

## Investigation of changes and prediction of relative humidity of Arak station based on statistical downscaling model

Bahram Shahmansouri <sup>1</sup>  | Abdolah faraji <sup>2</sup> 

1- Ph.D climatology, Director of the Student Research Center shazand City

2- Associate Professor Climatology, University of Zanjan, Iran

### Article Info:

#### Article type:

Research Article

#### history:

##### Received:

2023/8/8

##### Received:

2023/9/25

##### Accepted:

2023/10/20

##### Published:

2024/2/4

### Keywords:

**A**bstract: The city of Arak is one of the industrial centers of the country that has been facing population growth in recent decades. Increasing population as well as increasing energy consumption on the one hand and global warming on the other hand have caused changes in climatic elements such as relative humidity. In this paper, the relative humidity behavior of Arak city during the period 1961 to 2017 was investigated using Mann-Kendall statistical test and linear and nonlinear regression. The findings of this study showed that the trend of relative humidity of Arak station is different at different hours during the year and seasons. The most significant changes in the relative humidity of Arak are related to 6.5 and 9.5 hours, which has a downward trend. Using SDSM statistical downscaling model, relative humidity statistics of Arak until 2070 were predicted. The findings of this part of the study showed that the SDSM model can simulate and predict relative humidity. According to two scenarios A2 and B2, the relative humidity of Arak will decrease in the future.

**Cite this article:** Shahmansouri, B, faraji, A (2024). Investigation of changes and prediction of relative humidity of Arak station based on statistical downscaling model. *Climate Change and Climate Disasters*, 2(4), 164-189.

© The Author(s).

**Homepage:** [cccd.znu.ac.ir](http://cccd.znu.ac.ir)

**Publisher:** University of Zanjan





## بررسی تغییرات و پیش‌بینی رطوبت نسبی ایستگاه اراک براساس الگوهای ریزمقیاس نمایی آماری

بهرام شاه منصور<sup>۱</sup> | عبدالله فرجی<sup>۲</sup>

۱. دکتری آب و هواشناسی، مدیر پژوهش سرای دانش آموزان شهرستان شازند

۲. دانشیار، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، ایران.

### اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

### تاریخ‌ها:

دریافت: ۱۴۰۲/۹/۱۷

بازنگری: ۱۴۰۲/۶/۲۴

پذیرش: ۱۴۰۲/۷/۲۸

انتشار: ۱۴۰۲/۱۱/۱۵

### واژگان کلیدی:

آشکارسازی روند، اراک، رطوبت نسبی، رگرسیون خطی و غیرخطی، مدل ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM).

چکیده: شهر اراک یکی از مراکز صنعتی کشور است که در چند دهه اخیر با رشد جمعیت مواجه بوده است، افزایش جمعیت و نیز افزایش مصرف انرژی از یک سو و گرمایش جهانی از سوی دیگر باعث تغییرات عناصر آب و هوایی از جمله رطوبت نسبی شده است. در این نوشته رفتار رطوبت نسبی شهر اراک طی دوره‌ی ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۷ و با استفاده از آزمون آماری مان-کندل و نیز با بکارگیری رگرسیون خطی و غیرخطی بررسی شد. یافته‌های این تحقیق نشان داد که روند رطوبت نسبی ایستگاه اراک در ساعت‌های مختلف طی سال و فصل‌ها متفاوت است، بیشترین تغییرات معنی‌دار در رطوبت نسبی شهر اراک مربوط به ساعت ۶/۵ و ۹/۵ است که روندی نزولی داشته است. با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM، آماره‌های رطوبت نسبی اراک تا سال ۲۰۷۰ پیش‌بینی گردید. یافته‌های این بخش از پژوهش نشان داد که مدل SDSM می‌تواند رطوبت نسبی را شبیه‌سازی و پیش‌بینی نماید. طبق دو سناریوی A2 و B2 رطوبت نسبی اراک در آینده روندی کاهشی خواهد داشت.

استناد: شاه منصور، بهرام، فرجی، عبدالله. (۱۴۰۲). بررسی تغییرات و پیش‌بینی رطوبت نسبی ایستگاه اراک براساس الگوهای ریزمقیاس نمایی آماری. دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی، ۲(۴)، ۱۶۴-۱۸۹

© نویسندگان .

ناشر: دانشگاه زنجان.

Homepage: cccd.znu.ac.ir



## مقدمه

رشد سریع شهرنشینی از نیمه دوم قرن بیستم تاکنون، موجب جهش جمعیت شهرنشین از ۲۹/۴ درصد در سال ۱۹۵۰ به ۵۱/۶ درصد در سال ۲۰۱۰ شد؛ پیش‌بینی می‌شود که جمعیت شهرنشین جهان در سال ۲۰۳۰ به ۶۰ درصد و در سال ۲۰۵۰ به ۶۷/۲ درصد برسد (IPCC<sup>1</sup>، ۲۰۱۴). رشد شهرنشینی در کشورهای در حال توسعه بویژه در چند دهه اخیر شدت زیادی داشته است. در کشور ایران نیز جمعیت شهرنشین از ۳۰ درصد در سال ۱۳۳۰ به ۵۰ درصد در سال ۱۳۵۸ و نزدیک به ۷۶ درصد در سال ۱۳۹۵ رسید. رشد بسیار سریع شهرهای بزرگ در کشورهای در حال توسعه و از جمله کشور ما مشکلات متعدد زیست محیطی را به دنبال داشته است. یکی از این معضلات، دگرگونی آب و هوایی و از جمله تغییرات رطوبت نسبی می‌باشد. فزونی مصرف انرژی در شهرهای بزرگ ویر جمعیت، آلودگی هوا در شهرها، ایجاد جزیره گرمایی و تغییر دما و رطوبت نسبی شهرها را به دنبال داشته

است؛ طبق گزارش IPCC (۲۰۱۴)، دمای مناطق شهری ایران تا سال ۲۰۱۲ از ۰/۶ تا ۱/۷۵ درجه سلسیوس افزایش یافته است. افزایش دما تغییر رطوبت نسبی را به دنبال خواهد داشت. شهر اراک از شهرهای پر جمعیت کشور به شمار می‌آید و در دهه‌های اخیر رشد بسیار سریعی را طی نموده است. جمعیت اراک از ۱۱۶۰۰۰ نفر در سال ۱۳۵۵ به ۵۲۰۹۴۴ نفر در سال ۱۳۹۵ بالغ گشته است. این شهر یکی از شهرهای صنعتی کشور می‌باشد. در سال ۱۳۹۰، تعداد ۲۲۱ کارگاه و کارخانه صنعتی (با بیش از ده نفر کارگر) در داخل و اطراف این شهر، به ثبت رسیده است (معصومی، ۱۳۹۱). صنایع بزرگی چون ماشین‌سازی، آذراب، کمباین سازی، آلومینیم سازی و... در داخل این شهر قرار دارند. در سال ۱۳۹۰ در شهرستان اراک ۹۷۰۰۹۳۹۳۰ کیلووات برق، ۲۷۱۶۸۷۹ هزار متر مکعب گاز طبیعی، ۲۱۲۶۷ تن گاز مایع، ۱۹۷۸۵۵ هزار لیتر بنزین، ۲۲۹۹۳ هزار لیتر نفت سفید، ۶۲۷۸۵۵ هزار لیتر نفت گاز، ۳۴۱۰۴ هزار لیتر نفت کوره و ۶۲۸۵۶۱۰ هزار لیتر سایر سوخت‌ها

1 -Intergovernmental Panel on Climate Change

رطوبت نسبی شهر گاتبورگ سوئد به این نتیجه رسیدند که بین توسعه جزیره حرارتی شهر با رطوبت نسبی رابطه‌ای مستقیم وجود دارد. مارک<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۹) بر این باورند که بر اثر تغییر اقلیم اخیر میانگین نم نسبی وردسپر در نیمکره شمالی بدون تغییر بوده است، در حالی که دما و نم ویژه افزایش یافته است. وانگ و گافن<sup>۴</sup> (۲۰۰۱)، بیان کردند که در کشور چین دما و رطوبت روند مثبت معنی‌داری دارد ولی رطوبت نسبی دارای روندی منفی است. نینگ‌دین<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۶) در استرالیا بین دما و رطوبت نسبی با سلامت روان را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که رطوبت ارتباط منفی بین هوای گرم و سلامت روان را ایجاد می‌کند و بنابراین باید هنگام اصلاح سیستم مراقبت‌های بهداشتی برای پاسخگویی به چالش تغییرات آب و هوایی مورد توجه قرار گیرد. ماریکاولئی<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۷)، تاثیر رطوبت نسبی را در سازگاری آسایش حرارتی بررسی نمودند. عزیزی و روشنی (۱۳۷۸)، تغییرات رطوبت

