزمون من-کندال با محاسبه اختلاف بین تک‌تک مشاهدات با یکدیگر و استخراج آماره S به شکل رابطه (۱) تعریف می‌شود. بدین ترتیب که مقادیر داده‌ها به‌عنوان سری‌های زمانی مرتب‌شده ارزیابی می‌شوند. هر یک مقدار داده با تمام مقادیر داده‌های بعدی مقایسه می‌شود. مقدار اولیه آماره S در روش من-کندال برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. اگر مقدار داده مربوط به دوره زمانی بعدی، بالاتر از مقدار داده مربوط به دوره زمانی قبلی باشد، مقدار آماره S به میزان ۱، افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، اگر مقدار داده از دوره زمانی بعدی کمتر از مقدار داده مربوط به دوره زمانی قبلی باشد، مقدار آماره S به مقدار ۱، کاهش می‌یابد. درنتیجه خالص افزایش‌ها و کاهش‌ها، مقدار نهایی S به دست می‌آید.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} sgn(x_j - x_i) \quad (۱)$$

در این رابطه n، برابر با تعداد مشاهدات سری، xi و xj به ترتیب داده‌های iام و jام سری و تابع علامت از رابطه (۲) محاسبه می‌سود.

$$sgn(\theta) = \begin{cases} +1 & if\ \theta > 0 \\ 0 & if\ \theta = 0 \\ -1 & if\ \theta < 0 \end{cases} \quad (۲)$$

با این فرض که داده‌ها مستقل و دارای توزیع یکسان هستند، Kendall (۱۹۷۵) میانگین و واریانس آماره S را با رابطه‌های (۳) و (۴) ارائه نمود. در این روابط n تعداد داده‌های مشاهداتی، m معرف تعداد سری‌هایی که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد، t نیز مقدار فراوانی داده‌هایی با ارزش یکسان می‌باشد. مقدار نمره استانداردشده Z نیز از رابطه (۵) محاسبه می‌گردد.

$$E(S)=0 \quad (۳)$$

$$V_s = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=0}^{m} t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (۴)$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{V_s}} & if\ S > 0 \\ 0 & if\ S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{V_s}} & if\ S < 0 \end{cases} \quad (۵)$$

در یک آزمون دو دامنه جهت روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر درصورتی‌که رابطه (۶) برقرار باشد، پذیرفته می‌شود.

$$|Z| \leq Z_{\alpha/2} \quad (۶)$$

در این رابطه α سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته‌شده و $Z\alpha$ آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری α می‌باشد (Farooq و Kumar، ۲۰۲۱). فرضیه صفر در سطح اطمینان ۹۵٪ و ۹۰٪ برای رطوبت نسبی در هر ۱۳ ایستگاه در استان خراسان رضوی بررسی شد. همچنین مقدار روند در رطوبت نسبی از طریق آزمون رگرسیون خطی پارامتریک (یک روش پارامتری رایج) به دست آمد. رابطه خطی بین دو متغیر با یک خط مستقیم نشان داده می‌شود که x نشان‌دهنده متغیر زمان و m شیب‌خط رگرسیون و c عرض از مبدأ است. شیب به‌دست‌آمده پس از رسم نمودار رطوبت نسبی و زمان، نشان‌دهندهٔ روند داده‌ها (مثبت یا منفی) می‌باشد. برای انجام آزمون آماری من-کندال از افزونه XLSTAT ۲۰۱۴ در نرم‌افزار Exell استفاده شد. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Sigmaplot ترسیم گردید.

• مقایسه تبخیر-تعرق سالانه و رطوبت نسبی سالانه

سرعت تبخیر آب از هر سطحی، چه از سطح دریاچه یا از طریق روزنه‌های روی برگ گیاه، تحت تأثیر شرایط آب و هوایی است که شامل تابش خورشید، دما، رطوبت نسبی و باد (و سایر عوامل هواشناسی) می‌باشد. سرعت تبخیر در دماهای بالاتر بیشتر است. در هوای آفتابی و گرم از دست دادن آب در اثر تبخیر بیشتر از هوای ابری و خنک است. رطوبت یا میزان بخارآب هوا نیز بر تبخیر اثر دارد. هر چه رطوبت نسبی کمتر باشد، هوا خشک تر و میزان تبخیر بیشتر می‌شود. هر چه هوا مرطوب‌تر باشد، هوا به اشباع نزدیک‌تر است و تبخیر کمتری ممکن است رخ دهد (Farhat، ۲۰۱۸). به‌منظور ارزیابی تغییرات رطوبت نسبی و تبخیر-تعرق فائو پنمن مانتیث از نتایج تحقیقات Shirmohammadi-Aliakbarkhani و Saberali (۲۰۲۰) استفاده شد و روند تغییرات رطوبت نسبی و تبخیر-تعرق در مقیاس سالانه، بررسی شد.

نتایج و بحث

به منظور بررسی روند در داده‌های رطوبت نسبی در مقیاس ماهانه، سالانه و فصلی به کمک پکیج Timeseries analysis در افزونه ۲۰۱۴ XLSTAT در نرم‌افزار Exell، آزمون ناپارامتری من-کندال انجام گردید. مقادیر آماره Z در آزمون من-کندال در مقیاس ماهانه در ایستگاه‌های استان خراسان رضوی در جدول (۲) آورده شده است. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌گردد، رطوبت نسبی در اکثر ماه‌ها در بیشتر مناطق مورد مطالعه، از روند معنی‌داری خاصی پیروی نمی‌کند، به‌طوری‌که در ایستگاه‌های خواف، درگز، فریمان، کاشمر، سرخس و نیشابور در هیچ‌یک از ماه‌های سال روندی در تغییرات رطوبت نسبی مشاهده نگردید که دلیل عدم روند در برخی ایستگاه‌ها مانند خواف، درگز و فریمان را می‌توان به کوتاه بودن طول دوره آماری نسبت داد. در ایستگاه تربت‌جام در تیرماه، در تربت‌حیدریه در ماه‌های مرداد، شهریور، مهر و بهمن، در سبزوار در تیر، مرداد، دی و بهمن، در گلمکان در تیرماه و مرداد ماه، در گناباد در ماه‌های خرداد، تیر و دی، در ایستگاه مشهد در اکثر ماه‌های سال به‌جز در ماه‌های شهریور، مهر و آذر، رطوبت نسبی روند کاهشی نشان داد، اما در ایستگاه قوچان در ماه‌های خرداد و آذر روند رطوبت نسبی افزایشی بوده است.

