

## Evaluation of the trend of temperature changes and cloud water fraction in Iran using time series data from SEVIRI sensor products

Hashem Rostamzadeh<sup>1\*</sup> , Ali Mohammad Khorshiddoust<sup>2</sup> , Mohammad Reza Azizzadeh<sup>3</sup> 

1. Corresponding Author, Assistant Professor of Climatology, University of Tabriz, Iran.

2. Professor of Climatology, University of Tabriz, Iran.

3. Phd Student of Climatology, University of Tabriz, Iran.

---

### Article Info

### ABSTRACT

#### Article type:

Research Article

#### Article history:

Received: 13 October 2020

Revised: 14 September 2021

Accepted: 10 October 2021

#### Keywords:

Cloud temperature,

Cloud water fraction,

SEVIRI sensor,

Non-parametric test,

Iran.

The purpose of this study is to investigate the trend of temporal and spatial changes in cloud temperature and cloud water fraction in Iran. To achieve this goal, MSG SEVIRI satellite products have been used for the period 2004 to 2017. First, the studied data was set in a regular geographical network with dimensions of 290×380. Then the cloud properties were extracted separately for each month and finally, the time changes of the cloud properties were modeled. To accurately assess the changes in variables, Iran was spatially defined into four separate regions. Based on statistical methods, the trend of time changes was examined through the Mann-Kendall test and Sen's Slope to reveal the existence of a trend. The results of calculations of indicators showed that water fraction and cloud temperature in Iran, except in May and September, was upward. The highest significant value in the cloud water fraction variable can be seen in June in southern Iran and the lowest in May. Percentage study of the trend showed that the highest significant amount of cloud temperature in June in southern Iran was the lowest in the month. According to the calculations, the lowest amount of cloud water fraction in Iran is located to the north of the country with 25% and the highest amount is located to the west of Iran with 41.6%. Also, concerning high cloud temperatures, southern Iran with 58.3% has the highest amount, and eastern Iran with 25% upward data. The maximum significant percentage of series in the cloud temperature trend in western Iran was 70.83% and the minimum in the south was 45.83%.

---

**Cite this article:** Rostamzadeh, H., Khorshiddoust, A., Azizzadeh, M. (2022). Evaluation of the trend of temperature changes and cloud water fraction in Iran using time series data from SEVIRI sensor products. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 11(31), 123-136. DOI: 10.22111/jneh.2021.36107.1711



© The Author(s).

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/jneh.2021.36107.1711

---

\* Corresponding Author Email: [h\\_rostamzadeh@tabrizu.ac.ir](mailto:h_rostamzadeh@tabrizu.ac.ir)



مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره یازدهم، شماره ۳۱، بهار ۱۴۰۱

## ارزیابی روند تغییرهای دما و کسر آب ابر در ایران با استفاده از داده‌های سری زمانی محصولات سنجنده SEVIRI

هاشم رستم‌زاده<sup>۱\*</sup>، علی محمد خورشید دوست<sup>۲</sup>، محمدرضا عزیززاده<sup>۳</sup>

۱. استادیار، گروه آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز (نویسنده مسئول)

۲. استاد، گروه آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز

۳. دانشجوی دکتری، گروه آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف از این مطالعه بررسی روند تغییرهای زمانی و مکانی دمای ابر و کسر آب ابر در ایران می‌باشد. جهت دستیابی به این هدف، از محصولات سنجنده SEVIRI ماهواره MSG برای دوره زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۷ استفاده شده است. ابتدا داده‌های مورد مطالعه در یک شبکه منظم جغرافیایی در ابعاد ۲۹۰×۳۸۰ تنظیم گردید. سپس خصوصیت‌های ابر برای هر ماه به‌طور جداگانه استخراج و در نهایت تغییرهای زمانی آن مدل‌سازی شد. به‌منظور ارزیابی دقیق تغییرهای متغیرها، ایران از نظر مکانی به چهار ناحیه جداگانه تفکیک شد. بر اساس روش‌های آماری، روند تغییرهای زمانی، از طریق آزمون من-کندال و شاخص سن باهدف آشکارسازی وجود روند مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از محاسبات شاخص‌ها نشانگر آن بود که کسر آب و دمای ابر در ایران به‌غیر از ماه‌های می و سپتامبر به‌صورت صعودی بوده است. بیشترین مقدار معنی‌داری در متغیر کسر آب ابر، در ماه ژوئن در جنوب ایران و حداقل آن در ماه می قابل‌مشاهده می‌باشد. بررسی درصدی روند نشان داد که حداکثر مقدار معنی‌داری دمای ابر، در ماه ژوئن در جنوب ایران و حداقل آن در ماه می بوده است. مطابق محاسبات انجام‌شده، کمترین مقدار کسر آب ابر در ایران به شمال (۲۵ درصد) و بیشترین آن به غرب ایران (۴۱/۶ درصد) اختصاص داده شده است. همچنین در ارتباط با دمای بالای ابر، جنوب ایران با ۵۸/۳ درصد بیشترین مقدار و شرق ایران با ۲۵ درصد، صعودی بودن داده‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. حداکثر درصد معنی‌داری وجود سری در روند دمای ابر، در غرب ایران (۷۰/۸۳٪) و حداقل آن در جنوب (۴۵/۸۳٪) بوده است.
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۲	
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۳	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۸	
واژه‌های کلیدی: دمای ابر، کسر آب ابر، سنجنده SEVIRI، آزمون غیرپارامتری، ایران.	

استناد: رستم‌زاده، هاشم، خورشید دوست، علی محمد، عزیززاده، محمدرضا. (۱۴۰۱). ارزیابی روند تغییرات دما و کسر آب ابر در ایران با استفاده از داده‌های سری زمانی محصولات سنجنده SEVIRI. مخاطرات محیط طبیعی، ۳۱(۱۱)، ۱۳۶-۱۲۳.

DOI: 10.22111/jneh.2021.36107.1711



© هاشم رستم‌زاده، علی محمد خورشید دوست، محمدرضا عزیززاده.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

## مقدمه

ابرها حدود ۷۰٪ سطح اتمسفر را دربر می‌گیرند و نقش مهمی در چرخه انرژی و آب سیاره زمین دارند و به‌طور مداوم تأثیر مستقیمی بر تغییرهای آب‌وهوا نشان داده‌اند (استوبنراوچ و همکاران، ۲۰۱۳). ابر یک پدیده آب‌وهوایی ویژه است که در اثر تغییرهای دینامیکی و ترمودینامیکی گردش عمومی جو ایجاد می‌شود و از طریق «جذب»، سیستم تابش انرژی زمین را تغییر داده و با تولید بارندگی به اشکال مختلف، بر چرخه هیدرولوژیکی زمین تأثیر می‌گذارد (شروود و همکاران، ۲۰۱۳). ابر را می‌توان به‌عنوان یکی از متغیرترین عنصر اتمسفر در نظر گرفت که این تغییرها ناشی از عوامل مختلفی است و موجب می‌شود تا در مناطق مختلف، نحوه تراکم و همچنین ترکیبات آن‌ها متفاوت باشد (روسو و همکاران، ۱۹۸۵). بنابراین درک خصوصیت‌های فیزیکی ابرها، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (هولز و همکاران، ۲۰۱۶). به این دلیل که ویژگی‌های یادشده با تغییرهای اقلیمی کوتاه‌مدت و بلندمدت در مناطق مختلف زمین ارتباط تنگاتنگی دارند. براین اساس، پایش ابرها و اطلاع از خصوصیت‌های آن در مکان‌ها و زمان‌های مختلف، در مسائلی همچون تغییرهای اتمسفری و نقش آن در تغییرهایی مانند گرم‌شدن کره زمین مهم و حیاتی هست (وترالد و منابه، ۱۹۸۸). علاوه بر این، خصوصیت‌های فیزیکی ابر در حد کلان (درصد ابر پوش، ارتفاع ابر) و در حد خرد (مسیر آب مایع ابر، شعاع قطرات مؤثر، دمای ابر، ضخامت عمق نوری و فاز ابر) از جمله عوامل کلیدی هستند که بیلان تابش و چرخه هیدرولوژی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (مینیس و اسمیت، ۲۰۰۱). بنابراین یکی از مهم‌ترین مسائل حال حاضر در زمینه آب‌وهوا، تغییرهای زمانی و مکانی خصوصیت‌های ابر هست. مطالعه تغییرهای خصوصیت‌های ابر از آن نظر حائز اهمیت است که ابرها در رأس چرخه هیدرولوژی قرار دارند و هرگونه تغییرهای آن‌ها منجر به تغییرهای پارامترهای دیگر آب‌وهوایی خواهد شد. درعین حال بررسی خصوصیت‌های ابر در مواردی از جمله حمل‌ونقل هوایی نقش اساسی ایفا می‌کند. مطالعاتی در خصوص تغییرهای زمانی و مکانی پوشش ابر در ایران انجام شده است که می‌توان به پژوهش (حاتمی و موحدی، ۱۳۹۷) اشاره کرد. نتایج نشانگر آن هست که علی‌رغم افزایش پوشش ابر در ایران (۲ درصد در قرن)، تغییرها در مقیاس فصلی و همچنین از نظر توزیع مکانی، یکنواخت نبوده است. بنا بر آنچه در بالا یاد شد، مطالعه تغییرهای زمانی و مکانی خصوصیت‌های ابر همچنان موردتوجه پژوهشگران قرار گرفته است.