چون گوگرد و حلال‌ها مصرف شده است (معصومی، ۱۳۹۱). از این رو گمان می‌رود رطوبت نسبی این شهر از مصرف منابع انرژی یاد شده متاثر گردیده است. آشنایی با تغییرات رطوبت نسبی برای سازگاری با این تغییرات ضروری به نظر می‌رسد. سازگاری شهرها با تغییر عناصر اقلیمی موضوعی است که در گزارش<sup>۲</sup> (۲۰۱۴)، مورد تاکید بوده و یکی از راههای کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم بر فعالیت‌های انسانی به شمار می‌آید. با توجه به اینکه رطوبت نسبی یکی از عناصر مهم در آسایش اقلیمی است و تاثیر مثبت و منفی در فعالیت‌های مختلف شهروندان دارد و به دلیل داشتن تاثیر مستقیم بر مقدار دید، تشکیل ابر، مه و دود، اهمیت ویژه‌ای دارد و لازم است بطور دقیق مورد بررسی قرار بگیرد. مطالعات متعددی که در مورد رطوبت نسبی انجام گرفته اغلب برای میانگین بوده، در این نوشتار علاوه بر میانگین به منظور تحلیل دقیق‌تر روند تغییرات ساعتی رطوبت نسبی نیز انجام شد. هولمر و الیسون<sup>۲</sup> (۱۹۹۹)، با بررسی

5-Ning Ding  
6-Marika Vellei

2- Holmer and Eliasson  
3- Mark  
4- Wang and Gaffen

نسبی در سواحل جنوبی دریای خزر را بررسی کردند و به این نتیجه دست یافتند که روند رطوبت ماهانه در تمام ایستگاهها به غیر از ایستگاه بابلسر مثبت بوده است. مسعودیان (۱۳۸۵)، نواحی رطوبتی ایران را به کمک داده های فشار بخار آب ۶۲ ایستگاه همدید کشور بررسی نمود و نشان داد که ایران دارای شش ناحیه رطوبتی است که بصورت کمربند های پیرامون سواحل کشیده شده است و نیز به تحلیل ماهانه رطوبت پرداختند و نشان دادند که بیشتر نواحی ساحلی کشور با روند مثبت و نواحی مرتفع با روند منفی رطوبت روبه رو بوده است. امیدوار و خسروی (۱۳۸۹)، داده های مربوط به پارامترهای دمایی و رطوبت نسبی را در ایستگاههای جنوبی به روش مان-کندال بررسی کردند و نشان دادند که رطوبت نسبی محدوده مورد مطالعه یا دارای روند منفی معنی دار و یا فاقد روند بوده اند. دارند (۱۳۹۳)، در پژوهشی تحت عنوان واکاوی زمانی- مکانی رطوبت جوی ایران به این نتیجه رسید که در اغلب گستره ایران زمین از مقدار رطوبت جوی و نم نسبی کاسته شده

است و به لحاظ مکانی، بیشترین مقدار تغییرات کاهشی بین مدارهای ۳۴ تا ۳۶ درجه عرض شمالی ایران رخ نمود داشته است. عطایی و فنایی (۱۳۹۳)، در بررسی خود در استان اصفهان به این نتیجه رسیدند که روندهای کاهشی رطوبت نسبی بر روندهای افزایشی غلبه دارد و بیشترین کاهش رطوبت نسبی مربوط به ماه فوریه و کمترین کاهش مربوط به ماه ژوئن بوده است. قره خانی و قهرمانی (۱۳۸۹)، به این نتیجه رسیدند که بیشترین روند کاهشی رطوبت نسبی در فصول زمستان و تابستان و کمترین روند تغییرات در فصل پاییز رخ داده است.

در مورد پیش بینی و شبیه سازی عناصر آب و هوایی براساس ریزمقیاس نمایی مدل های گردش عمومی جو، بیشتر پیش بینی و شبیه سازی برای دما و بارش بوده است. گانگون<sup>7</sup> و همکاران (۲۰۰۵)، کاربرد مدل ریزمقیاس نمایی آماری در شبیه سازی داده های آب و هوایی در کبک کانادا را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که وقتی از داده های NCEP برای شبیه سازی استفاده می شود مدل

برای دما و بارش فرین رود تی بر در ایتالیا بکار بردند و با استفاده از GCM و Hadcm3 تحت سناریوی A2 و B2 برای دوره‌های مختلف پیش‌بینی نمودند و به این نتیجه رسیدند که هر دو مدل توانائی پیش‌بینی دما را دارند. لی‌تی‌توس<sup>۱۲</sup> و همکاران (۲۰۱۳)، براساس مدل‌های گردش عمومی جو CGCM3 طبق سناریو A2 برای شروتر در کانادا ۵ درجه‌ی سلسیوس افزایش دما تا سال ۲۱۰۰ پیش‌بینی کردند. محمود و بابل<sup>۱۳</sup> (۲۰۱۴) تغییرات آینده رخداد دمای بیشینه را در نواحی مرزی جلوم بررسی و مدل‌سازی کردند و نتیجه گرفتند که در آینده تغییر در تکرار و شدت همه شاخص‌های فرین‌های گرم بیشتر از فرین‌های سرد است. عباسی و همکاران (۱۳۸۹)، تغییر اقلیم زاگرس را با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ارزیابی نمودند و به این نتیجه رسیدند که برای دهه ۲۰۲۰ افزایش میانگین سالانه دما به میزان ۰/۴ درجه سلسیوس محتمل است. آبکار و

شایسته‌ای به شمار می‌آید و به هنگام استفاده از داده‌های CGCM1 مدل ناکارآمد بوده و دما را کمتر از دمای مشاهده شده نشان می‌دهد. کاکیدس<sup>۸</sup> و برج (۲۰۰۹)، حساسیت مدل ریزمقیاسی آماری را در جنوب اونتاریا مورد ارزیابی قرار دادند و برآورد آمار کمینه و بیشینه دما با خطای کم توسط توسط این مدل را تایید نمودند. تری هورن<sup>۹</sup> و دگاتانو (۲۰۱۱)، تکنیک‌های را برای ریزمقیاس نمایی باران‌های شدید در شمال شرق ایالت متحده آمریکا مقایسه نمودند و مدل ریزمقیاس نمایی SDSM را مورد تأیید قرار دادند. لیو<sup>۱۰</sup> و همکاران (۲۰۱۲)، دو مدل ریزمقیاس نمایی NHMM و SDSM را برای بارندگی روزانه‌ی حوزه‌ی رودخانه خشک در چین را مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند که هر دو مدل توانائی شبیه‌سازی خصوصیات سالانه و ماهانه بارش را دارند ولی مدل NHMM در شبیه‌سازی بارش ماهانه اندکی بهتر است. فیشا<sup>۱۱</sup> و همکاران (۲۰۱۲)، با استفاده از SDSM و LARS ریزمقیاس نمایی آماری را

11- Fiseha

12- LeeTitus

13- Mahmood and Babel

8-Koukidis and Berg

9-Tryhorn and DeGaetano

10-Liu

ساعات مختلف شهر اراک در طی سال و فصول مختلف و نیز پیش بینی تغییرات رطوبت نسبی ساعات مختلف شهر اراک برای برنامه ریزی جهت انطباق وسازگاری با تغییرات اقلیم است.

### ۱. داده‌ها و روش‌ها

برای انجام این تحقیق و به منظور بررسی، الگوسازی و نیز پیش‌بینی رطوبت نسبی ایستگاه اراک، داده‌ها به شرح زیر مورد استفاده قرار گرفت:

۱- میانگین رطوبت نسبی و رطوبت نسبی ساعت‌های مختلف ایستگاه اراک از ۱۹۶۱ تا سال ۲۰۱۷ (۲۰۸۱۹ روز)، از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. ایستگاه اراک در عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی واقع شده است ارتفاع این ایستگاه از سطح دریا ۱۷۰۸ متر است.