مقادیر آماره Z در آزمون من-کندال مقیاس فصلی و سالانه در ایستگاه‌های استان خراسان رضوی در جدول (۳) آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد، رطوبت نسبی در اکثر ماه‌ها در بیشتر مناطق مورد مطالعه از روند معنی‌داری خاصی پیروی نمی‌کند، به‌طوری‌که در ایستگاه‌های خواف، درگز، فریمان، کاشمر، گناباد و نیشابور در هیچ یک از فصول سال روندی در تغییرات رطوبت‌نسبی مشاهده نشد.

جدول ۲- مقادیر آماره Z محاسبه‌شده از طریق آزمون من-کندال در مقیاس ماهانه در استان خراسان رضوی

ایستگاه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
تربت‌جام	۰/۷۷	۰/۱۳	-۱/۷۶	-۲/۰۴*	-۱/۸۶	-۱/۵۲	-۱/۳۷	۰/۵۴	۰/۸۱	-۰/۸۹	-۰/۴۳	-۰/۲۸
تربت‌حیدریه	-۱/۳۲	-۱/۰۲	-۱/۸۹	-۱/۹۶	-۲/۰۸*	-۲/۱۰*	-۲/۱۸*	-۰/۴۰	۰/۳۱	-۱/۷۳	-۲/۶۲*	-۰/۹۵
خواف	۱/۰۹	۰/۵۹	-۰/۴۹	-۱/۲۹	۰/۸۹	۰/۵۹	۰/۰۰	-۰/۲۰	-۰/۱۰	-۰/۵۰	-۱/۰۹	۰/۰۰
درگز	۱/۵۳	۰/۱۱	-۰/۱۱	-۰/۰۰	۰/۹۹	۰/۵۵	-۰/۹۹	۰/۱۱	۰/۳۰	-۱/۱۹	-۰/۵۵	۰/۳۳
سبزوار	-۱/۰۶	-۰/۶۶	-۱/۸۸	-۲/۴۷*	-۲/۲۰*	-۱/۴۴	-۱/۲۸	۰/۶۶	۰/۶۶	-۲/۱۱*	-۲/۴۲*	-۰/۳۶
سرخس	۱/۱۳	۰/۵۵	-۰/۰۸	-۱/۹۱	-۰/۹۷	۱/۰۶	۱/۴۳	۱/۷۳	۱/۴۶	-۰/۴۳	-۰/۸۸	-۰/۵۹
فریمان	۱/۲۰	۱/۰۹	-۰/۸۹	-۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۴۰	۱/۲۲	۰/۱۴	-۱/۳۱	-۱/۵۸	-۰/۹۹	۰/۹۹
قوچان	۱/۷۹	۱/۵۳	۲/۰۵*	۱/۱۵	-۰/۲۰	۰/۸۸	۰/۲۸	۱/۴۳	۲/۶۸*	-۰/۵۰	۰/۴۸	۰/۷۵
کاشمر	-۰/۰۶	-۰/۴۵	-۱/۷۳	-۱/۳۶	-۱/۷۳	-۰/۶۱	-۱/۷۰	۱/۴۶	۱/۱۶	-۱/۲۴	-۰/۵۷	-۰/۳۱
گلمکان	-۰/۲۸	۰/۵۸	-۱/۱۳	-۲/۲۶*	-۲/۱۱*	-۱/۵۶	-۰/۲	۰/۵۱	۱/۹۲	-۱/۳۹	-۱/۵۶	-۰/۵۷
گناباد	۰/۶۲	-۰/۳۶	-۲/۳۱*	-۲/۱۱*	-۱/۶۹	-۰/۸۹	-۱/۱۶	۱/۶۰	۰/۵۶	-۲/۱۰*	-۱/۳۶	-۰/۵۶
مشهد	-۲/۸۴*	-۲/۴۵*	-۲/۶۵*	-۲/۶۰*	-۲/۰۲*	-۱/۹۲	-۱/۴۹	-۲/۳۱*	-۱/۱۱	-۲/۵۴*	-۴/۴۶*	-۳/۶۴*
نیشابور	۱/۳۲	-۰/۳۹	-۰/۱۸	-۱/۰۲	-۰/۶۸	۰/۳۱	-۱/۰۹	۱/۳۹	-۰/۳۴	-۱/۵۰	-۱/۴۳	-۰/۳۹

* مقادیر آماره آزمون من-کندال (Z) بیش از ۱/۹۶- است که نشان‌دهندهٔ معنی‌داری روند تغییرات رطوبت نسبی در سطح ۹۵ درصد است

جدول ۳- مقادیر آماره Z محاسبه‌شده از طریق آزمون من-کندال در مقیاس فصلی و سالانه در استان خراسان رضوی

ایستگاه	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سالانه
تربت‌جام	-۰/۵۸	-۲/۹۱*	۰/۲۸	-۰/۹۶	-۰/۲۶
تربت‌حیدریه	-۱/۷۰	-۲/۰۶*	-۱/۰۷	-۲/۹۷*	-۲/۷۸*
خواف	۰/۵۹	۰/۴۹	۰/۰۰	-۰/۶۶	۰/۴۳
درگز	۰/۶۶	۰/۱۱	۰/۰۰	-۰/۹۹	۱/۵۳
سبزوار	-۱/۵۲	-۲/۲۶*	۰/۴۲	-۲/۴۴*	-۱/۸۶
سرخس	۰/۸۳	-۰/۷۰	۲/۰۴*	-۰/۵۴	۱/۳۷
فریمان	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۵	-۱/۲۰	۰/۲۱
قوچان	۱/۲۳	۰/۶۹	۲/۱۶*	-۰/۰۸	۰/۷۵
کاشمر	-۰/۹۴	-۱/۳۳	۰/۸۹	-۰/۵۷	-۰/۷۱
گلمکان	۰/۰۳	-۲/۳۳*	۰/۲۶	-۱/۶۵	-۰/۸۶
گناباد	-۰/۸۰	-۱/۶۹	۰/۷۱	-۱/۵۱	-۰/۶۰
مشهد	-۲/۸۵*	-۲/۲۶*	-۱/۹۱	-۳/۵۵*	-۲/۰۶*
نیشابور	-۰/۰۴	-۱/۲۸	۰/۳۴	-۱/۱۴	-۰/۲۸