ژانویاک و آرکین (۱۹۹۱) به تخمین نرخ بارندگی در جنوب خط استوا پرداخته‌اند. باتوجه به‌اینکه در دوره زمانی مورد مطالعه هیچ نوع اندازه‌گیری مستقیم از حوزه در مقیاس بزرگ در دسترس نبوده است، از این‌رو، جهت برآورد بارندگی از داده‌های دمای بالای ابر استفاده کرده‌اند. (زنگ، ۱۹۹۹) بارش ماهانه را با دمای ابر حاصل از تصاویر GOES بررسی کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد تخمین‌های دقیق بارش نسبت به دما با استفاده از دمای ابر قابل حصول هست. (ژیرود و همکاران، ۲۰۰۱) به بررسی تعیین دقیق فاز ابر با استفاده از خصوصیت‌های ابر پرداخته‌اند. در این مطالعه به تأثیر دمای بالای ابر در تعیین فاز ابر پرداخته شده است. دمای ۲۴۰ الی ۲۶۰ درجه محدوده بین فاز یخ و آب در نظر گرفته شده است. (بودالا و همکاران، ۲۰۰۴) کسری آب مایع ابر را با استفاده از داده‌های هواپیما بررسی کرده‌اند. نتایج نشانگر آن است که کسر آب مایع در ارتباط با دمای ابر افزایش یافته است. درعین حال میانگین کسر آب به مقدار کل بخار آب نیز بستگی داشته است. (هو و همکاران، ۲۰۱۰) با استفاده از تصاویر مودیس به بررسی

محتوی آب مایع پرداخته‌اند. برای ابرهایی که دمای آن بین ۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد بوده، کسری فاز مایع و مسیره‌های آب مایع به‌طور قابل‌توجهی افزایش داشته است.

هاروپ و هارتمن (۲۰۱۲) دمای بالای ابر را با SST و بخار آب اتمسفر موردارزیابی قرار داده‌اند. نتایج کار پژوهشی آن‌ها نشان می‌دهد که افزایش بخار آب استراتوسفر باعث افزایش دمای ابر می‌شود. همچنین نشان دادند که تغییر در گرمای نهان تبخیر باعث کاهش کسری آب ابر در ارتفاعات می‌شود. (وانگ و همکاران، ۲۰۱۴) دمای بالای ابر (CTT) را به‌عنوان یک پارامتر مهم برای ابرهای همرفتی معرفی کرده و الگوریتمی را جهت تخمین آن با استفاده از اندازه‌گیری هم‌زمان با MODIS و CloudSat ارائه کرده‌اند. (استرونین و ژیوگوتوف، ۲۰۱۴) کارکرد قطر آب مایع را در ارتباط با تهدید یخ‌زدگی هواپیما شبیه‌سازی کرده‌اند. در این برآورد ضریب تأثیر محتوای آب در دمای ابر تعیین شده است. (یین و همکاران، ۲۰۱۴) به بررسی ارتباط بین تراکم ابر و محتوی آب مایع پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که محتوای آب مایع در ابرهای متراکم نسبتاً بالاست. (قاسمی فر و همکاران، ۲۰۱۸) در پژوهشی به تغییرهای مکانی و زمانی کسر آب در ایران پرداخته‌اند. نتایج نشان داده که حداکثر و حداقل میانگین ماهانه کسری آب ابر به ترتیب مربوط به دسامبر تا فوریه و ژوئن-ژوئیه-سپتامبر است. بر اساس یافته‌های این پژوهش، مقدار متوسط کسر آب ابر در ایران بیش از ۴۳ درصد می‌باشد. متغیرهای عرض جغرافیایی، ارتفاع و پوشش گیاهی را از عوامل اصلی در پراکنش کسر آب ابر در ایران قلمداد کرده‌اند. (تیلور و همکاران، ۲۰۱۷) با استفاده از داده‌های SEVIRI چرخه روزانه دمای بالای ابر را بررسی کرده‌اند. اعتبارسنجی این داده‌ها با نسخه‌های قبلی در تجزیه و تحلیل توزیع مکانی و زمانی نشان از تفاوت شب و روز داده‌ها دارد. (احمدی و همکاران، ۲۰۱۸) به بررسی تغییرهای زمانی و مکانی پوشش ابر و ضخامت عمق نوری ابر در ایران پرداخته‌اند. نتایج نشان داده که بالاترین مقادیر پوشش ابر در ایران در فصل زمستان رخ داده است. همچنین بر اساس یافته‌های آن‌ها، حداکثر ضخامت نوری ابر نیز در فصل زمستان و کمترین آن در فصل گرم سال بوده است. دو عامل اصلی ارتفاع و دسترسی به رطوبت را در توزیع این دو متغیر مهم و اساسی قلمداد کرده‌اند. (هوانگ و همکاران، ۲۰۱۹) به بررسی ارتفاع بالای ابر و دمای ابر با استفاده از داده‌های Himawari-8 و مقایسه آن با مشاهدات رادار پرداخته‌اند. (لیما و همکاران، ۲۰۱۹) الگوریتمی را برای تشخیص ابرها و بازیابی CTT از ماهواره زمینی INSAT-3D توسعه داده‌اند. نتایج اعتبارسنجی آن‌ها با تصاویر ماهواره‌های مشابه، قابلیت اطمینان محصول بازیابی‌شده برای مطالعات آب‌وهوا را نشان می‌دهد. (کومار و سوزوکی، ۲۰۱۹) خصوصیت‌های فیزیکی ابر در امارات متحده عربی با استفاده از داده‌های ماهواره متئوست ۸ را بررسی کرده‌اند. نتایج نشانگر آن است که در فصل زمستان (فوریه-مارس) و تابستان (ژوئن-آگوست) ابرها با توزیع مکانی مشخص در مناطق خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌شود. همچنین ارزیابی ابرهای مایع و یخبندان نیز حاکی از آن است که درصد ابرهای گرم در مناطق کوهستانی بیشتر هست. (رستم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸) با بررسی نقش خصوصیت‌های ابر در بارش محتمل، نشان دادند که نوع ابر در بین خصوصیت‌های آن، بیشترین تأثیر را در بارش محتمل داشته است.

لو و همکاران (۲۰۲۰) طبقه‌بندی رژیم بارش، با استفاده از سری داده‌های ماهواره‌ای مبتنی بر دمای ابر، مطالعه‌ای را انجام داده‌اند. رژیم بارش در این مطالعه بر اساس توزیع زمانی مشخص در مقیاس کوچک و تغییر بارش در یک مکان معین تعریف شده است. (احمدی و همکاران، ۲۰۲۰) به تفکیک ساعتی ابرهای یخی و مایع در ایران پرداخته‌اند. در



از آزمون ناپارامتری من-کندال جهت آزمون معنی‌داری روند و آشکارسازی در سری‌های زمانی استفاده می‌شود. آماره من-کندال بیشتر در علوم محیطی کاربرد دارد؛ زیرا آزمون‌های ساده و محکمی هستند و می‌توانند مقادیر پایین‌تر از حد مشخص را کنترل کنند.