۲- از داده‌های روزانه مرکز ملی پیش‌بینی متغیرهای محیطی و مرکز ملی پژوهش‌های جوی (NCEP (NCAR) برای متغیرهای مختلف جوی طی دوره‌ی ۱۹۶۱ تا سال ۲۰۰۱ و نیز از داده‌های مدل جهانی گردش عمومی جو زمین HadCM3 تحت

همکاران (۱۳۹۲)، کارآئی مدل ریزمقیاس نمایی SDSM را در مناطق خشک و نیمه خشک مورد ارزیابی و تأیید قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که این مدل دما را برای مناطق خشک نسبت به فرا خشک بهتر برآورد می‌کند. رضایی و همکاران (۱۳۹۳)، کارآئی مدل ریزمقیاس نمایی SDSM را در پیش‌بینی بارش در دو اقلیم خشک و فرا خشک ارزیابی نمودند و نتیجه گرفتند که این مدل در منطقه خشک از توانایی و دقت بالاتری برای پیش‌بینی بارندگی نسبت به منطقه فرا خشک برخوردار می‌باشد. قرمز چشمه و همکاران (۱۳۹۳)، عوامل مورفواقلیمی را بر دقت ریزمقیاس گردانی مدل SDSM بررسی نموده و دقت ایستگاه‌های مختلف شمال غرب کشور ایران را از نظر دما و بارندگی مورد ارزیابی قرار دادند، یافته‌های ایشان نشان داد که ایستگاه‌هایی که ارتفاع آنها به متوسط ارتفاع سلول یا یاخته انتخابی نزدیکتر است، نسبت به ایستگاه‌های که در حاشیه سلول قرار دارند از طریق مدل SDSM با دقت بیشتری عناصر شبیه سازی می‌گردند. هدف از این پژوهش بررسی دقیق رفتار رطوبت نسبی

تغییرات بلند مدت رطوبت نسبی شهر اراک از رگرسیون خطی و غیر خطی (شامل رگرسیون درجه دوم و درجه سوم)، آزمون آماری من کندال استفاده شده است. با توجه به اینکه روش شناسی این فنون در تحقیقات متعدد داخلی و خارجی بیان شده است، از ذکر آنها در این نوشتار خودداری می‌شود (به عنوان مثال به علیجانی ۱۳۹۰، عزیزی ۱۳۸۷ و سبزی پرور ۱۳۹۲ مراجعه کنید). کلیه عملیات آماری-ترسیمی این بخش با استفاده از نرم افزار های SPSS و MATLAB انجام گرفته است.

سناریو A2 و B2 برای دوره‌ی ۱۹۶۱ تا ۲۰۹۹ به شرح جدول شماره ۱ استفاده شد. به منظور انتخاب یاخته مناسب از سری یاخته های پایگاه داده ای NCEP و نیز Hadcm3 ابتدا از میان یاخته های مجاور ایستگاه اراک و نیز یاخته‌ای که شامل ایستگاه اراک بود، بین آماره‌های رطوبت نسبی ایستگاه اراک و متغیرهای جوی یاخته های مجاور ایستگاه همبستگی ایجاد شد و یاخته‌ای انتخاب گردید که بیشترین همبستگی را داشت. در نهایت یاخته 15X-22Y با مختصات ۳۲/۵ درجه عرض شمالی و ۵۲/۵ درجه طول شرقی انتخاب شد. جهت بررسی

جدول ۱: متغیرهای مورد استفاده از پایگاه داده ای داده های NCEP و Hadcm3

ردیف	متغیر	ردیف	متغیر
۱	فشار تراز دریا	۱۴	مولفه مداری باد تراز دریا
۲	سرعت باد تراز دریا	۱۵	همگرایی در تراز دریا
۳	مولفه نصف النهاری باد تراز دریا	۱۶	واگرایی باد در تراز دریا
۴	جهت باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱۷	مولفه مداری در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال
۵	سرعت باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱۸	همگرایی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال
۶	مولفه نصف النهاری باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱۹	جهت باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال
۷	ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۲۰	واگرایی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال
۸	سرعت باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۱	مولفه مداری در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال
۹	مولفه نصف النهاری باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۲	همگرایی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال
۱۰	ارتفاع تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۳	جهت باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال

۱۱	واگرایی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۴	رطوبت نسبی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال
۱۲	رطوبت نسبی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۵	رطوبت نسبی تراز دریا
۱۳	رطوبت ویژه تراز دریا	۲۶	میانگین دما در ارتفاع ۲ متری

جهت شبیه‌سازی و پیش‌بینی رطوبت نسبی ایستگاه اراک از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) استفاده شد؛ از این مدل برای شبیه‌سازی متغیرهای آب و هوایی برای هر ایستگاه، در شرایط حال حاضر و نیز در شرایط آینده تحت سناریوهای مختلف پدیده‌ی تغییر اقلیم استفاده می‌شود. برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی آماره‌های رطوبت نسبی ایستگاه اراک، داده‌های مشاهدات روزانه‌ی ایستگاهی، داده‌های NCEP/NCAR و داده‌های HadCM3 مورد استفاده قرار گرفت. مراحل انجام این پژوهش به شرح ذیل است:

مرتب سازی داده‌های روزانه ایستگاه اراک ( شامل میانگین رطوبت نسبی و رطوبت نسبی ساعت های ۶/۵ ، ۹/۵ ، ۱۲/۵ ، ۱۵/۵ و ۱۸/۵ به وقت تهران) ، این مرحله با استفاده از نرم افزار surfer انجام شد. پس از انتخاب متغیرهای پیش‌بینی کننده مناسب، طول روزهای سال برای داده‌های

ایستگاهی، داده‌های NCEP و نیز داده‌های HadCM3 هموزن و همسان شد. از میان ۲۶ متغیر مستقل جوی NCEP و HadCM3 (جدول شماره ۱) متغیرهای انتخاب شدند که بالاترین ضریب همبستگی و پایین‌ترین پراش خطا را داشتند. این متغیرها به عنوان متغیرهای پیش‌بینی کننده در مدل اختیار شدند. در مرحله‌ی واسنجی مدل، مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی بر مبنای رگرسیون خطی چند گانه‌ی برازش یافته بر مشاهدات روزانه آب و هوایی و متغیرهای جوی در مقیاس منطقه‌ای ایجاد شد. داده‌های آب و هوایی روزانه در اینجا داده‌های رطوبت نسبی ساعات مختلف روزانه‌ی ایستگاه اراک است و متغیرهای جوی مقیاس منطقه‌ای همان متغیرهای پیش‌بینی کننده می‌باشند. مدل با استفاده از الگوریتم کمترین مربعات معمولی بهینه شد. طول دوره آماری که برای واسنجی مدل از ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۱ در نظر گرفته شد؛ یعنی دوره ای که هم داده‌های

اختلاف مشاهده شده و پیش‌بینی شده است (نتر ۱۴، ۱۳۷۴)، شاخص دوربین واتسون این پیش‌فرض را آزمایش می‌کند که مقادیر تفاضل یعنی اختلاف مشاهده شده و پیش‌بینی شده نباید ضریب خود همبستگی بالایی داشته باشند. آماره چاو پایایی ضرائب را می‌آزماید و مدلی را می‌پذیرد که ضرایب آن در امتداد زمان نوسان بالایی نداشته باشند. با استفاده از مدل بدست آمده در مرحله واسنجی و نیز بکارگیری متغیرهای پیش‌بینی کننده انتخابی، مشخصات رطوبت نسبی اراک طی دوره‌ی ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۱ (۱۴۹۷۵ روز)، شبیه‌سازی شد. هدف از شبیه‌سازی رطوبت نسبی نخست ارزیابی مدل ساخته شده و دوم تعیین و جایگزینی داده‌های گمشده است. به منظور ارزیابی و کارآیی مدل و شناسایی بهترین روش جهت پیش‌بینی رطوبت نسبی از معیارهای میانگین خطای مطلق، مجذور میانگین مربعات خطا، ضریب ساتکلیف (رضایی و همکاران، ۱۳۹۳) و نمایه‌ی توافق ویلموت (یارنال، ۱۵، ۱۳۹۳)، بشرح زیر استفاده شد:

ایستگاهی و هم داده‌های NCEP وجود دارند. در بسیاری از تحقیقات طول این دوره را دوره پایه یعنی از ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ در نظر می‌گیرند (به عنوان نمونه به کار آبکار ۱۳۹۲ و عباسی ۱۳۸۹ نگاه کنید). ولی در این تحقیق به دو دلیل طول این دوره از ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۱ در نظر گرفته شد؛ نخست رفتار بیشتر آماره‌های رطوبت نسبی اراک خطی نیست بلکه انحنایی است، از این رو دو نیم کردن دوره ممکن است موجب خطای محاسباتی ایجاد کند. زیرا در نیم دوره نخست رطوبت نسبی روندی افزایشی و در نیم دوره دوم رطوبت نسبی روندی کاهش‌ی و مجموعاً رطوبت نسبی روندی سهمی دارد. دوم این که هر چه طول دوره نمونه برداری اقلیمی بیشتر باشد، برآورد و پیش‌بینی دقیق‌تر است. نمایه‌ی دوربین واتسون، ضریب تعیین، خطای استاندارد و آزمون چاو کیفیت مدل را پس از واسنجی مدل تعیین می‌کنند. مجذور ضریب همبستگی قدرت پیش‌بینی متغیرهای توضیحی را نشان می‌دهد؛ شاخص دوربین واتسون همبستگی بین مقادیر تفاضل یعنی

## ۲. یافته ها و نتایج

### مشخصات توصیفی و تحلیل روند رطوبت نسبی

نسبی ساعت ۱۸/۵ تابستان روندی مثبت معنی دار دارد و با توجه به سطح معنی داری آزمون آماری مان-کندال، معلوم می شود که به غیر از دو مورد ذکر شده در سایر موارد رطوبت نسبی ایستگاه اراک روندی ثابت دارد.