* مقادیر آماره آزمون من-کندال (Z) بیش از ۱/۹۶- است که نشان‌دهندهٔ معنی‌داری روند تغییرات رطوبت نسبی در سطح ۹۵ درصد است

تغییرات رطوبت نسبی در فصل بهار تنها در ایستگاه مشهد روند کاهشی از خود نشان داد و در فصل تابستان رطوبت نسبی از یک روند کاهشی در مشهد، تربت‌جام، تربت‌حیدریه، گلمکان و سبزوار برخوردار بود. در فصل پاییز رطوبت نسبی دارای روند افزایشی در سرخس و قوچان بود. در فصل زمستان رطوبت نسبی روند کاهشی در ایستگاه‌های مشهد، سبزوار و تربت‌حیدریه نشان داد.

در ایستگاه‌های مشهد و تربت‌حیدریه روند کاهشی در رطوبت نسبی سالیانه مشاهده گردید. Kousari و Asadi Zarch (۲۰۱۱) در بررسی روند سالیانه رطوبت نسبی در ایستگاه مشهد، روند کاهشی و در ایستگاه‌های تربت‌حیدریه و سبزوار روندی در متوسط رطوبت نسبی سالیانه مشاهده ننمودند. نتایج تحقیقات آن‌ها با نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق در ایستگاه مشهد و سبزوار مشابه بود، اما در ایستگاه تربت‌حیدریه نتایج متفاوت می‌باشد که دلیل اصلی آن را می‌توان به طول دوره آماری متفاوت در این تحقیق و تحقیقات آن‌ها مربوط دانست.

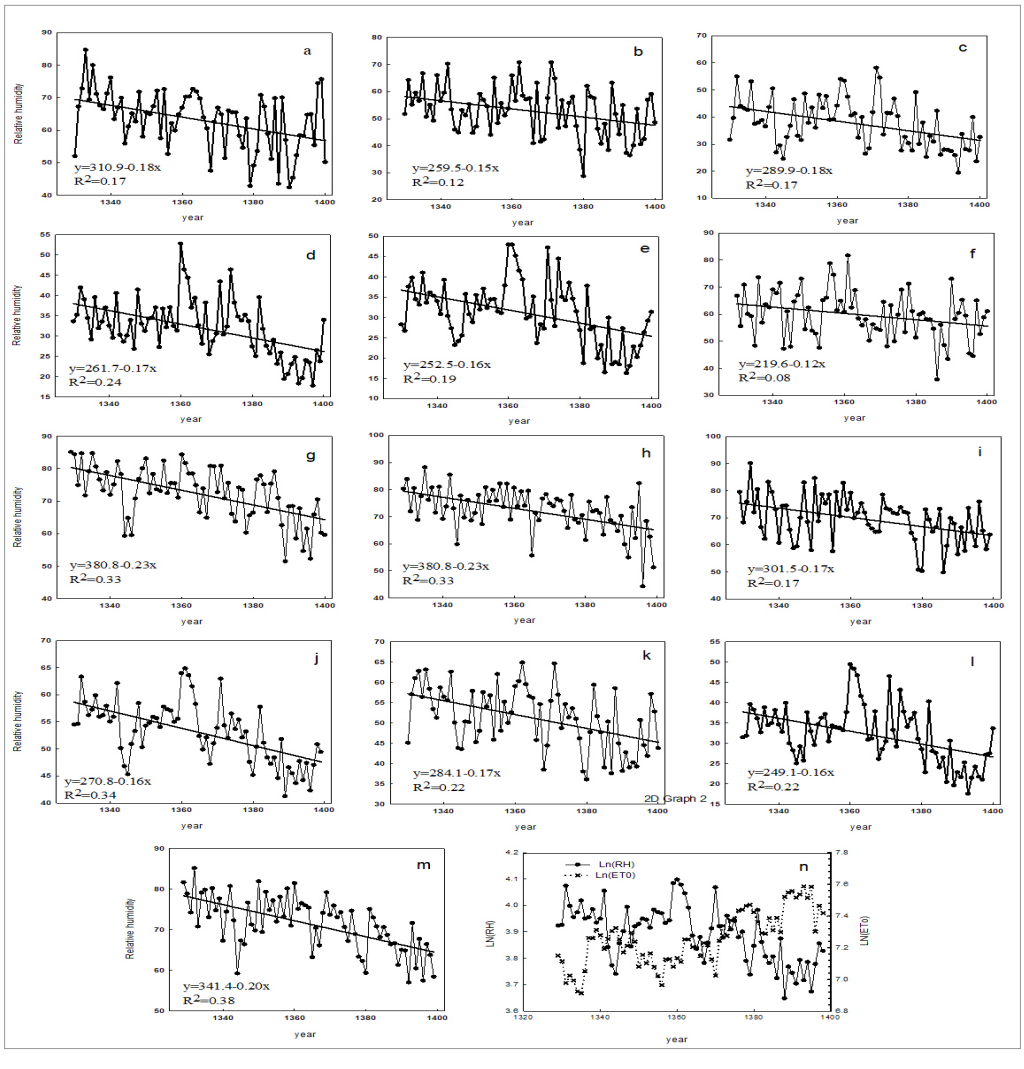
Katiraei و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی روند سالانه و فصلی در ایستگاه‌های مشهد، سبزوار و تربت‌حیدریه در دوره زمانی (۲۰۰۵-۱۹۷۶) نشان دادند که رطوبت نسبی در مقیاس سالانه و فصلی در ایستگاه مشهد دارای روند معنی‌دار کاهشی می‌باشد. رطوبت نسبی در ایستگاه سبزوار در تمام مقیاس‌های موردمطالعه و در ایستگاه تربت‌حیدریه در مقیاس سالانه و در فصول بهار و پاییز روند معنی‌داری نشان نداد. اما در ایستگاه تربت‌حیدریه در فصل زمستان روند کاهشی و در تابستان روند افزایشی نشان داد. نتایج تحقیقات آن‌ها با نتایج روند رطوبت نسبی فصلی و سالانه به‌جز در فصل پاییز در ایستگاه مشهد، با نتایج این پژوهش مشابه بود. روند رطوبت نسبی فصلی و سالانه در ایستگاه سبزوار به‌جز در فصل‌های تابستان و زمستان و در ایستگاه تربت‌حیدریه به‌جز در فصل‌های پاییز و تابستان، با نتایج این پژوهش مشابه بود که دلیل اصلی آن را می‌توان به طول دوره آماری متفاوت در این تحقیق و تحقیقات آن‌ها، مربوط دانست.