آزمون ناپارامتری من-کندال ابتدا توسط (مان، ۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط (کندال، ۱۹۷۵) بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی بسط و توسعه یافت. فرض صفر آزمون من-کندال بر تصادفی بودن و نبودن سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌هاست.

مراحل محاسبه آزمون آماری من-کندال بر اساس آماره  $S$  به‌صورت زیر است: (رسولی و همکاران، ۱۳۹۱).

الف) محاسبه اختلاف بین تک‌تک مشاهدات با همدیگر و اعمال تابع علامت  $sgn$  function و استخراج پارامتر  $s$  به شرح رابطه (۱)

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

در رابطه (۱) نماد  $n$  تعداد مشاهدات سری‌های زمانی  $x_j, x_i$  به‌ترتیب داده‌های  $i$ ام و  $j$ ام سری است. به‌طوری‌که،  $sgn(x_i - x_j)$  برای  $(x_i - x_j) < 0$  برابر  $+1$ ؛ برای  $(x_i - x_j) = 0$  برابر  $0$  و برای  $(x_i - x_j) > 0$  برابر  $-1$  هست.

$$sgn(X_i - X_j) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_i - x_j) < 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_i - x_j) > 0 \end{cases} \quad (2)$$

ب) میانگین  $E[S]$  آماره  $S$  به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$E[S] = 0 \quad (3)$$

ج) واریانس  $V(S)$  بر اساس یکی از روابط (۳) و (۲) و بر اساس تعداد  $n$  یا مشاهدات سری‌ها مشاهده می‌شود. اگر  $n$  کوچک‌تر از ۱۰ باشد، در این صورت:

$$Var[S] = (n(n-1)(2n+1))/18 \quad (4)$$

و اگر  $n$  بزرگ‌تر از ۱۰ باشد بر اساس رابطه (۵):

$$Var[S] = (n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q tp(tp-1)(2tp+5))/18 \quad (5)$$

که در آن  $tp$  تعداد گره‌ها برای ارزش  $p$ ام که داده مشابه دارند و  $q$  تعداد گره‌هایی که داده مشابه ندارند.

د) به کمک یکی از معادلات بیان‌شده در رابطه (۶) آزمون آماره استانداردشده  $Z$  محاسبه می‌شود:

$$Z_{mk} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(s)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(s)}}, & S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

براین اساس، در یک آزمون دو دامنه جهت روند یابی سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه (۷) برقرار باشد:

$$|Z| \leq \frac{Za}{2} \quad (۷)$$

در صورتی که آماره  $Z$  مثبت باشد روند صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود. جهت تعیین معنی‌دار بودن شیب نهایی از آزمون سن استفاده شده است. محاسبه بین شیب هر جفت داده در سری توسط رابطه (۸) به دست می‌آید:

$$Q = \frac{X_i - X_j}{i - j} \quad (۸)$$

که در آن  $X_i$  داده مشاهده‌ای در زمان  $i$ ،  $X_j$  داده مشاهده‌ای در زمان  $j$  و  $i$  و  $j$  یک واحد زمانی بعد از زمان  $i$  هست.

$$C_a = Z_1 - a/2\sqrt{\text{Var}(s)} \quad (۹)$$

$Z$  عبارت است از آماره توزیع نرمال استاندارد که در یک آزمون دو دامنه، بسته به سطح اطمینان مورد آزمون می‌تواند مقادیر متفاوتی به خود داشته باشد. این آماره برای سطح اطمینان ۹۵٪ برابر با  $Z = 1.96$  و در سطح اطمینان ۹۹٪ برابر با  $Z = 2.58$  در نظر گرفته می‌شود.

$$\begin{cases} M1 = \frac{N - Ca}{2} \\ M2 = \frac{N + Ca}{2} \end{cases} \quad (۱۰)$$

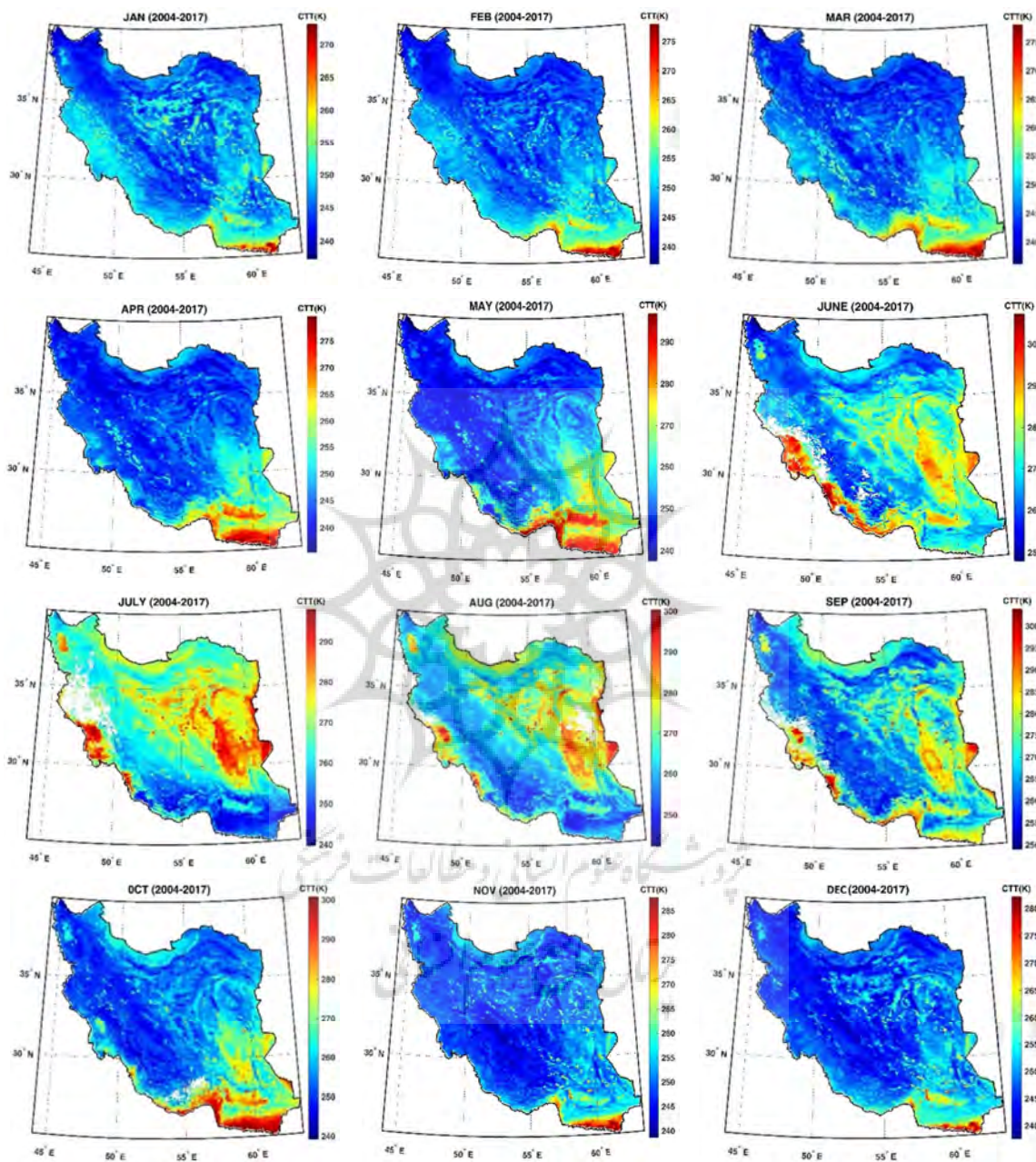
بنابراین  $M1$  امین و  $(M2 + 1)$  امین شیب‌ها را از بین شیب‌های محاسبه شده استخراج می‌نماید. در صورتی که عدد صفر در دامنه بین دو شیب استخراج شده بالا قرار گیرد، فرض صفر پذیرفته شده و عدم وجود روند در سری داده‌ها تأیید می‌گردد. در غیراین صورت فرض صفر رد شده و وجود روند در سطح اطمینان مورد آزمون پذیرفته می‌شود.