جدول ۲ نتایج آزمون آماره مان-کندال را نشان می دهد. با توجه به این جدول فقط رطوبت نسبی ساعت ۹/۵ تابستان روند منفی معنادار و رطوبت

جدول ۲: نتایج آزمون آماره من کندال رطوبت نسبی ایستگاه اراک از ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۷

آماره فصل	ساعت ۶/۵	ساعت ۹/۵	ساعت ۱۲/۵	ساعت ۱۵/۵	ساعت ۱۸/۵	میانگین
بهار	-۰/۰۲۹	-۰/۱۳۵	۰/۰۰۶	۰/۰۹۲	۰/۱۰۵	۰/۰۲۶
تابستان	-۰/۱۷۴	-۰/۲۶۴*	-۰/۱۰۵	۰/۰۹۳	۰/۱۸۴*	-۰/۰۸۵
پائیز	۰/۱۳۵	-۰/۰۰۴	۰/۱۳۹	۰/۱۷۲	۰/۱۶۷	۰/۱۴۰
زمستان	۰/۰۲	-۰/۰۵۵	-۰/۰۷۹	-۰/۰۶۶	-۰/۰۵۷	-۰/۰۳۹
سالانه	۰/۰۲۵	-۰/۱۲۸	۰/۰۱۶	۰/۰۹۱	۰/۱۱۸	۰/۰۲۰
*معنی داری						

دو یا بیش از دو متغیر مستقل باشند و هر متغیر مستقل می تواند توان های متعددی داشته باشد (عساکره، ۱۳۹۰). از اینرو برای بررسی دقیق تر رفتار بلند مدت رطوبت نسبی اراک از رگرسیون درجه دوم و درجه سوم استفاده شد. جدول ۳ انواع آماره های رطوبت نسبی ایستگاه اراک در فصول مختلف، با رگرسیون های که بهترین برازش داشته اند، را نشان می دهد. با توجه به جدول ۳ و شکل های ۱ و ۲ می توان گفت که تغییرات رطوبت نسبی فصل

با توجه به نتایج من کندال می توان قضاوت نمود که یا پارامترهای رطوبت نسبی اراک در طی زمان تغییر نمی کنند و یا اینکه رفتار رطوبت نسبی ایستگاه اراک رفتاری غیرخطی است، در شرایطی که رابطه دو یا چند متغیر به شکل دو یا چند جمله ای باشد خط نمی تواند پراش یک متغیر را با متغیر دیگر توجیه کند. در این صورت می بایست به جای یک خط، یک منحنی برای بیان رابطه برازش نمود. مدل های رگرسیون انحنایی می توانند دارای یک،

نشان می‌دهند. در فصل تابستان رطوبت نسبی ساعات‌های ۶/۵، ۹/۵، ۱۸/۵ و میانگین این فصل تغییر معنی‌دار داشته‌اند. نمودارهای A، B و C شکل ۲ این تغییرات را به خوبی نشان می‌دهند.

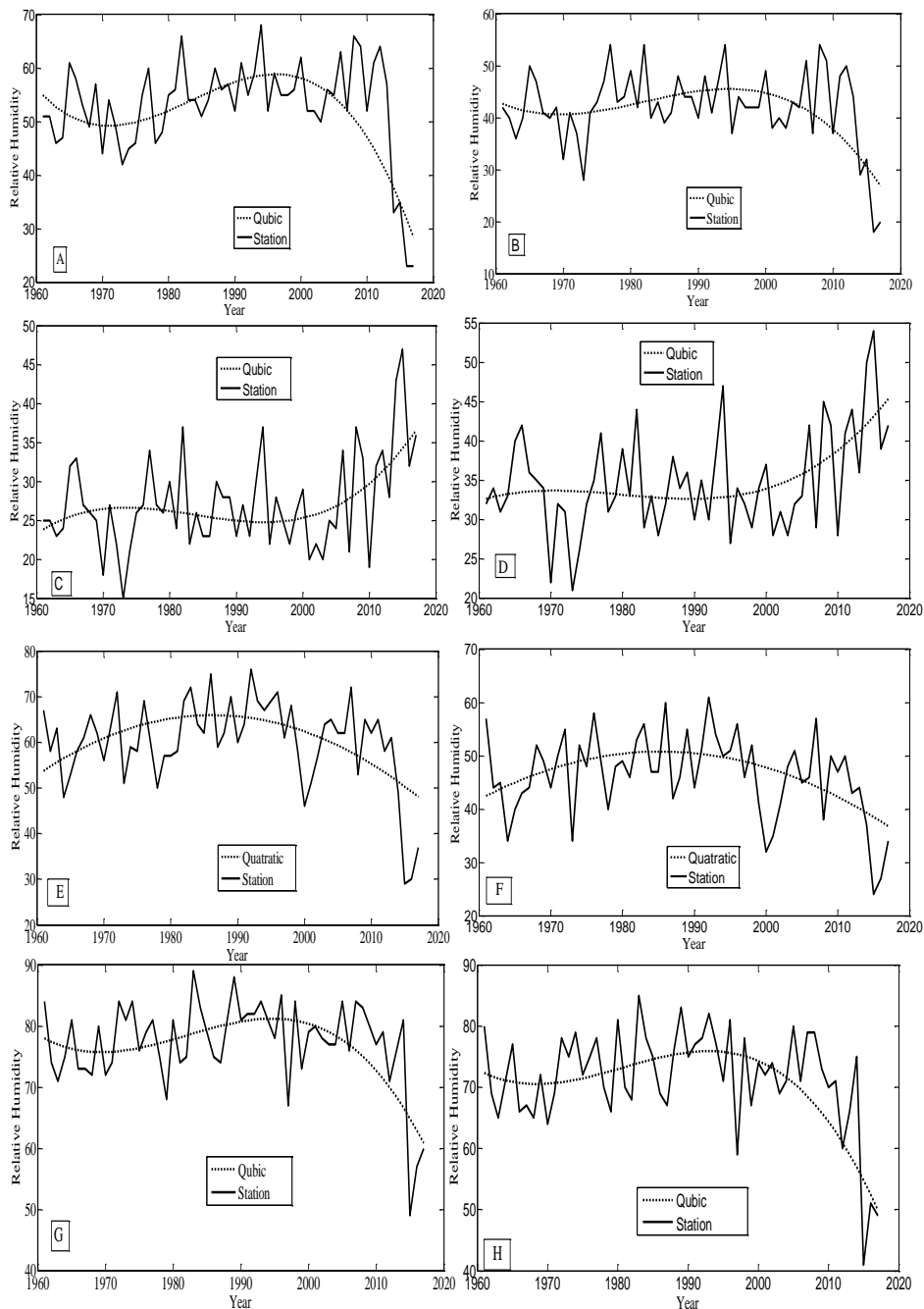
بهار در ساعات‌های ۶/۵، ۹/۵ و ۱۸/۵ معنی‌دار است، در این ساعات‌ها رطوبت نسبی از سال ۱۹۶۱ تا سال ۱۹۹۰ افزایش یافته و از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۷ روندی کاهشی داشته است. نمودارهای E و F در شکل ۱ این تغییرات را بخوبی