در ادامه به منظور بررسی دقیق‌تر روند تغییرات رطوبت نسبی

در مقیاس ماهانه، سالانه و فصلی در ایستگاه‌هایی که سری زمانی رطوبت‌نسبی در آنها معنی‌دار گردیده، هر کدام از ایستگاه‌ها بطور جداگانه موردبحث قرارگرفته است. لازم به ذکر است که تنها در مقیاس‌های زمانی که سری زمانی رطوبت نسبی در ایستگاه معنی‌دار گردیده، نمودارهای تغییرات رطوبت نسبی رسم شده است. برای تعیین میزان افزایش یا کاهش در روند رطوبت نسبی در مقیاس‌های زمانی مختلف از مقیاس درصد/دهه استفاده‌گردید؛ بدین ترتیب که چنانچه شیب نمودار روند در ۱۰ ضرب شود، میزان درصد تغییرات در هر دهه محاسبه می‌شود.

• ایستگاه مشهد

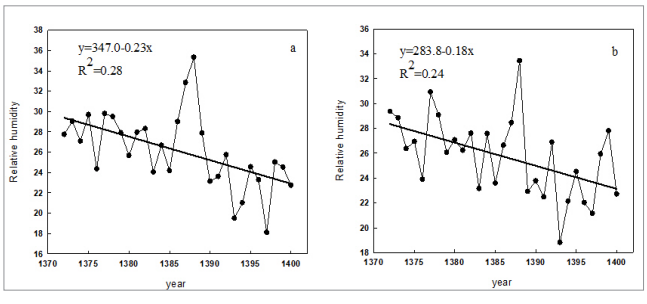
جدول (۲) روند نزولی معنی‌داری در رطوبت نسبی ایستگاه مشهد در سطح ۹۵ درصد و در اکثر ماه‌های سال به‌جز شهریور، مهر و آذر را نشان می‌دهد. میزان این روند نزولی در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، آبان، دی، بهمن و اسفند به ترتیب به میزان ۱/۸، ۱/۵، ۱/۸، ۱/۷، ۱/۶، ۱/۲، ۲/۳، ۲/۳ و ۱/۷ درصد/ دهه می‌باشد. درحالی‌که در ماه‌های باقیمانده هیچ روند معنی‌داری در رطوبت نسبی در سطح ۹۵ درصد، مشاهده نگردید. همان‌طور که در جدول (۳) مشاهده می‌گردد، در مقیاس سالانه و فصلی رطوبت نسبی در این ایستگاه به‌جز در فصل پاییز روند نزولی معنی‌دار از خود نشان داد. میزان این روند نزولی در مقیاس سالانه و در فصل‌های بهار، تابستان و زمستان به ترتیب ۱/۶، ۱/۷، ۱/۶ و ۲ درصد/دهه می‌باشد. در شکل (۲-m:a) سری زمانی رطوبت نسبی با نمودار روند خطی در مقیاس‌های زمانی مختلف، ارائه شده است. در شکل (۲-n) تغییرات لگاریتم رطوبت نسبی و تبخیر-تعرق پنمن مانتیث ارائه شده است. رطوبت یا میزان بخارآب هوا، بر تبخیر اثر دارد. هر چه رطوبت نسبی کمتر باشد، هوا خشک‌تر و میزان تبخیر بیشتر می‌شود. هر چه هوا مرطوب‌تر باشد، هوا به اشباع نزدیک‌تر است و تبخیر کمتری ممکن است رخ دهد. نتایج این پژوهش هم این مطالب را تایید می‌نماید. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود هر زمان رطوبت نسبی کاهش یافته، مقدار تبخیر-تعرق افزایش یافته است.



شکل ۲- سری زمانی رطوبت نسبی و نمودار روند خطی در مقیاس‌های زمانی مختلف در ایستگاه مشهد (a: فروردین‌ماه، b: اردیبهشت‌ماه، c: خردادماه، d: تیرماه، e: مردادماه، f: آبان ماه، g: دی‌ماه، h: بهمن‌ماه، i: اسفندماه، j: سالانه، k: فصل بهار، l: فصل تابستان، m: فصل زمستان، n: تغییرات رطوبت نسبی و تبخیر-تعرق سالانه)

• ایستگاه تربت‌جام

جداول (۲) و (۳)، روند نزولی معنی‌داری در رطوبت نسبی ایستگاه تربت‌جام در سطح ۹۵ درصد در تیرماه و در فصل تابستان را نشان می‌دهند. در دیگر ماه‌ها و فصل‌ها هیچ روند معنی‌داری در رطوبت نسبی در سطح ۹۵ درصد، مشاهده نشد. در مقیاس زمانی سالانه نیز روند رطوبت نسبی در این ایستگاه در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار نشد. در شکل (۳) سری زمانی رطوبت نسبی با نمودار روند خطی در دو مقیاس زمانی آورده شده است. میزان این روند نزولی معنی‌دار در تیرماه و فصل تابستان به ترتیب ۲/۳ و ۱/۸ درصد/دهه به دست آمد.