## نتایج و بحث

### الف) بررسی خصوصیت‌های دمای ابر و کسر آب ابر در ایران

به منظور بررسی توزیع زمانی و مکانی تغییرهای خصوصیت‌های ابر و توصیف ویژگی‌های کلی آن، نقشه‌های ماهانه دمای ابر و کسر آب ابر ترسیم گردید (شکل ۱ و ۲). باتوجه به نقشه‌ها، توزیع زمانی و مکانی خصوصیت‌های ابر به صورت یکنواخت نبوده است. مقادیر دمای ابر در فصل گرم در کل کشور نسبت به فصل سرد از یکنواختی بیشتری برخوردار است. دمای ابر در ماه‌های سرد در جنوب و به‌ویژه جنوب شرق ایران مقادیر بیشتری را نسبت به سایر نقاط دارد. تأثیر نفوذ توده‌های هوای سرد از غرب و شمال ایران در فصل سرد در دمای ابر کاملاً مشهود هست. بالاترین مقادیر دمای ابر در تیرماه در بخشی از شرق و جنوب غرب ایران به ثبت رسیده است. در فصل گرم، ایران مرکزی به دلیل شرایط موقعیت جغرافیایی خاص از مقادیر دمای ابر بیشتری برخوردار است. همچنین تأثیر شرایط توپوگرافی در توزیع دمای ابر در ایران آشکارا به چشم می‌خورد.



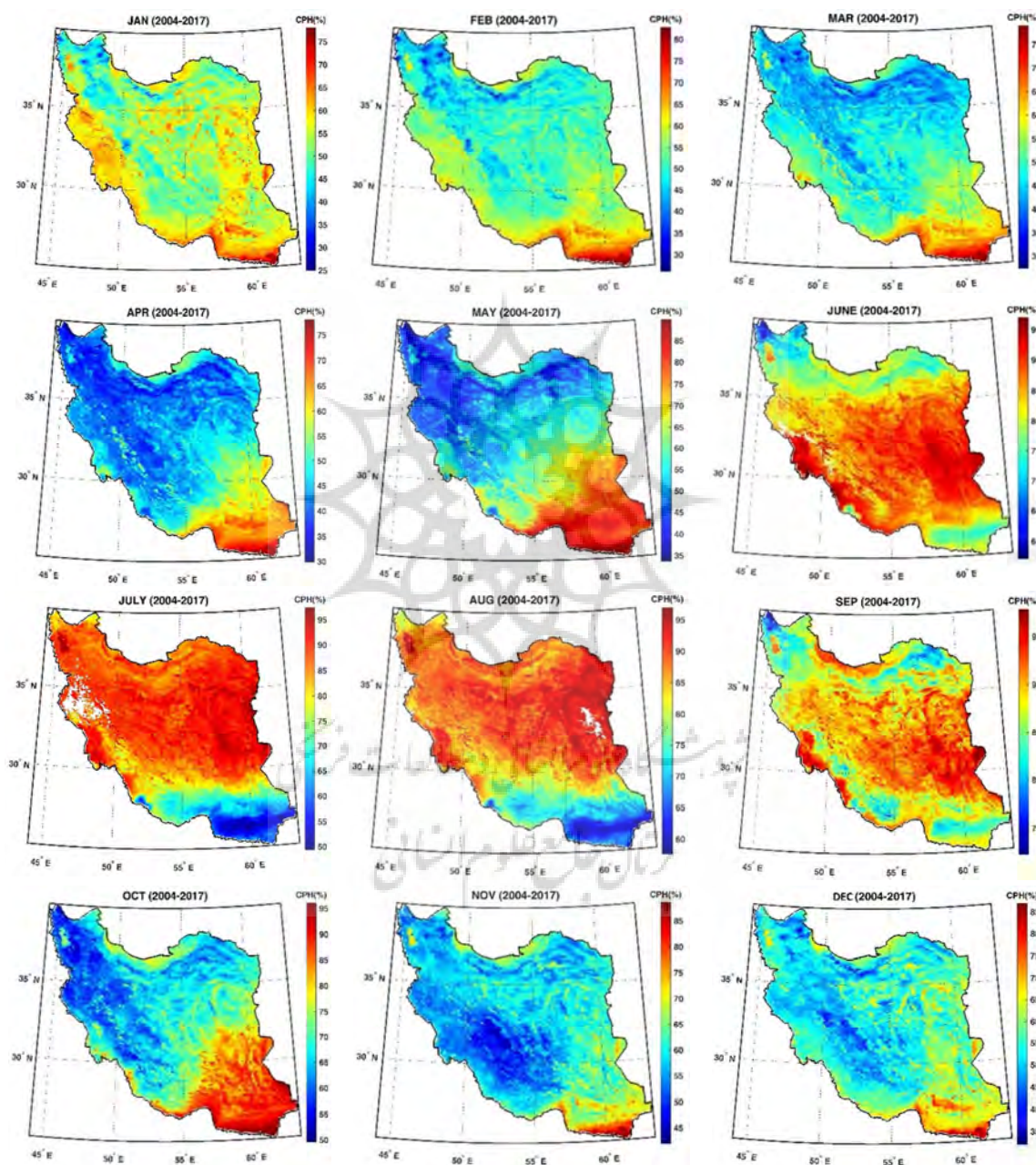


شکل ۱: دمای ابر در ایران

توزیع زمانی و مکانی کسر آب ابر در ایران که نشانگر وجود بخار آب در اتمسفر می‌باشد، بیانگر آن است که از توزیع یکنواخت برخوردار نبوده است. به طوری که از نظر زمانی حداکثر آن در فصل گرم، از نظر مکانی نیز حداکثر آن در نواحی مرکزی ایران قابل مشاهده است. در فصل سرد سال کسر آب در نواحی جنوب ایران کاملاً مشهود هست. نکته



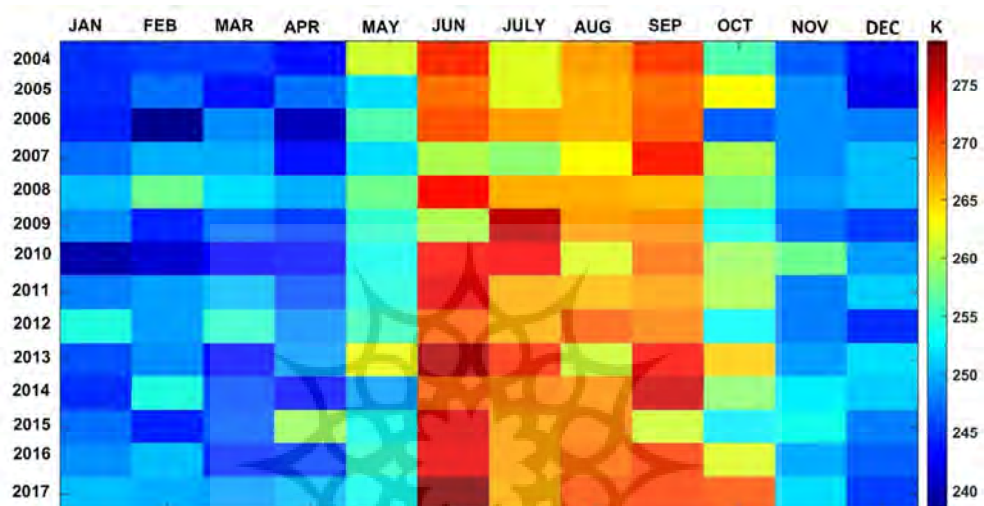
مهم و اساسی بررسی کسر آب ابر، کاهش مقادیر آن در نواحی جنوب شرق ایران است که نشان از ورود توده‌های هوای موسمی در این فصل از سال در آن منطقه می‌باشد. همچنین نقش ارتفاع و مسیرهای ورود توده‌های هوا از جهات مختلف در ایران در توزیع کسر آب ابر کاملاً گویاست.