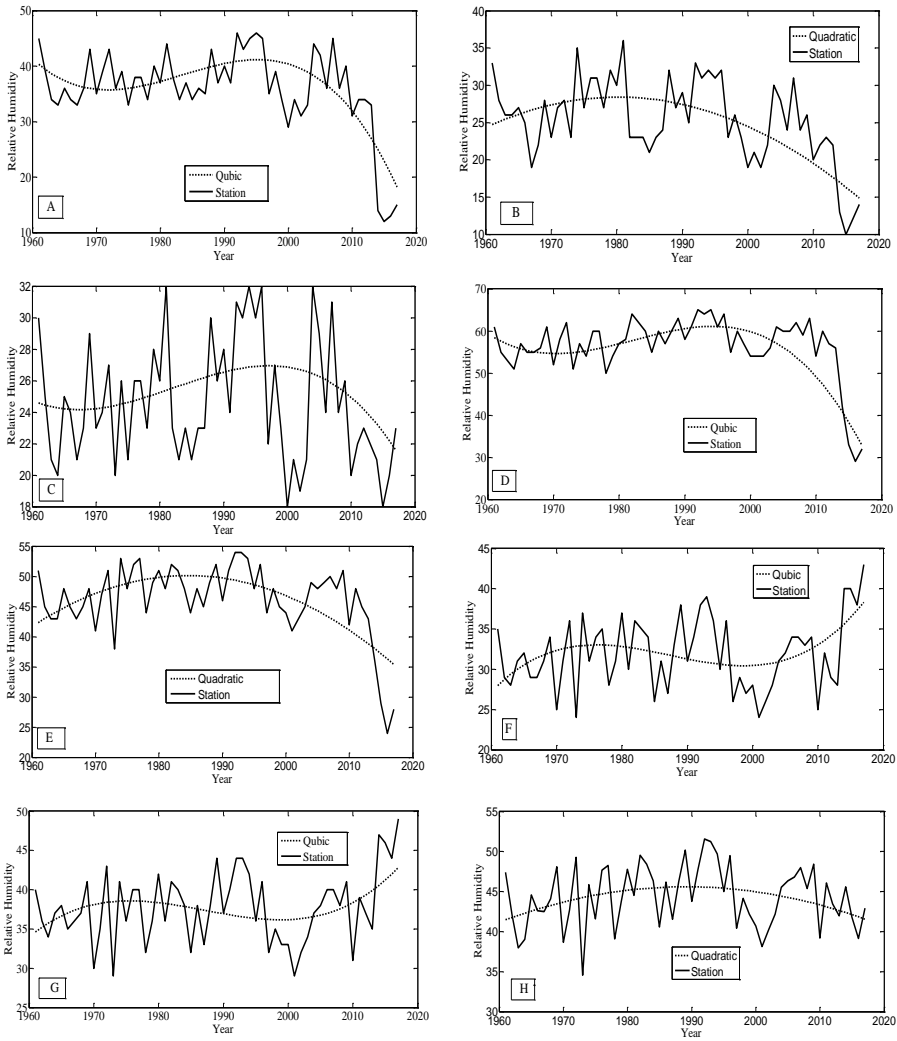
جدول 3: انواع آماره‌های رطوبت نسبی اراک با بهترین نوع رگرسیون

آماره فصل	ساعت ۶/۵		ساعت ۹/۵		ساعت ۱۲/۵		ساعت ۱۵/۵		ساعت ۱۸/۵		میانگین	
	نوع رگرسیون	p-value	نوع رگرسیون	p-value	نوع رگرسیون	p-value	نوع رگرسیون	p-value	نوع رگرسیون	p-value	نوع رگرسیون	p-value
بهار	دو	۰/۰۰۰*	دو	۰/۰۰۰*	دو	۰/۵۵۰	سه	۰/۰۶۱	سه	۰/۰۳۲*	دو	۰/۳۲۹
تابس تان	سه	۰/۰۰*	دو	۰/۰۰*	سه	۰/۰۶۰	خط ی	۰/۱۴۸	خط ی	۰/۰۲۴*	سه	۰/۰۳۴*
پائیز	سه	۰/۰۰*	سه	۰/۰۰۱*	خط ی	۰/۰۶۰	سه	۰/۰۰۱*	دو	۰/۰۳۵*	خط ی	۰/۰۵۳
زمس تان	سه	۰/۰۰۰*	سه	۰/۰۰۰*	دو	۰/۱۹۴	سه	۰/۲۲۵	سه	۰/۲۹۹	دو	۰/۱۸۹
سال انه	سه	۰/۰۰*	دو	۰/۰۰*	دو	۰/۱۱۶	سه	۰/۰۲۱*	سه	۰/۰۱۱*	دو	۰/۰۰۵*

\*معنی داری

شکل ۱: نمودارهای A، B، C و D به ترتیب، روند تغییرات رطوبت نسبی ساعات ۶/۵، ۹/۵، ۱۵/۵ و ۱۸/۵ فصل پائیز، نمودارهای E و F ساعات ۶/۵ و ۹/۵ فصل بهار و نمودارهای G و H ساعات ۶/۵ و ۹/۵ فصل زمستان را نشان می‌دهند.





شکل ۲: نمودارهای A، B و C به ترتیب، روند تغییرات رطوبت نسبی ساعات ۶/۵، ۹/۵ و میانگین فصل تابستان و نمودارهای D، E، F، G و H به ترتیب، روند تغییرات رطوبت نسبی ساعات ۶/۵، ۹/۵، ۱۵/۵، ۱۸/۵ و میانگین سالانه را نشان می‌دهند.

نسبی در ساعت‌های ۶/۵ و ۹/۵ مانند دوفصل بهار و تابستان از سال ۱۹۹۱ به بعد روندی کاهشی دارد ولی در

تغییرات رطوبت نسبی در فصل پائیز در ساعت‌های ۶/۵، ۹/۵، ۱۵/۵ و ۱۸/۵ معنی‌دار است، در این فصل رطوبت

۲ متری، رطوبت نسبی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، رطوبت ویژه تراز دریا، رطوبت نسبی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و رطوبت نسبی تراز دریا بیشترین همبستگی را با آماره‌های رطوبت نسبی ایستگاه اراک داشتند. پس از واسنجی با استفاده از مدل برآورد شده و متغیرهای توضیحی بیان شده برای دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۱ داده‌های رطوبت نسبی برآورد گردیده و مورد ارزیابی قرار گرفت. داده‌های ایستگاهی و داده‌های شبیه‌سازی شده برای یک دوره چهل و یک ساله (۱۹۶۱ تا ۲۰۰۱) در جدول ۴ مقایسه شده‌اند. اختلاف بین آماره‌های شبیه‌سازی شده با آماره‌های ایستگاهی بسیار ناچیز است، در شکل ۳، نمودار A رطوبت نسبی بین داده‌های ایستگاهی با شبیه‌سازی NCEP را برای ماه‌های مختلف سال در دوره آماری ۲۰۰۱-۱۹۶۱ و نمودار B رطوبت نسبی ساعت‌های مختلف ایستگاه اراک با سناریوهای A2 و B2 در ماه‌ها و فصل‌های سال در دوره آماری ۲۰۱۷-۱۹۶۱ مقایسه می‌کنند.

جدول ۴: مقایسه داده‌های مشاهده‌ای با داده‌های شبیه‌سازی شده ایستگاه اراک

ساعت ماه	آماره‌های رطوبت نسبی ایستگاهی					آماره‌های رطوبت نسبی شبیه‌سازی شده					میان گین
	۶/۵	۹/۵	۱۲/۵	۱۵/۵	۱۸/۵	۶/۵	۹/۵	۱۲/۵	۱۵/۵	۱۸/۵	
					میان گین						میان گین

ساعت‌های ۱۵/۵ و ۱۸/۵ رطوبت نسبی از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۷ روندی افزایشی را نشان می‌دهد، نمودارهای A, B, C و D در شکل ۱ روند تغییرات رطوبت نسبی فصل پائیز را نمایش می‌دهند. در فصل زمستان، رطوبت نسبی فقط در ساعت‌های ۶/۵ و ۹/۵ تغییر معنی‌دار داشته است، نمودارهای G و H در شکل ۱ این تغییرات را نشان می‌دهند. در مجموع سالانه رطوبت نسبی شهر اراک در ساعت‌های ۶/۵، ۹/۵، ۱۵/۵، ۱۸/۵ و میانگین کل سال معنی‌دار است، نمودارهای D, E, F, G و H در شکل ۲ روند تغییرات رطوبت نسبی سالانه را برای ساعات مذکور نمایش می‌دهند.

### شبیه‌سازی و پیش‌بینی رطوبت نسبی ایستگاه اراک

پس از کنترل کیفیت داده‌ها بین رطوبت نسبی ساعات مختلف و هریک از متغیرهای جوی NCEP ارایه شده در جدول ۱ همبستگی معمولی و نیز همبستگی جزئی ایجاد شد. متغیرهای فشار تراز دریا، ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، میانگین دما در ارتفاع