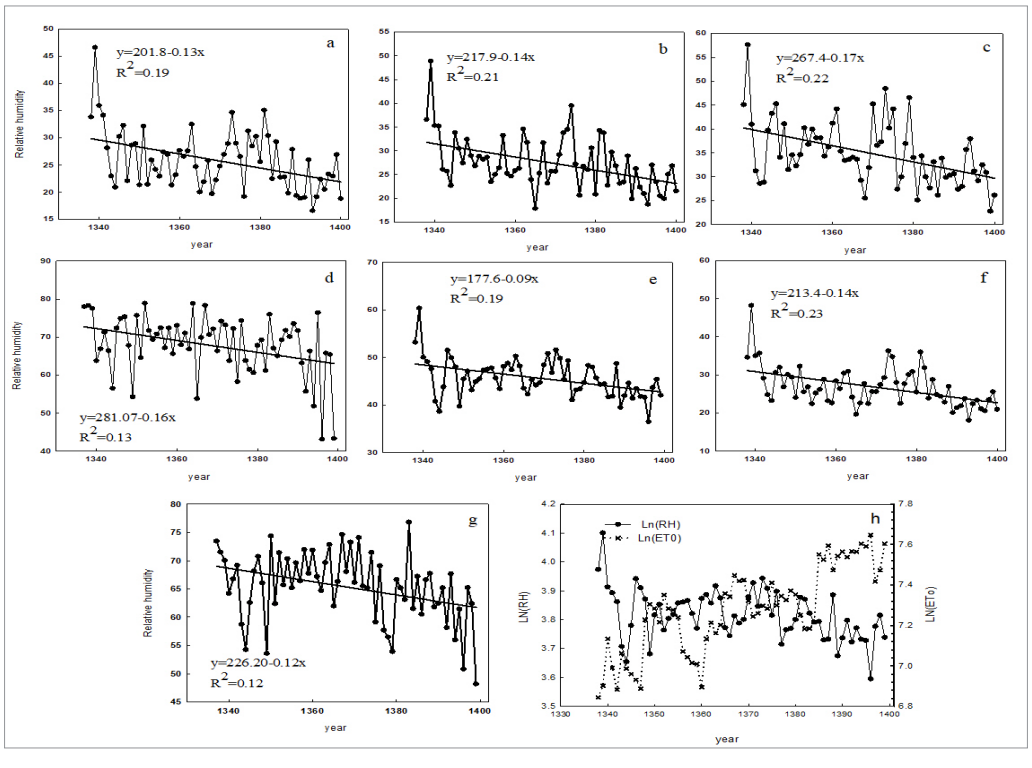


شکل ۳- سری زمانی رطوبت نسبی و نمودار روند خطی در مقیاس‌های زمانی مختلف در ایستگاه تربت‌جام (a: تیرماه، b: فصل تابستان)

• ایستگاه تربت‌حیدریه

جدول (۲) روند نزولی معنی‌داری در رطوبت نسبی در این ایستگاه در سطح ۹۵ درصد در ماه‌های مرداد، شهریور، مهر و بهمن را نشان می‌دهد. میزان این روند نزولی در ماه‌های مرداد، شهریور، مهر و بهمن به ترتیب ۱/۳، ۱/۴، ۱/۷ و ۱/۶ درصد/دهه می‌باشد. درحالی‌که در ماه‌های دیگر، هیچ روند معنی‌داری در رطوبت‌نسبی در سطح ۹۵ درصد مشاهده نشد.

در مقیاس سالانه و فصلی رطوبت نسبی در این ایستگاه به‌جز در فصل‌های بهار و پاییز، روند نزولی معنی‌دار از خود نشان داد (جدول ۳). میزان این روند نزولی در مقیاس سالانه و در فصل‌های تابستان و زمستان به ترتیب ۰/۹، ۱/۴ و ۱/۲ درصد/دهه می‌باشد. در شکل (g:a-۴) سری زمانی رطوبت نسبی با نمودار روند خطی در مقیاس‌های زمانی مختلف، آورده شده است. در شکل (h-۴) تغییرات لگاریتم رطوبت نسبی و تبخیر-تعرق پنمن مانتیث آورده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، در هرسال که رطوبت نسبی سالیانه کمتر بوده است، مقدار تبخیر-تعرق افزایش‌یافته است و هر زمان رطوبت نسبی زیاد شده میزان تبخیر -تعرق کاهش‌یافته است.

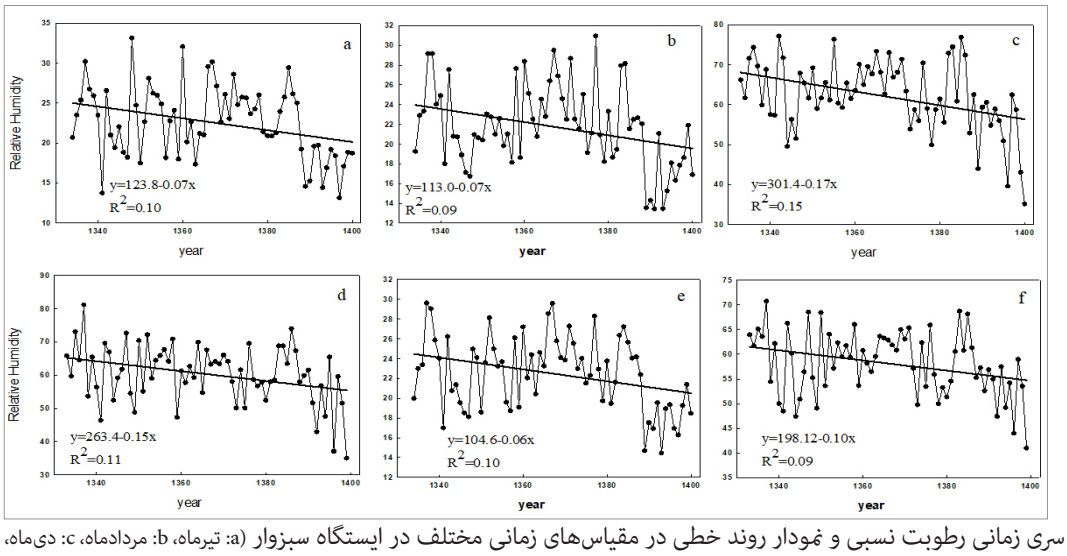


شکل ۴- سری زمانی رطوبت نسبی و نمودار روند خطی در مقیاس‌های زمانی مختلف در ایستگاه تربت‌حیدریه (a: مردادماه، b: شهریورماه، c: مهرماه، d: بهمن‌ماه، e: سالانه، f: فصل تابستان، g: فصل زمستان، h: تغییرات رطوبت نسبی و تبخیر-تعرق سالانه)