شکل ۲: کسر آب ابر در ایران

مقادیر توزیع زمانی متغیرهای کسر آب و دمای ابر در شکل (۳ و ۴) نشان داده شده است. بر اساس نتایج، کمترین مقدار دمای ابر در ایران در فصل سرد و بیشترین آن به فصل تابستان (ماه ژوئیه) با مقدار متوسط  $27.0/9$  درجه

اختصاص دارد. دمای ابر در دو گروه (ژوئن تا سپتامبر) و (اکتبر تا آوریل) طبقه‌بندی شده است. توزیع زمانی کسر آب ابر در ایران نیز تا حدودی شبیه توزیع دمای ابر می‌باشد. بدین معنی که حداکثر کسر آب ابر در ماه‌های گرم سال و حداقل آن در فصل سرد بوده است. تشابه توزیع زمانی دو متغیر یادشده نشان از ارتباط نزدیک بین این دو خصوصیت ابر دارد.



شکل ۳: مقادیر ماهانه دمای ابر در ایران (درجه کلوین)



شکل ۴: مقادیر ماهانه کسر آب ابر در ایران (درصد)

#### ب) بررسی روند دمای ابر و کسر آب ابر در ایران

به‌منظور بررسی روند خصوصیت‌های ابر در سری زمانی ماهانه در ایران، آماره‌های دو آزمون ناپارامتری من-کندال و شاخص سن مورد محاسبه قرار گرفت. سپس معنی‌داری نتایج آن‌ها در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد مورد آزمون قرار گرفت. نتایج محاسبات در جدول ۲ ارائه شده است. گفتنی است که به‌منظور بررسی دقیق مسئله، محدوده

مورد مطالعه (ایران) به چهار ناحیه مختلف جغرافیایی (بر اساس طول و عرض) تقسیم‌بندی شد تا مشخص گردد که وجود روندها و همچنین معنی‌دار بودن آن‌ها در کدام قسمت‌های جغرافیایی ایران بیشتر بوده است. بررسی جدول شماره ۲ نشانگر آن است که کسر آب در ایران به‌غیر از ماه‌های می و سپتامبر به‌صورت صعودی بوده است. همچنین دمای ابر نیز با صرف‌نظر از ماه‌های می و سپتامبر وضعیت صعودی داشته‌اند. بر اساس محاسبات، بیشترین مقدار معنی‌داری در متغیر کسر آب ابر، در ماه ژوئن در جنوب ایران با ارزش ۷/۳۱ مثبت و حداقل آن با مقدار ۴/۵۰ منفی قابل مشاهده می‌باشد. همچنین بیشترین مقدار معنی‌داری در متغیر دمای ابر، در ماه ژوئن در جنوب ایران با ارزش ۷/۵۹ مثبت و حداقل آن در ماه می با مقدار ۲/۲۵ منفی بوده است.

جدول ۲: نتایج حاصل از آزمون من-کندال در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد

	کسری آب ابر CPH (Z)				دمای بالای ابر CTT (Z)			
	شمال	جنوب	غرب	شرق	شمال	جنوب	غرب	شرق
ژانویه	۰/۹۳	۱/۷۰	۱/۱۵	۱/۴۷	۰/۹۰	۱/۸۱	۱/۰۴	۱/۹۲
فوریه	**۲/۸۱	۱/۶۹	**۲/۸۱	۱/۶۹	**۳/۶۶	*۱/۹۷	**۳/۶۶	۰/۸۲
مارس	۱/۶۴	-۱/۳۷	**۳/۰۹	-۱/۴۱	**۴/۷۸	-۰/۹۸	۱/۳۷	-۱/۱۳
آوریل	۱/۸۱	۱/۴۸	**۳/۳۸	**۴/۷۸	۱/۹۲	*۲/۲۵	**۵/۰۶	**۴/۲۲
می	*-۱/۹۷	**۰/۴۵	*-۲/۳۵	**۰/۳۰۹	-۰/۱۶	*-۲/۲۵	-۰/۴۱	-۰/۸۲
ژوئن	-۰/۱۶	**۷/۳۱	۱/۴۱	**۳/۳۸	۱/۲۶	**۷/۵۹	**۴/۵۰	*۲/۳۶
ژوئیه	۰/۵۹	**۳/۹۴	۱/۶۹	**۵/۳۴	*۲/۵۳	**۲/۸۱	**۲/۸۱	۰/۷۳
اوت	۰/۴۱	۱/۰۴	-۰/۲۸	۱/۱۴	-۰/۲۸	**۳/۶۶	۰/۸۴	۱/۲۶
سپتامبر	-۰/۳۸	-۰/۲۴	-۱/۴۱	۱/۱۳	۱/۶۹	-۰/۰۸	۰/۱۶	۰/۰۰
اکتبر	۰/۸۲	*۱/۹۷	*۲/۵۳	۱/۶۹	۱/۰۶	*۱/۹۷	**۳/۶۶	*۲/۲۵
نوامبر	-۰/۰۵	۱/۷۰	۰/۱۶	۱/۴۸	۱/۵۹	۱/۹۲	۱/۳۷	۱/۳۸
دسامبر	**۴/۲۲	-۰/۰۰	-۰/۴۹	۱/۴۱	*۲/۵۳	۰/۲۸	۰/۸۲	۰/۴۹

\*\* بیانگر وجود روند در سطح اطمینان ۹۹٪ و \* بیانگر وجود روند در سطح اطمینان ۹۵٪

جدول ۳: مقادیر درصدی صعودی و نزولی آزمون من-کندال در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹

کسری آب ابر CPH (Z)				دمای بالای ابر CTT (Z)			
شمال	جنوب	غرب	شرق	شمال	جنوب	غرب	شرق
۲۵٪	۳۳/۳٪	۴۱/۶٪	۳۳/۳٪	۲۵٪	۵۸/۳٪	۴۱/۶٪	۲۵٪

به‌منظور تعیین درصدی وجود روند صعودی و نزولی در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد جدول ۳ تهیه گردید. مطابق محاسبات انجام‌شده کمترین درصد مقدار کسر آب ابر در ایران به شمال کشور با ۲۵ درصد و بیشترین آن به غرب ایران با ۴۱/۶ درصد اختصاص داده شده است. بر اساس جدول، جنوب و شرق ایران از وضعیت یکسانی (با ۳۳/۳ درصد) برخوردار بوده‌اند. در ارتباط با دمای بالای ابر، جنوب ایران با ۵۸/۳ درصد حداکثر مقادیر و شرق ایران با ۲۵ درصد حداقل صعودی بودن داده‌ها را به خود اختصاص داده است.

بررسی درصد روند بر اساس محاسبات شاخص سن (جدول ۴) نشانگر آن است که در کسر آب ابر ایران بیشترین درصد معنی‌داری در شرق و کمترین آن به مقدار یکسان در شمال و جنوب بوده است. همچنین حداکثر درصد معنی‌داری وجود سری در روند دمای ابر در غرب ایران (۷۰/۸۳ درصد) و حداقل آن در جنوب (۴۵/۸۳ درصد) بوده است. شمال و شرق ایران نیز به‌ترتیب با ۵۸/۳۳ و ۵۴/۱۶ درصد وجود روند در سری را به خود اختصاص داده است.