ژانویه	۸/۷۲ ۰	۷/۵۷ ۶	۶/۳۲ ۵	۶/۷۱ ۰	۶/۹۹ ۷	۷/۲۰ ۲	۸/۷۱ ۰	۷/۴۳ ۶	۶/۱۵ ۵	۶/۷۱ ۰	۶/۹۳ ۷	۷/۳۳ ۲
فوریه	۷/۳۱ ۷	۷/۹۷ ۰	۵/۲۴ ۷	۵/۵۴ ۱	۵/۴۴ ۸	۶/۵۵ ۵	۷/۰۷ ۷	۷/۷۷ ۰	۵/۹۱ ۶	۵/۲۸ ۱	۵/۰۱ ۸	۶/۶۵ ۵
مارس	۶/۹۳ ۸	۵/۹۸ ۷	۴/۵۷ ۲	۳/۲۵ ۷	۴/۶۹ ۳	۵/۲۴ ۳	۶/۹۷ ۸	۵/۸۲ ۷	۴/۲۷ ۲	۳/۰۲ ۷	۴/۵۵ ۳	۵/۹۰ ۲
آوریل	۶/۹۷ ۰	۴/۷۷ ۵	۳/۹۱ ۱	۲/۵۰ ۸	۳/۹۳ ۳	۴/۷۲ ۳	۶/۳۴ ۱	۴/۸۷ ۵	۳/۹۸ ۱	۲/۳۹ ۸	۳/۶۶ ۳	۴/۷۴ ۳
می	۵/۷۱ ۵	۳/۸۳ ۹	۲/۸۲ ۶	۲/۰۶ ۴	۲/۰۲ ۸	۳/۳۸ ۸	۵/۸۳ ۵	۳/۸۸ ۹	۲/۱۷ ۷	۲/۶۳ ۳	۲/۲۸ ۸	۳/۲۴ ۸
ژوئن	۳/۹۴ ۹	۲/۰۸ ۸	۱/۲۰ ۸	۱/۴۶ ۵	۱/۳۰ ۷	۲/۰۵ ۶	۳/۹۹ ۹	۲/۳۹ ۸	۱/۶۶ ۸	۱/۵۷ ۵	۱/۲۸ ۷	۲/۵۲ ۶
ژوئلی	۳/۰۶ ۷	۲/۷۲ ۶	۱/۸۷ ۷	۱/۶۸ ۵	۱/۷۹ ۷	۲/۹۹ ۴	۳/۹۵ ۶	۲/۳۹ ۶	۱/۵۶ ۷	۱/۶۶ ۵	۱/۴۷ ۷	۲/۱۴ ۵
آگ وست	۳/۸۳ ۶	۲/۲۰ ۶	۱/۹۰ ۶	۱/۸۰ ۴	۱/۲۵ ۷	۲/۴۲ ۴	۳/۳۹ ۶	۲/۶۸ ۵	۱/۱۷ ۷	۱/۸۹ ۴	۱/۷۶ ۶	۲/۱۱ ۴
سپتام بر	۳/۵۵ ۸	۲/۴۴ ۷	۱/۱۸ ۷	۱/۳۹ ۴	۱/۳۸ ۸	۲/۵۵ ۵	۳/۶۴ ۸	۲/۵۸ ۷	۱/۳۱ ۷	۱/۲۴ ۴	۱/۵۳ ۸	۲/۷۹ ۵
اکتبر	۵/۱۶ ۴	۴/۵۱ ۱	۲/۸۴ ۷	۲/۲۰ ۴	۳/۰۳ ۲	۳/۹۹ ۸	۵/۰۰ ۴	۴/۵۵ ۱	۲/۶۰ ۷	۲/۴۶ ۴	۳/۱۳ ۲	۳/۳۸ ۹
نوامبر	۶/۱۱ ۹	۵/۶۱ ۹	۴/۵۶ ۴	۳/۳۳ ۹	۴/۵۳ ۹	۵/۲۷ ۵	۶/۹۹ ۸	۵/۸۴ ۹	۴/۸۶ ۴	۳/۵۸ ۹	۴/۶۸ ۹	۵/۲۲ ۵
دسام بر	۷/۷۳ ۶	۷/۸۳ ۱	۵/۶۵ ۸	۵/۹۳ ۳	۶/۵۷ ۲	۶/۸۱ ۶	۷/۷۰ ۶	۷/۶۷ ۱	۵/۲۷ ۸	۵/۲۱ ۴	۶/۲۷ ۲	۶/۶۱ ۶
زمستا ن	۷/۲۸ ۸	۷/۱۹ ۳	۶/۵۰ ۰	۵/۵۱ ۵	۶/۱۴ ۳	۶/۲۷ ۸	۷/۱۹ ۸	۷/۰۲ ۳	۶/۲۱ ۰	۵/۵۳ ۵	۶/۸۸ ۲	۶/۲۸ ۸
بهار	۶/۸۸ ۱	۴/۸۹ ۷	۳/۷۹ ۳	۲/۹۵ ۹	۳/۲۳ ۵	۴/۱۳ ۵	۶/۰۵ ۲	۴/۸۸ ۷	۳/۸۳ ۳	۲/۶۹ ۹	۳/۱۸ ۵	۴/۹۷ ۴
تابستا ن	۳/۹۲ ۷	۲/۹۷ ۶	۱/۶۵ ۷	۱/۳۱ ۵	۱/۴۵ ۷	۲/۱۵ ۵	۳/۷۶ ۷	۲/۸۰ ۶	۱/۷۹ ۷	۱/۳۷ ۵	۱/۱۷ ۷	۲/۲۴ ۵
پاییز	۵/۹۶ ۳	۴/۸۷ ۲	۲/۸۵ ۹	۲/۹۷ ۵	۳/۳۲ ۳	۳/۹۵ ۹	۵/۸۸ ۳	۴/۹۷ ۲	۲/۸۹ ۹	۲/۰۷ ۶	۳/۴۳ ۳	۴/۱۲ ۰
سالانه	۵/۹۲ ۷	۴/۶۳ ۷	۳/۳۴ ۵	۳/۵۸ ۱	۳/۱۷ ۷	۴/۵۲ ۴	۵/۸۸ ۷	۴/۵۶ ۷	۳/۳۲ ۵	۳/۵۷ ۱	۳/۰۵ ۷	۴/۵۵ ۴

مدل گردش عمومی جو HadCM3 برای دوره‌ی ۱۹۶۱ تا ۲۰۹۹ بهره گرفته شد.

برای پیش‌بینی مشخصات رطوبت نسبی اراک از داده‌های دو سناریوی A2 و B2

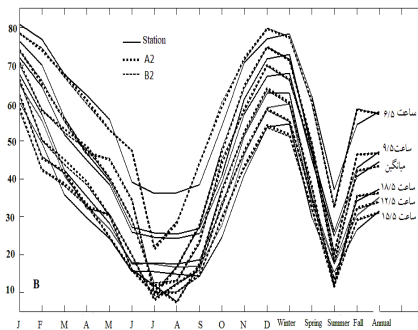
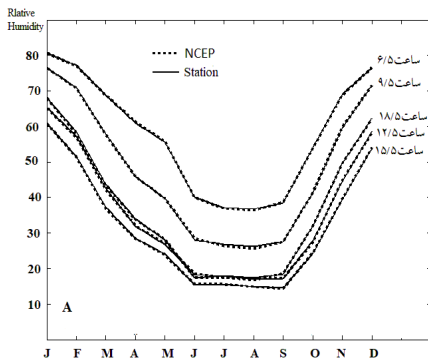


-																			
۲۰																			
۱۰																			
۱۹	۵	۴	۳	۳	۳	۴	۵	۴	۳	۳	۳	۴	۵	۴	۳	۳	۳	۳	۴
۶۱	۷	۷	۴	۱	۶	۳	۷	۷	۴	۱	۶	۳	۸	۷	۵	۱	۷	۴	۴
-																			
۲۰																			
۱۷																			
۱۹	۵	۴	۳	۳	۳	۴	۵	۴	۳	۳	۳	۴							
۶۱	۷	۷	۴	۱	۶	۳	۷	۷	۴	۱	۶	۳							
-																			
۲۰																			
۲۰																			
۱۹	۵	۴	۳	۳	۳	۴	۵	۴	۳	۳	۳	۴							
۶۱	۷	۶	۳	۱	۶	۳	۷	۷	۴	۲	۶	۳							
-																			
۲۰																			
۳۰																			
۱۹	۵	۴	۳	۳	۳	۴	۵	۴	۳	۳	۳	۴							
۶۱	۷	۶	۴	۲	۶	۳	۷	۶	۴	۱	۶	۳							
-																			
۲۰																			
۴۰																			
۱۹	۵	۴	۳	۳	۳	۴	۵	۴	۳	۳	۳	۴							
۶۱	۷	۶	۳	۱	۶	۳	۶	۶	۳	۰	۵	۲							
-																			
۲۰																			
۵۰																			
۱۹	۵	۴	۳	۳	۳	۴	۵	۴	۳	۳	۳	۴							
۶۱	۶	۶	۳	۰	۵	۲	۶	۶	۳	۰	۵	۲							
-																			
۲۰																			
۶۰																			
۱۹	۵	۴	۳	۲	۳	۴	۵	۴	۳	۲	۳	۴							
۶۱	۵	۴	۳	۹	۴	۱	۶	۵	۲	۹	۴	۱							
-																			
۲۰																			
۷۰																			

جدول ۵: تغییرات میانگین دوره‌ای رطوبت نسبی اراک از سال ۱۹۶۱ تا سال ۲۰۷۰ تحت دو سناریوی A2 و B2

طبق این جدول میانگین دوره ای رطوبت نسبی ایستگاه تا سال ۲۰۰۰ اندکی افزایش یافته و پس از آن روندی کاهشی داشته است. طبق سناریوی های A2 و B2 رطوبت نسبی اراک تا سال ۲۰۰۰ تغییر محسوسی نداشته است، ولی از سال ۲۰۰۰ به بعد هر دو سناریو روند کاهشی را نشان می دهند. طبق سناریوی A2 میانگین رطوبت نسبی در دوره ۲۰۷۰-۱۹۶۰ نسبت به دوره ۱۹۶۰-۲۰۱۷، ۱۹۶۰ ایستگاه، به ترتیب برای ۶/۵، ۹/۵، ۱۲/۵، ۱۵/۵، ۱۸/۵ و میانگین، به مقدار ۲، ۲، ۲، ۲، ۳ و ۳ درصد کاهش می یابد.