• ایستگاه سبزوار

جدول (۲) روند نزولی معنی‌داری در رطوبت نسبی در این ایستگاه در سطح ۹۵ درصد در ماه‌های تیر، مرداد، دی و بهمن را نشان می‌دهد. میزان این روند نزولی در ماه‌های تیر، مرداد، دی و بهمن به ترتیب به میزان ۰/۷، ۰/۷، ۱/۷ و ۱/۵ درصد/دهه می‌باشد. درحالیکه در ماه‌های دیگر هیچ روند معنی‌داری در

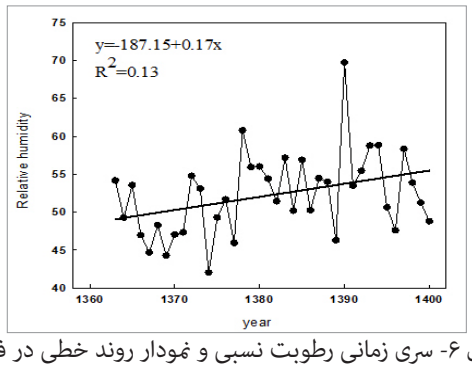
رطوبت نسبی در سطح ۹۵ درصد، مشاهده نگردید. همان‌طور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود در مقیاس سالانه و فصلی رطوبت نسبی در این ایستگاه تنها در فصول تابستان و زمستان، روند نزولی معنی‌دار از خود نشان داد. در مقیاس سالانه این روند معنی‌دار نشد. میزان این روند نزولی در فصل‌های تابستان و زمستان به ترتیب به میزان ۰/۶ و ۱ درصد/دهه می‌باشد. در شکل (۵-f:a) سری زمانی رطوبت نسبی با نمودار روند خطی در مقیاس‌های زمانی مختلف آورده شده است.



شکل ۵- سری زمانی رطوبت نسبی و نمودار روند خطی در مقیاس‌های زمانی مختلف در ایستگاه سبزوار (a: تیرماه، b: مردادماه، c: دی‌ماه، d: بهمن‌ماه، e: فصل تابستان، f: فصل زمستان)

• ایستگاه سرخس

رطوبت نسبی در فصل پاییز ایستگاه سرخس در سطح۹۵ درصد روند صعودی معنی‌داری را نشان می‌دهد (جدول ۳). در مقیاس ماهانه و سالانه رطوبت نسبی روند معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد در این ایستگاه از خود نشان نداد. در شکل (۶) سری زمانی رطوبت نسبی با نمودار روند خطی در فصل پاییز آورده شده است. میزان این روند افزایشی معنی‌دار در فصل پاییز ۱/۷ درصد/دهه به دست آمد.



شکل ۶- سری زمانی رطوبت نسبی و نمودار روند خطی در فصل پاییز در ایستگاه سرخس

• ایستگاه قوچان

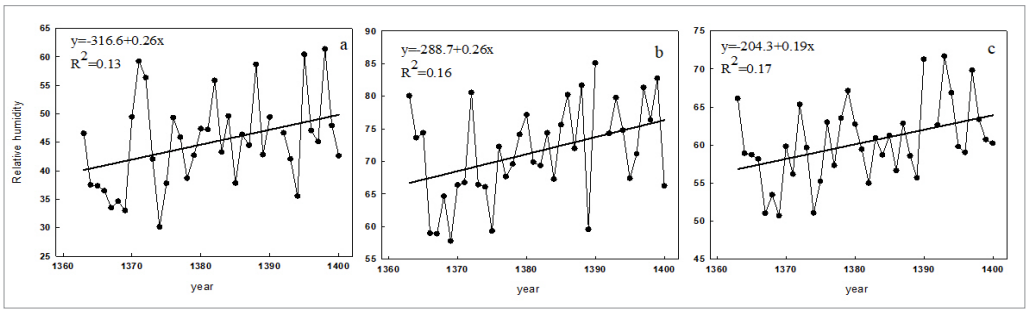
می‌توان از جداول (۲) و (۳) روند صعودی معنی‌داری در رطوبت نسبی ایستگاه قوچان در سطح۹۵ درصد و در ماه‌های خرداد، آذر و فصل پاییز را مشاهده کرد. میزان این روند افزایشی در ماه‌های خرداد، آذر و فصل پاییز به ترتیب ۲/۶، ۲/۶ و ۱/۹ درصد/دهه می‌باشد. درحالی‌که در ماه‌های دیگر هیچ روند معنی‌داری در رطوبت نسبی در سطح ۹۵ درصد مشاهده نشد. در مقیاس سالانه نیز این روند معنی‌دار نشد. در شکل (a:c-۷) سری زمانی رطوبت نسبی با نمودار روند خطی در مقیاس‌های زمانی مختلف آورده شده است.