۰/۵۱	۰/۰۴	۱۵۳	۰/۱۱	۰/۱۵۵	۰/۱۰	۰/۱۶۷	۰/۱۰	۰/۵۴	۰/۲۰	۰/۳۵	۰/۰۶	۰/۷۰	۰/۲۳	۰/۴۳	۰/۰۱	۹۵	ژوئیه
۰/۵۷	۰/۰۱	۱۵۵	۰/۰۱	۰/۱۶۰	۰/۰۲	۱/۰	۰/۰۴	۰/۵۵	۰/۱۰	۰/۴۵	۰/۰۷	۰/۷۳	۰/۱۹	۰/۴۷	۰/۰۲	۹۹	
۰/۳۸	۰/۱۹	۱۲۸	۰/۱۸	۰/۱۶۳	۰/۱۷	۱/۴	۰/۱۰	۰/۵۱	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۲۲	۰/۵۳	۰/۰۷	۰/۲۰	۰/۰۵	۹۵	اوت
۰/۵۹	۰/۱۰	۱۳۵	۰/۲۳	۰/۱۶۶	۰/۱۵	۱/۲۱	۰/۱۳	۰/۵۸	۰/۰۷	۰/۱۸	۰/۲۷	۰/۶۹	۰/۰۲	۰/۲۶	۰/۱۲	۹۹	
۰/۲۴	۰/۲۰	۱۱۸	۰/۰۴	۰/۲۲	۰/۲۲	۱/۴۵	۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۰۸	۰/۳۹	۰/۰۶	۰/۲۰	۰/۱۴	۰/۲۴	۹۵	سپتامبر
۰/۲۷	۰/۲۵	۱۲۰	۰/۱۵	۰/۲۵	۰/۲۴	۱/۵۰	۰/۱۹	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۱۰	۰/۴۱	۰/۰۶	۰/۲۹	۰/۲۰	۰/۲۸	۹۹	
۰/۶۲	۰/۰۲	۱۹۰	۰/۱۸	۰/۱۵۱	۰/۰۳	۱/۸۱	۰/۲۰	۰/۵۷	۰/۱۷	۱/۲۰	۰/۱۸	۰/۷۱	۰/۰۷	۰/۱۰	۰/۰۴	۹۵	اکتبر
۰/۸۰	۰/۱۰	۱۹۴	۰/۱۲	۰/۱۶۰	۰/۱۴	۱/۰۴	۰/۰۸	۰/۷۲	۰/۲۸	۱/۶۸	۰/۱۳	۰/۸۰	۰/۲۴	۱/۱۰	۰/۳۰	۹۹	
۰/۵۳	۰/۲۸	۱۳۳	۰/۰۷	۰/۱۵۴	۰/۲۰	۱/۳۳	۰/۱۳	۰/۹۳	۰/۰۸	۱/۱۰	۰/۹۷	۱/۱۰	۰/۲۰	۰/۸۵	۰/۵۸	۹۵	نوامبر
۰/۵۶	۰/۲۳	۱۳۴	۰/۰۴	۰/۱۶۰	۰/۱۶	۱/۳۵	۰/۱۰	۱/۵۴	۰/۶۰	۲/۱۳	۱/۹۰	۱/۷۰	۰/۵۵	۱/۱۸	۰/۷۸	۹۹	
۰/۳۹	۰/۰۲	۱۳۳	۰/۰۱	۰/۱۲۶	۰/۲۰	۱/۴۴	۰/۰۷	۰/۴۴	۰/۰۴	۱/۳۴	۰/۸۷	۰/۲۷	۰/۶۰	۰/۷۴	۰/۱۶	۹۵	دسامبر
۰/۴۲	۰/۰۸	۱۴۰	۰/۰۲	۰/۱۳۶	۰/۲۳	۱/۵۰	۰/۰۳	۰/۸۰	۰/۰۶	۲/۰۳	۱/۲۷	۰/۳۳	۰/۷۱	۰/۸۰	۰/۱۰	۹۹	

روند در سری وجود ندارد  روند در سری وجود دارد

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش به ارزیابی روند تغییرهای درازمدت کسر آب ابر و دمای ابر در ایران با استفاده از محصولات ماهواره MSG (سنجنده SEVIRI) طی دوره زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۷ پرداخته شده است. نتایج نشان داد توزیع زمانی و مکانی خصوصیت‌های ابر به صورت یکنواخت نبوده است. مقادیر دمای ابر در فصل گرم در ایران نسبت به فصل سرد از یکنواختی بیشتری برخوردار است. دمای ابر در ماه‌های سرد سال در جنوب و به‌ویژه جنوب‌شرق ایران از مقادیر بیشتری نسبت به سایر مناطق داشته است. تأثیر هجوم توده‌های هوای سرد از غرب و شمال ایران در فصول سرد سال در دمای ابر کاملاً مشهود می‌باشد. توزیع کسر آب ابر و همچنین دمای ابر در ایران بیشتر متأثر از مؤلفه‌های مکانی به‌ویژه عرض جغرافیایی، مسیر ورود توده‌های هوا و ناهم‌واری بوده است. از آنجایی که در دهه‌های اخیر تغییرهای اقلیمی به تغییرپذیری عناصر اقلیمی منجر شده، بنابراین تغییرهای خصوصیت‌های ابر نیز در ایران از این قاعده پیروی کرده است. مطالعه متغیرهای مورد بحث نشان می‌دهد در طول دوره مورد مطالعه تغییرهای اساسی در خصوصیت‌های ابر از نظر زمانی و مکانی وجود داشته است. این تغییرها از نوع افزایشی و کاهشی و روند مثبت و منفی بوده است. نتیجه‌گیری کلی این پژوهش بر اساس تجمیع داده‌های مورد استفاده قرار گرفته شده نشان می‌دهد کسر آب ابر و دمای ابر در ایران در حالت کلی با صرف نظر از چند مورد خاص وضعیت صعودی داشته است که با یافته‌های



قاسمی فر و همکاران (۲۰۱۸) مبنی بر وجود روند در بیشتر ماه‌ها همخوانی دارد. باین‌حال توزیع زمانی و مکانی و همین‌طور شدت و ضعف آن در کل ایران به مقدار یکسان نبوده بلکه با تغییرهایی همراه بوده است. جهت بررسی روند تغییرها از آزمون ناپارامتری من-کندال و همچنین جهت آشکارسازی وجود روند از شاخص سن استفاده شد. نتایج نشان داد که حداکثر مقادیر معنی‌داری متغیر کسر آب ابر، در جنوب ایران در ماه ژوئن که با یافته‌های (قاسمی فر و همکاران ۲۰۱۸) مطابقت داشته و حداقل آن در ماه می در جنوب بوده است. بررسی درصدی روند نشان داد که بیشترین مقدار معنی‌داری دمای ابر، در ماه ژوئن در جنوب ایران و حداقل آن در ماه می بوده است. بر اساس محاسبات انجام‌شده، حداقل مقدار کسر آب ابر در شمال و حداکثر آن در غرب ایران بوده است. کاهش کسر آب ابر در قسمت‌های مرکزی ایران که با پوشش کم ابر در آن منطقه قابل توجیه می‌باشد، با یافته‌های (رسولی و همکاران، ۲۰۱۳) مبنی بر کمترین روزهای ابری در قسمت‌های مرکزی ایران، مطابقت دارد. به‌طورکلی مطالعه سالانه کسر آب ابر در ایران نشان می‌دهد که مقادیر آن از شمال به جنوب و از غرب به شرق کاهش می‌یابد. این نتایج در مقایسه با یافته‌های (احمدی و همکاران، ۲۰۱۸ و احمدی و همکاران، ۲۰۲۰) در ارتباط با افزایش ابرهای مایع از جنوب به شمال و از شرق به غرب ایران، همخوانی دارد. همچنین در ارتباط با بالای ابر، جنوب ایران با ۵۸/۳ درصد حداکثر مقدار و شرق ایران با ۲۵ درصد حداقل را از نظر صعودی بودن داده‌ها به خود اختصاص است. بر اساس شاخص سن، وجود روند سری در دمای بالای ابر نسبت به کسر آب ابر در ایران بیشتر می‌باشد. حداکثر درصدی وجود سری در غرب و حداقل آن در جنوب بوده است.