طبق این جدول میانگین دوره ای رطوبت نسبی ایستگاه تا سال ۲۰۰۰ اندکی افزایش یافته و پس از آن روندی کاهشی داشته است. طبق سناریوی های A2 و B2 رطوبت نسبی اراک تا سال ۲۰۰۰ تغییر محسوسی نداشته است، ولی از سال ۲۰۰۰ به بعد هر دو سناریو روند کاهشی را نشان می دهند. طبق سناریوی A2 میانگین رطوبت نسبی در دوره ۲۰۷۰-۱۹۶۰ نسبت به دوره ۱۹۶۰-۲۰۱۷، ۱۹۶۰ ایستگاه، به ترتیب برای ۶/۵، ۹/۵، ۱۲/۵، ۱۵/۵، ۱۸/۵ و میانگین، به مقدار ۲، ۲، ۲، ۲، ۳ و ۳ درصد کاهش می یابد.



شکل ۳: نمودار A مقایسه رطوبت نسبی بین داده های ایستگاهی با شبیه سازی NCEP برای ماه های مختلف سال و نمودار B مقایسه رطوبت نسبی ساعاتی مختلف ایستگاه اراک با سناریوهای A2 و B2 در ماه ها و فصل های سال در دوره آماری ۲۰۱۷-۱۹۶۱

### نتیجه گیری

اراک را بررسی نمود ولی با استفاده از رگرسیون درجه دو و درجه سه می توان تغییرات رطوبت نسبی ایستگاه اراک را بررسی نمود. رطوبت نسبی ساعاتی ۶/۵ و ۹/۵ در تمام فصل ها از سال ۱۹۹۰ تا سال ۲۰۱۷ روندی کاهشی دارد. رطوبت نسبی

با بررسی که در این مقاله انجام گرفت، مشخص شد که رفتار رطوبت نسبی اراک، در ساعاتی مختلف سال و فصل های چهارگانه متفاوت و سهمی است و با روش من کندال نمی توان تغییرات رطوبت نسبی

های سال در حال گرم شدن است لذا می‌توان قضاوت نمود، که دلیل کاهش رطوبت نسبی شهر اراک در آغاز روز افزایش دمای کمینه این شهر می‌باشد.

مقدار رطوبت نسبی از خردادماه تا شهریور ماه در همه ساعات به غیر از ساعت ۶/۵ کمتر از ۳۰ درصد است یعنی کمتر از شرایط آسایش مطلوب برای زندگی، لذا لازم است برنامه ریزان شهری در جهت افزایش نسبی رطوبت نسبی اقدامات لازم را مبذول دارند.

برای برآورد و پیش‌بینی آماره‌های رطوبت نسبی اراک از مدل ریزمقیاس‌نمای آماری SDSM استفاده شد. بیشتر پژوهشگران از این مدل برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی دما و بارش استفاده نموده‌اند، در این نوشتار مشخص شد که مدل SDSM قدرت برآورد و پیش‌بینی رطوبت نسبی را دارد. طبق دو سناریوی A2 و B2 رطوبت نسبی اراک در آینده روندی کاهشی خواهد داشت.

ساعت ۱۲/۵ در هیچ یک از فصل‌ها تغییر معنی‌داری نداشته است. در ساعت ۱۵/۵ رطوبت نسبی فقط در فصل پائیز تغییر معنی‌دار داشته که از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ روندی افزایشی را نشان می‌دهد. تغییرات رطوبت نسبی ساعت ۱۸/۵ در همه فصل‌ها بجز زمستان معنی‌دار است، در فصل پائیز از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ روندی افزایشی دارد و در فصل‌های بهار و تابستان از سال ۱۹۹۰ به بعد روندی کاهشی نشان می‌دهد. بطور کلی رطوبت سالانه ایستگاه اراک از سال ۱۹۶۱ تا سال ۱۹۹۰ با فراز و نشیب‌های افزایشی و از سال ۱۹۹۱ تا سال ۲۰۱۷ روندی کاهشی داشته است، علت اصلی تغییرات رطوبت نسبی به تغییرات دمای شهر اراک مربوط می‌شود، طبق بررسی عساکره و شاه‌منصوری (۱۳۹۵)، همه متغیرهای دمایی شهر اراک در تمام فصول بجز فصل پائیز در طی دو دهه اخیر روندی افزایشی داشته‌اند. طبق همین بررسی کمینه دمای همه فصول روندی افزایشی را نشان می‌دهند، و یا به عبارتی شب

### ملاحظات اخلاقی

**حامی مالی:** این پژوهش هیچ کمک مالی از سازمان‌های تأمین مالی دریافت نکرده است.  
**تعارض منافع:** طبق اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.  
**برگرفته از پایان‌نامه/رساله:** این مقاله برگرفته از پایان‌نامه/رساله نبوده است.

## منابع

- عباسی، ف؛ ملبوسی، ش؛ حبیبی نوخندن، م؛ اثمیری، م؛ (۱۳۸۹). ارزیابی تغییر اقلیم زاگرس در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با استفاده مدل ریز مقیاس نمایی داده های مدل گردش عمومی جو. نشریه پژوهش های اقلیم شناسی، سال اول، شماره های اول و دوم. صص ۲۰-۴
- عزیززی، ق؛ روشنی، م (۱۳۸۷). مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من-کندال، مجله پژوهش های جغرافیایی. شماره ۶۴. (صص ۲۸-۱۳).
- عساکره، ح؛ (۱۳۹۰). مبانی اقلیم شناسی آماری، چاپ اول، انتشارات دانشگاه زنجان، زنجان
- علیجانی، ب؛ محمودی، پ؛ سلیقه، م؛ ریگی چاهی، ا؛ (۱۳۹۰) بررسی تغییرات کمینه ها و بیشینه های سالانه دما در ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۶، شماره سوم، شماره پیاپی ۱۰۲، صص ۱۲۲-۱۰۱.
- فلاح قالهری، غ، (۱۳۹۳) ریزمقیاس نمایی آماری داده های اقلیمی، چاپ اول، انتشارات سخن گستر، مشهد
- آبکار، ع؛ حبیب نژاد، م؛ سلیمانی، ک؛ نقوی، ه (۱۳۹۲). بررسی میزان کارایی مدل SDSM در شبیه سازی شاخص های دمایی مناطق خشک و نیمه خشک؛ فصلنامه علمی، پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال چهارم، شماره ۱۴، صص ۱۴-۱.
- امیدوار، ک؛ خسروی، ی؛ (۱۳۸۹) بررسی برخی عناصر اقلیمی در سواحل شمالی خلیج فارس با استفاده از آزمون کندال؛ مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۱، شماره پیاپی ۳۸، شماره ۲، صص ۳۳-۴۶.
- رضایی، م؛ نهتانی، م؛ مقدم نیا، ع. (۱۳۹۳) بررسی کارایی مدل ریزمقیاس آماری SDSM در پیش بینی پارامترهای دمایی دو اقلیم خشک و نیمه خشک. پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز؛ شماره ۱۰، صص ۱۳۱-۱۱۷.
- سبزی پرور، ع؛ سیف، ز؛ قیامی، ف؛ (۱۳۹۲) تحلیل روند دما در برخی از ایستگاههای مناطق خشک و نیمه خشک کشور؛ جغرافیا و توسعه؛ شماره ۳۰، صص ۱۳۸-۱۱۷.