• ایستگاه گلمکان

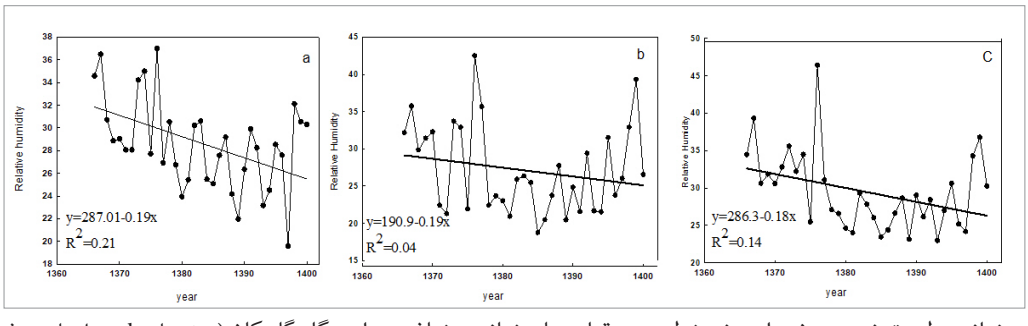
جداول (۲) و (۳) روند نزولی معنی‌داری در رطوبت نسبی در ایستگاه گلمکان در سطح ۹۵ درصد در تیرماه، مرداد ماه و فصل تابستان را نشان می‌دهند. میزان این روند کاهشی در ماه‌های تیر، مرداد و فصل تابستان به ترتیب ۱/۹، ۱/۹ و ۱/۸ درصد/دهه می‌باشد. درحالی‌که در ماه‌های باقیمانده و سایر مقیاس‌های زمانی، هیچ روند معنی‌داری در رطوبت نسبی در سطح ۹۵ درصد مشاهده نشد. در شکل (۸) سری زمانی رطوبت نسبی با نمودار روند خطی در تیر، مرداد ماه و فصل تابستان آورده شده است. در مقیاس سالانه و سایر فصول، رطوبت نسبی در این ایستگاه روند معنی‌داری از خود نشان نداد.

• ایستگاه گناباد

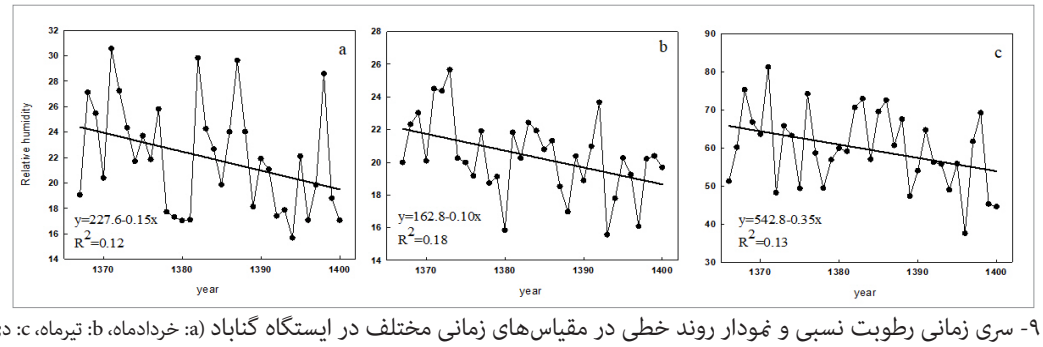
جدول (۲) روند نزولی معنی‌داری در رطوبت نسبی در این ایستگاه در سطح ۹۵ درصد در ماه‌های خرداد، تیر و دی را نشان می‌دهد. میزان این روند نزولی در ماه‌های خرداد، تیر و دی به ترتیب ۱/۵، ۱ و ۳/۵ درصد/دهه می‌باشد. درحالی‌که در ماه‌های باقیمانده، هیچ روند معنی‌داری در رطوبت نسبی در سطح ۹۵ درصد مشاهده نگردید. همان‌طور که در جدول (۳) مشاهده می‌گردد در مقیاس سالانه و فصلی رطوبت نسبی در این ایستگاه روند معنی‌داری از خود نشان نداد. در شکل (۹) سری زمانی رطوبت نسبی با نمودار روند خطی در مقیاس‌های زمانی مختلف آورده شده است.



شکل ۷ - سری زمانی رطوبت نسبی و نمودار روند خطی در مقیاس‌های زمانی مختلف در ایستگاه قوچان (a: خردادماه، b: آذرماه، c: فصل پاییز)



شکل ۸- سری زمانی رطوبت نسبی و نمودار روند خطی در مقیاس‌های زمانی مختلف در ایستگاه گلمکان (a: تیرماه، b: مردادماه، c: فصل تابستان)



شکل ۹- سری زمانی رطوبت نسبی و نمودار روند خطی در مقیاس‌های زمانی مختلف در ایستگاه گناباد (a: خردادماه، b: تیرماه، c: دی‌ماه)

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پژوهش حاضر روند ماهانه، فصلی و سالانه رطوبت نسبی با استفاده از روش تحلیل من-کندال در ۱۳ ایستگاه استان خراسان رضوی را ارزیابی نمود. رطوبت نسبی در اکثر ماه‌ها در بیشتر مناطق مورد مطالعه از روند معنی‌داری خاصی پیروی نمی‌کند، به‌طوری‌که در ایستگاه‌های خواف، درگز، سرخس، فریمان، کاشمر و نیشابور هیچ روند آماری معنی‌داری در سطح ۵ درصد در رطوبت نسبی مشاهده نشد. در ایستگاه تربت‌جام در تیرماه، در تربت‌حیدریه در ماه‌های مرداد، شهریور، مهر و بهمن، در سبزوار در تیر، مرداد، دی و بهمن، در گلمکان در تیر و مرداد، در گناباد در ماه‌های خرداد، تیر و دی، در ایستگاه مشهد در اکثر ماه‌های سال به‌جز در ماه‌های شهریور، مهر و آذر، رطوبت نسبی روند کاهشی از خود نشان داد. اما در ایستگاه قوچان در ماه‌های خرداد و آذر روند رطوبت نسبی افزایشی بوده است. تغییرات رطوبت نسبی در فصل بهار تنها در ایستگاه مشهد روند کاهشی از خود نشان داد. در فصل تابستان رطوبت نسبی در مشهد، تربت‌جام، تربت‌حیدریه ، گلمکان و سبزوار روند کاهشی دارد. در فصل پاییز رطوبت نسبی دارای روند افزایشی در سرخس و قوچان بود. در فصل زمستان رطوبت نسبی روند کاهشی در ایستگاه‌های مشهد، سبزوار و تربت‌حیدریه نشان داد. در ایستگاه‌های مشهد و تربت‌حیدریه روند کاهشی به ترتیب با میزان ۱/۶ و ۰/۹ درصد/دهه در رطوبت نسبی سالیانه مشاهده گردید. نتایج تحقیقات ما حاکی از روند کاهشی در میانگین رطوبت نسبی ماهانه، سالانه و فصلی، طی سال‌های اخیر در نیمی از ایستگاه‌های مورد مطالعه است. با توجه به اینکه رطوبت نسبی می‌تواند بر چرخه هیدرولوژیکی تأثیرگذار باشد، یافته‌های این مطالعه می‌تواند نتایج مفیدی در اجرای سیاست‌های مدیریت آب داشته باشد. علاوه بر این، این نتایج را می‌توان در آینده برای تجزیه‌وتحلیل در مدل‌سازی اثرات تغییر آب‌وهوا بر اقلیم در مناطق مختلف استان خراسان رضوی، استفاده نمود.