## منابع

- حاتمی، خداکرم؛ موحدی، سعید. (۱۳۹۷). واکاوی تغییرات زمانی و مکانی پوشش ابر در ایران با بهره‌گیری از داده‌های سنجش‌ازدور، مخاطرات محیط طبیعی، شماره ۱۶، صفحه ۱۲۷ تا ۱۴۴.
- رستم‌زاده، هاشم؛ رسولی، علی‌اکبر؛ وظیفه دوست، مجید؛ ملکی، ناصر. (۱۳۹۸). ارزیابی و تحلیل نقش خصوصیات فیزیکی ابر در مقدار بارش محتمل با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای MSG منطقه مورد مطالعه: غرب ایران، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، شماره ۷۲، صفحه ۲۲۵ تا ۲۴۵.
- رسولی، علی‌اکبر؛ جهانبخش، سعید؛ قاسمی، احمدرضا. (۱۳۹۲). بررسی تغییرات زمانی و مکانی مقدار پوشش ابر در ایران، فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات جغرافیایی، شماره ۱۱۰، صفحه ۸۵ تا ۱۰۲.
- رسولی، علی‌اکبر؛ جوان، خدیجه. (۱۳۹۱). تحلیل روند وقوع توفان‌های ردوبرقی در نیمه غربی ایران با کاربرد آزمون‌های ناپارامتری، فصلنامه علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، شماره ۳۸، صفحه ۱۱۱ تا ۱۲۶.
- مباشری، محمدرضا؛ رضایی، یوسف. (۱۳۸۵). تشخیص پوشش مه و ابرهای کوتاه St با استفاده از تصاویر ماهواره MSG-1، نشریه دانشکده فنی، شماره ۸ (۴۰)، صفحه ۱۱۰۷ تا ۱۱۱۹.
- Ahmadi, M., Dadashi-Roudbari, A., Akbari-Azirani, T., & Nasiri-Khuzani, B. (2020). Seasonal and annual segregation of liquid water and ice clouds in Iran and their relation to geographic components and precipitation. *Theoretical and Applied Climatology*, Volume:140 Issue:3-4 Page : 963-982 Publication year:2020. [doi.org/10.1007/s00704-020-03131-5](https://doi.org/10.1007/s00704-020-03131-5)
- Boudala, F. S., Isaac, G. A., Cober, S. G., & Fu, Q. (2004). Liquid fraction in stratiform mixed-phase clouds from in situ observations. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society: A Journal of the atmospheric sciences, applied meteorology and physical oceanography*, 130(603), 2919-2931. [doi.org/10.1256/qj.03.153](https://doi.org/10.1256/qj.03.153)
- Ghasemifar, E., Farajzadeh, M., Perry, M. C., Rahimi, Y. G., & Bidokhti, A. A. (2018). Analysis of spatiotemporal variations of cloud fraction based on geographic characteristics over Iran. *Theoretical and applied climatology*, 134(3), 1429-1445. [doi.org/10.1007/s00704-017-2308-1](https://doi.org/10.1007/s00704-017-2308-1)

- Giraud, V., Thouron, O., Riédi, J., & Goloub, P. (2001). Analysis of direct comparison of cloud top temperature and infrared split-window signature against independent retrievals of cloud thermodynamic phase. *Geophysical research letters*, 28(6), 983-986. doi.org: [10.1029/2000GL012046](https://doi.org/10.1029/2000GL012046)
- Harrop, B. E., & Hartmann, D. L. (2012). Testing the role of radiation in determining tropical cloud-top temperature. *Journal of Climate*, 25(17), 5731-5747. doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00445.1
- Hmadi, M., Dadashiroudbari, A., & Ahmadi, H. (2018). Spatiotemporal variations of total cloud cover and cloud optical thickness in Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, Vol. 44, No. 4, Winter 2019, 44(4), 145-164. doi.org: [10.22059/jesphys.2018.248041.1006956](https://doi.org/10.22059/jesphys.2018.248041.1006956)
- Holz, R. E., Platnick, S., Meyer, K., Vaughan, M., Heidinger, A., Yang, P., & Nagle, F. (2016). Resolving ice cloud optical thickness biases between CALIOP and MODIS using infrared retrievals. *1foldr Import 2019-10-08 Batch 1*. doi.org: [10.5194/acpd-15-29455-2015](https://doi.org/10.5194/acpd-15-29455-2015)
- Hu, Y., Rodier, S., Xu, K. M., Sun, W., Huang, J., Lin, B., ... & Josset, D. (2010). Occurrence, liquid water content, and fraction of supercooled water clouds from combined CALIOP/IIR/MODIS measurements. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, VOL:115, Page 1-13 (D4) D00H34. doi.org/10.1029/2009JD012384
- Huang, Y., Siems, S., Manton, M., Protat, A., Majewski, L., & Nguyen, H. (2019). Evaluating Himawari-8 Cloud Products Using Shipborne and CALIPSO Observations: Cloud-top Height and Cloud-top Temperature. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 36(12), 2327-2347. doi.org/10.1175/JTECH-D-18-0231.1
- Janowiak, J. E., & Arkin, P. A. (1991). Rainfall variations in the tropics during 1986-1989, as estimated from observations of cloud-top temperature. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 96(S01), 3359-3373. doi.org/10.1029/90JD01856
- Kendall M.G. Rank Correlation Methods. Griffin, London, UK, 1975.
- Kumar, K. N., & Suzuki, K. (2019). Assessment of seasonal cloud properties in the United Arab Emirates and adjoining regions from geostationary satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 228, 90-104. doi.org/10.1016/j.rse.2019.04.024
- Lima, C. B., Prijith, S. S., Sessa Sai, M. V., Rao, P. V., Niranjan, K., & Ramana, M. V. (2019). Retrieval and Validation of Cloud Top Temperature from the Geostationary Satellite INSAT-3D. *Remote Sensing*, 11(23), 2811. Page:1-28, Published: 27 November 2019. doi.org/10.3390/rs11232811
- Lu, S., ten Veldhuis, M. C., van de Giesen, N., Heemink, A., & Verlaan, M. (2020). Precipitation regime classification based on cloud-top temperature time series for spatially varied parameterization of precipitation models. *Remote Sensing*, 12(2), 289. Page:1-18, Published: 16 January 2020. doi.org/10.3390/rs12020289
- Mann, H.B. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13:245-259, 1945.
- Minnis, P., Smith Jr, W. L., & Young, D. F. (2001). Cloud macro-and microphysical properties derived from GOES over the ARM SGP domain.
- Rossow, W. B., Mosher, F., Kinsella, E., Arking, A., Desbois, M., Harrison, E., ... & Smith, E. (1985). ISCCP cloud algorithm intercomparison. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 24(9), 877-903. <https://www.jstor.org/stable/26181473>
- Sherwood, S. C., Alexander, M. J., Brown, A. R., McFarlane, N. A., Gerber, E. P., Feingold, G., ... & Grabowski, W. W. (2013). Climate processes: clouds, aerosols, and dynamics. In *Climate Science for Serving Society* (pp. 73-103). Springer, Dordrecht. DOI: [10.1007/978-94-007-6692-1\\_4](https://doi.org/10.1007/978-94-007-6692-1_4)
- Strunin, A. M., & Zhivoglotov, D. N. (2014). A method to determine true air temperature fluctuations in clouds with liquid water fraction and estimate water droplet effect on the calculations of the spectral structure of turbulent heat fluxes in cumulus clouds based on aircraft data. *Atmospheric research*, 138, 98-111. DOI: [10.1016/j.atmosres.2013.10.016](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.10.016)
- Stubenrauch, C. J., Rossow, W. B., Kinne, S., Ackerman, S., Cesana, G., Chepfer, H., ... & Maddux, B. C. (2013). Assessment of global cloud datasets from satellites: Project and database initiated by the GEWEX radiation panel. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(7), 1031-1049. doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00117.1
- Taylor, S., Stier, P., White, B., Finkensieper, S., & Stengel, M. (2017). Evaluating the diurnal cycle in cloud top temperature from SEVIRI. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17(11).
- Wang, C., Luo, Z. J., Chen, X., Zeng, X., Tao, W. K., & Huang, X. (2014). A physically-based algorithm for non-blackbody correction of cloud-top temperature and application to convection study. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 53(7), 1844-1857. doi.org/10.1175/JAMC-D-13-0331.1
- Wetherald, R. T., & Manabe, S. (1988). Cloud feedback processes in a general circulation model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 45(8), 1397-1416. DOI: [10.1175/1520-0469\(1988\)045<1397:CFPIAG>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1988)045<1397:CFPIAG>2.0.CO;2)
- Yin, J. F., Wang, D. H., Zhai, G. Q., & Xu, H. B. (2014). An investigation into the relationship between liquid water content and cloud number concentration in the stratiform clouds over north China. *Atmospheric research*, 139, 137-143. doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.12.004
- Zeng, X. (1999). The relationship among precipitation, cloud-top temperature, and precipitable water over the tropics. *Journal of Climate*, 12(8), 2503-2514. doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<2503:TRAPCT>2.0.CO;2.