- قرمز چشمه، ب؛ رسولی، ع؛ رضای بنفشه، م؛ مساح بوانی، ع؛ خورشید دوست، ع. (۱۳۹۳) بررسی اثر عوامل مورفواقلیمی بر دقت مدل ریزمقیاس گردانی (SDSM)؛ نشریه علمی - پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۶، شماره ۲، ص ۱۵۵-۱۶۴.
- مدرسی، ف؛ عراقی نژاد، ش؛ ابراهیمی، ک؛ خلقی، م؛ (۱۳۸۹) بررسی منطقه ای پدیده تغییر اقلیم با استفاده از آزمون های آماری در حوضه آبریز گرگانرود- قره سو. نشر آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۳، ص. ۴۸۹-۴۷۶.
- مسعودیان، س.ا. (۱۳۸۳)؛ بررسی روند دمای ایران در نیم سده ی گذشته؛ مجله جغرافیا و توسعه؛ بهار و تابستان؛ ص ۸۹-۱۰۶.
- معصومی، ش. (۱۳۹۱) سالنامه آماری استان مرکزی ۱۳۹۰، استانداری استان مرکزی، اراک، صص. ۶۹-۲۷۶.
- منتظری، م؛ (۱۳۹۳) واکاوی زمانی مکانی دماهای سالانه ی ایران طی دوره ی ۲۰۰۸-۱۹۶۱؛ جغرافیا و توسعه، شماره ۳۶؛ ص ۲۲۸-۲۰۹.
- میرموسوی، س.ح. صبور، ل؛ (۱۳۹۳). مطالعه روند بارش برف در شمال غرب ایران. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی؛ سال ۲۵، شماره ۳، صص ۱۳۶-۱۱۹.
- نتر، ج؛ واسرمن، و؛ ترجمه، عمیدی، ع. (۱۳۷۴)؛ آمار کاربردی، جلد دوم، تهران، مرکز نشر دانشگاهی.
- نجاتی، ر، اشرافی، ح. (۱۳۹۳) آمار کاربردی به زبان ساده (ویراست SPSS۲۲)؛ چاپ اول؛ دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، تهران
- یارنال، ب؛ برگردان مسعودیان، س. (۱۳۹۰) اقلیم شناسی همدید و کاربرد آن در مطالعات محیطی؛ چاپ دوم، انتشارات دانشگاه اصفهان، اصفهان.
- Abassi, F., Malbusi, S., Habibi Nokhandan, M., Asmari, M., (2010), Climate Change Assessment over Zagros during 2010-2039 by Using Statistical Downscaling of ECHO- G Model, Climatological Research Institute, No.1, pp.4-20.
- Abkar, A ., Habibnajad, M., Solaimani, K., Naghavi, H., (2013), Investigation efficiency SDSM model to simulate temperture indexes in arid and semi-arid regions,

- Geography Research Quarterly, Vol.47,No.2, P.213-239.
- Ding N, Berry HL, Bennett CM (2016) The Importance of Humidity in the Relationship between Heat and Population Mental Health: Evidence from Australia. PLoS ONE 11(10): e0164190. doi:10.1371/journal.pone.0164190
  - Fallah-Ghalhari, G.A., (2014), Statistical downscaling of climatic, sokhangostar, mashhad.
  - Fanaiy R, Ataiy H, (2014). Identification of changes in maximum relative humidity of Isfahan province during the last half century using Mann-Kendall test, Journal of Applied researches in Geographical Sciences, No 24.
  - Fiseha B. M., Melesse A.M., Romano E, Volpi E. and Fiori A. (2012) Statistical Downscaling of Precipitation and Temperature for the Upper Tiber Basin in Central Italy. Irrigation & Water Engineering, No.14, pp.1-14.
  - Alijani, B., Mahmoudi, P., Salighe, M., Rigichahi, A., (2011), Study of annual maximum and minimum temperatures changes in Iran, Geography Research Quarterly, No. 102, PP. 101-122.
  - Azizi, G., Roushani, M., (2010), Investigation of Change of Some Climatic Elements in North Coast of Persian Gulf Using Kendal Test, Geography Research Quarterly, No.64, pp.13-28.
  - Asakereh, H., (2011), Fundamentals of Statistical Climatology, Zanjan University.
  - Asakereh, H. Shahmansori, B.; 2016, Investigation and prediction of the temperature changes of Arak station based on statistical downscaling model, Physical Geography Research Quarterly, Vol. 48, No. 2, p.193-212.
  - Darand, M. (2015), Analysis of Spatio-Temporal Variation of Atmospheric Humidity in Iran during 1979-2013, Physical

- Engineering and Management, Vol.6, No 2, pp. 155-164.
- IPCC,2014, Climate Change 2014, Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part A: Global and Sectoral Aspects, Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Edited by, Christopher B. Field, Vicente R. Barros, David Jon Dokken, Katharine J. Mach, Michael D. Mastrandrea,pp.544-563
  - IPCC,2007, Climate Change 2007 The Physical Science Basis, Susan Solomon, Martin Manning, Melinda Marquis, Kristen Averyt, Melinda M.B. Tignor, Henry LeRoy Miller, Jr, Zhenlin Chen,pp,536
  - Koukidis, E.N., Berg, A.A., (2009), Sensitivity of the Statistical DownScaling Model (SDSM) to Reanalysis Products. *ATMOSPHERE-OCEAN* 47 (2009), 1–18
  - Lee Titus, M., Sheng, J., Greatbatch, R., Folkens, I., (2013) Improving International Journal Water Sciences; Vol. 1, 3, PP.1-14
  - Gharekhani A , Ghahreman N, (2010), Seasonal and Annual Trend of Relative Humidity and Dew Point Temperature in Several Climatic Regions of Iran, *Journal of Water and Soil* Vol. 24, No. 4, p. 636-646.
  - Holmer , B & Eliasson ,I ,(1999), Urban-Rural vapour pressure differences and their role in the development of Urban heat islands ,*International journal of Climatology* , Int. J. Climatol. 19: 989–1009
  - Gagnon, S.; Singh, B.; Rousselle, J. and Roy, L. (2005). An Application of the Statistical DownScaling Model (SDSM) to Simulate Climatic Data for Streamflow Modelling in Québec, *Canadian Water Resources Journal*, 30(4): 297–314 .
  - Ghermezcheshmeh, B., Rasuli, A.A., Rezaei-Banafsheh, M., Massah, A.R., Khorshiddust, M.A., (2014), Investigation Impact of Morpho-Climatic Parameters on Accuracy Of SDSM, *Journal of Watershed*

- Simple (spss 22), Shahid Rajaei Teacher Training University.
- Neter, J., Wasserman, W., Whitmore, G. A., Applied Statistics (1993), Translate, Amidi, A., Iran University Publishers.
  - Mark, P., McCarthy, P., Thorne, W. and Titchner, H. A. (2009). "An Analysis of Tropospheric Humidity Trends from Radiosondes". J. Climate. No. 22. pp. 5820-5838
  - Omidvar, K., Khosravi, Y., (2014), Investigation of Change of Some Climatic Elements in North Coast of Persian Gulf Using Kendal Test, Quarterly Geography And Environmental Planning, Volume 28, NO. 2, PP.33-46.
  - Rezaei, M., Nohtani, M., Abkar, A., Rezaei, M., Rigi, M., (2014), Performance Evaluation of Statistical Downscaling Model (SDSM) in Forecasting Temperature Indexes in Two Arid and Hyper Arid Regions (Case Study: Kerman and Bam), Journal Statistical Downscaling of General Circulation Models. ATMOSPHERE-OCEAN iFirst article, pp. 1-13.
  - Liu, Z., Xu, Z., Charles, S. P., Fub, G., and Liu, L., (2012) Evaluation of two statistical downscaling models for daily precipitation over an arid basin in China. International Journal of Climatology Int. J. Climatol. 31, PP, 2006-2020
  - Mahmood, R., Babel, S. M., (2014). Future changes in extreme temperature events using the statistical downscaling model (SDSM) in the trans-boundary region of the Jhelum river basin. Weather and Climate Extremes, NO. 5-6, PP.56-66.
  - Masomi, S., (2012), Statistical yearbook of central province, central province governor, Arak.
  - Masoudian, S. A., (2004), Temperature Trend In Iran The Last Half Century, Geography And Development, Vol, 2 No, 3, PP.89-106.
  - Nejati, R., Ashrafi, H. R., (2014), Statistics Made

thermal comfort, Building and Environment 124, No 171-185.

of Watershed Management Research Vol. 5, No. 10, PP.117-131.

- Sabziparvar, A., Seif, Z., Ghiami, F., (2012). Analysis of Temperature changes Trend in Arid and Semi-arid Regions, Geography And Development, No, 30, PP.117-138.
- Wang, J.X.L. and Gaffen, D.J. (2001). "Late-twentieth-century climatology and trends of surface humidity and temperature in China". J. Climate. No. 14. pp. 2833–2845
- Tryhorn, L., DeGaetano, A., (2011). A comparison of techniques for downscaling extreme precipitation over the Northeastern United States. International journal of Climatology; Int. J. Climatol. 31: 1975–1989.
- Yarnal, B., (1993), Synoptic Climatology in Environmental Analysis , Translate , Masoudian, S.A., Esfahan University.
- Vellei, M. Herrera, D. Fosas, S. Natarajan, (2017), The influence of relative humidity on adaptive