پی‌نوشت

1-Ranichauri
2-Leh
3-Srinagar
4-Mann-Kendall test
5-Pre whitening test

منابع

Afrifa-Yamoah, E., Mueller, U. A., Taylor, S. M. & Fisher, A. J. (2020). Missing data imputation of high-resolution temporal climate time series data. Meteorological Applications, 27(1), 1873. https://doi.org/10.1002/met.1873

Bayazit, M. & Önöz, B. (2007). To prewhiten or not to prewhiten in trend analysis? Hydrological Sciences Journal, 52(4), 611–624. https://doi.org/10.1623/hysj.52.4.611

CséplO, A., Izsák, B. & Geresdi, I. (2022). Long-term trend of surface relative humidity in Hungary. Theoretical and Applied Climatology, 149(3), 1629–1643. https://doi.org/10.1007/s00704-022-04127-z

Farhat, N. (2018). Effect of relative humidity on evaporation rates in Nabatieh Region. Lebanese Science Journal, 19(1), 59-66. https://doi.org/10.22453/LSJ-019.1.059-066

Farooq, Z. & Kumar, R. (2021). Spatial and temporal trend analysis of relative humidity in the Himalayan region: a case study. Arabian Journal of Geosciences, 14(21), 2237. https://doi.org/10.1007/s12517-021-08624-9

Gaffen, D. J. & Ross, R. J. (1999). Climatology and Trends of U.S. Surface Humidity and Temperature. Journal of Climate, 12(3), 811–828. https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<0811:CATOUS>2.0.CO;2

IPCC. (2014). Climate change: 2014. synthesis report (SYR). Intergovernmental panel on climate change, Geneva; p. 151. https://www.ipcc.ch/report/ ar5/syr

Katiraei, P. S., Arkyan, F. & Rezaei Farkosh, R. (2011). Trend of humidity (specific and relative) in synoptic stations in Iran in period 1976-2005. JMSTR, 6(2), 17–29. https://jmstr.ntb.iau.ir/article_522960.html

Kendall, M.G. (1975). Rank Correlation Methods, 4th edn. London, Charles Griffin.

Khan, P. I., Ratnam, D. V., Prasad, P., Basha, G., Jiang, J. H., Shaik, R., Ratnam, M. V. & Kishore, P. (2022). Observed Climatology and Trend in Relative Humidity, CAPE, and CIN over India. In Atmosphere, 13(2), 361. https://doi.org/10.3390/atmos13020361

Kousari, M. R. & Asadi Zarch, M.A. (2011). Minimum, maximum, and mean annual temperatures, relative humidity, and precipitation trends in arid and semi-arid regions of Iran. Arabian Journal of Geosciences, 4(5), 907–914. https://doi.org/10.1007/s12517-009-0113-6

Mansouri Daneshvar, M. R., Ebrahimi, M. & Nejadsoleymani, H. (2019). An overview of climate change in Iran: facts and statistics. Environmental Systems Research, 8(1), 7. https://doi.org/10.1186/s40068-019-0135-3

Razavi, S. & Vogel, R. (2018). Prewhitening of hydroclimatic time series? Implications for inferred change and variability across time scales. Journal of Hydrology, 557, 109–115. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.11.053

Sachindra, D. A. & Nowosad, M. (2022). Variations in relative humidity across Poland and its possible impacts on outdoor thermal comfort: An analysis based on hourly data from 1995 to 2020. International Journal of Climatology, 42(7), 3861–3887. https://doi.org/10.1002/joc.7449

Sein, Z. M. M., Ullah, I., Iyakaremye, V., Azam, K., Ma X., Syed, S. & Zhi, X. (2021). Observed spatiotemporal changes in air temperature, dew point temperature and relative humidity over Myanmar during 2001–2019. Meteorology and Atmospheric Physics, 134(1), 7. https://doi.org/10.1007/s00703-021-00837-7

Sharma, P., Loliyana, V., Nagpal, G., S R, R., Tripathi, A., Timbadiya, P. V. & Patel, P. L. (2015). Investigation of Long-Term Trends and Temporal Variability of Rainfall in Surat District, Gujarat. 49th Annual Convention of IWWA on "Smart Water Management"At: VNIT Nagpur

Shirmohammadi-Aliakbarkhani, Z. & Saberali, S. F. (2020). Evaluating of eight evapotranspiration estimation methods in arid regions of Iran. Agricultural Water Management, 239, 106243. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106243

Singh, P., Kumar, V., Thomas, T. & Arora, M. (2008). Changes in rainfall and relative humidity in river basins in northwest and central India. Hydrological Processes - HYDROL PROCESS, 22, 2982–2992. https://doi.org/10.1002/hyp.6871

Valdez-Cepeda, R., Hernández-Ramírez, D., Mendoza, B., Valdes, J. & Maravilla, D. (2011). Fractality of monthly extreme minimum temperature. Fractals, 11(2), 137-144. https://doi.org/10.1142/S0218348X0300163X

Wijngaarden, W. and Vincent, L. (2004). Trends in Relative Humidity in Canada from 1953-2003.