## References

### References (in Persian)

- Hatami, K.H., Movahedi, S. (2018). Analysis of temporal and spatial variations of Cloud cover using remote sensing data in Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*. Volume 7, Issue 16, 127-144. doi:[10.22111/jneh.2017.3144](https://doi.org/10.22111/jneh.2017.3144) [In Persian]
- Mobasheri, M.R., Rezaie, Y. (2007). Detection of fog and short St clouds using MSG-1 satellite imagery. *Journal of the College of engineering*. Volume 41, Issue 2 - Serial Number 1434. 1107 – 1119. [In Persian]
- Rasooli, A. A., Jahanbakhsh, S., Ghasemi, A.R (2018). Investigation of Spatial and Temporal Variations of Cloud Cover in Iran. Volume 28, Issue 3, page, 87-104, [In Persian]
- Rasuly, A.A., Javan, KH. (2012) Analyzing of Thunderstorm Occurrence Trends in the Western Part of Iran Applying Non-Parametric Statistical Tests. *Geographic Space*, Volume 12 - Issue 38. 111-126. URL: <http://geographical-space.iaua-har.ac.ir/article-1-896-en.html> [In Persian]
- Rostamzadeh, H., Rasuly, A.A., Wazifedoust, M., maleki, N. (2020). Evaluation and analysis of the role of the physical properties of the cloud in the probable rainfall amount using satellite data MSG (Case study area: West of Iran) *Journal of Geography and planning*. Volume 24, Issue 72, 225-245. [In Persian]

### References (in English)

- Ahmadi, M., Dadashi-Roudbari, A., Akbari-Azirani, T., & Nasiri-Khuzani, B. (2020). Seasonal and annual segregation of liquid water and ice clouds in Iran and their relation to geographic components and precipitation. *Theoretical and Applied Climatology*, Volume:140 Issue:3-4 Page : 963-982 Publication year:2020. doi.org/[10.1007/s00704-020-03131-5](https://doi.org/10.1007/s00704-020-03131-5)
- Boudala, F. S., Isaac, G. A., Cober, S. G., & Fu, Q. (2004). Liquid fraction in stratiform mixed-phase clouds from in situ observations. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society: A Journal of the atmospheric sciences, applied meteorology and physical oceanography*, 130(603), 2919-2931. doi.org/[10.1256/qj.03.153](https://doi.org/10.1256/qj.03.153)
- Ghasemifar, E., Farajzadeh, M., Perry, M. C., Rahimi, Y. G., & Bidokhti, A. A. (2018). Analysis of spatiotemporal variations of cloud fraction based on geographic characteristics over Iran. *Theoretical and applied climatology*, 134(3), 1429-1445. doi.org/[10.1007/s00704-017-2308-1](https://doi.org/10.1007/s00704-017-2308-1)
- Giraud, V., Thouron, O., Riédi, J., & Goloub, P. (2001). Analysis of direct comparison of cloud top temperature and infrared split-window signature against independent retrievals of cloud thermodynamic phase. *Geophysical research letters*, 28(6), 983-986. doi.org: [10.1029/2000GL012046](https://doi.org/10.1029/2000GL012046)
- Harrop, B. E., & Hartmann, D. L. (2012). Testing the role of radiation in determining tropical cloud-top temperature. *Journal of Climate*, 25(17), 5731-5747. doi.org/[10.1175/JCLI-D-11-00445.1](https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00445.1)
- Hmadi, M., Dadashiroudbari, A., & Ahmadi, H. (2018). Spatiotemporal variations of total cloud cover and cloud optical thickness in Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, Vol. 44, No. 4, Winter 2019, 44(4), 145-164. doi.org: [10.22059/jesphys.2018.248041.1006956](https://doi.org/10.22059/jesphys.2018.248041.1006956)
- Holz, R. E., Platnick, S., Meyer, K., Vaughan, M., Heidinger, A., Yang, P., & Nagle, F. (2016). Resolving ice cloud optical thickness biases between CALIOP and MODIS using infrared retrievals. *Import 2019-10-08 Batch 1*. doi.org: [10.5194/acpd-15-29455-2015](https://doi.org/10.5194/acpd-15-29455-2015)
- Hu, Y., Rodier, S., Xu, K. M., Sun, W., Huang, J., Lin, B., ... & Josset, D. (2010). Occurrence, liquid water content, and fraction of supercooled water clouds from combined CALIOP/IR/MODIS measurements. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, VOL:115, Page 1-13 (D4) D00H34. doi.org/[10.1029/2009JD012384](https://doi.org/10.1029/2009JD012384)
- Huang, Y., Siems, S., Manton, M., Protat, A., Majewski, L., & Nguyen, H. (2019). Evaluating Himawari-8 Cloud Products Using Shipborne and CALIPSO Observations: Cloud-top Height and Cloud-top Temperature. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 36(12), 2327-2347. doi.org/[10.1175/JTECH-D-18-0231.1](https://doi.org/10.1175/JTECH-D-18-0231.1)
- Janowiak, J. E., & Arkin, P. A. (1991). Rainfall variations in the tropics during 1986–1989, as estimated from observations of cloud-top temperature. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 96(S01), 3359-3373. doi.org/[10.1029/90JD01856](https://doi.org/10.1029/90JD01856)
- Kendall M.G. Rank Correlation Methods. Griffin, London, UK, 1975.
- Kumar, K. N., & Suzuki, K. (2019). Assessment of seasonal cloud properties in the United Arab Emirates and adjoining regions from geostationary satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 228, 90-104. doi.org/[10.1016/j.rse.2019.04.024](https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.04.024)
- Lima, C. B., Prijith, S. S., Sessa Sai, M. V., Rao, P. V., Niranjana, K., & Ramana, M. V. (2019). Retrieval and Validation of Cloud Top Temperature from the Geostationary Satellite INSAT-3D. *Remote Sensing*, 11(23), 2811. Page:1-28, Published: 27 November 2019. doi.org/[10.3390/rs11232811](https://doi.org/10.3390/rs11232811)
- Lu, S., ten Veldhuis, M. C., van de Giesen, N., Heemink, A., & Verlaan, M. (2020). Precipitation regime classification based on cloud-top temperature time series for spatially varied parameterization of precipitation models. *Remote Sensing*, 12(2), 289. Page:1-18, Published: 16 January 2020. doi.org/[10.3390/rs12020289](https://doi.org/10.3390/rs12020289)
- Mann, H.B. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13:245-259, 1945.
- Minnis, P., Smith Jr, W. L., & Young, D. F. (2001). Cloud macro-and microphysical properties derived from GOES over the ARM SGP domain.
- Rossov, W. B., Mosher, F., Kinsella, E., Arking, A., Desbois, M., Harrison, E., ... & Smith, E. (1985). ISCCP cloud algorithm intercomparison. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 24(9), 877-903. <https://www.jstor.org/stable/26181473>

- Sherwood, S. C., Alexander, M. J., Brown, A. R., McFarlane, N. A., Gerber, E. P., Feingold, G., ... & Grabowski, W. W. (2013). Climate processes: clouds, aerosols, and dynamics. In *Climate Science for Serving Society* (pp. 73-103). Springer, Dordrecht. DOI: [10.1007/978-94-007-6692-1\\_4](https://doi.org/10.1007/978-94-007-6692-1_4)
- Strunin, A. M., & Zhivoglotov, D. N. (2014). A method to determine true air temperature fluctuations in clouds with liquid water fraction and estimate water droplet effect on the calculations of the spectral structure of turbulent heat fluxes in cumulus clouds based on aircraft data. *Atmospheric research*, 138, 98-111. DOI: [10.1016/j.atmosres.2013.10.016](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.10.016)
- Stubenrauch, C. J., Rossow, W. B., Kinne, S., Ackerman, S., Cesana, G., Chepfer, H., ... & Maddux, B. C. (2013). Assessment of global cloud datasets from satellites: Project and database initiated by the GEWEX radiation panel. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(7), 1031-1049. [doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00117.1](https://doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00117.1)
- Taylor, S., Stier, P., White, B., Finkensieper, S., & Stengel, M. (2017). Evaluating the diurnal cycle in cloud top temperature from SEVIRI. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17(11).
- Wang, C., Luo, Z. J., Chen, X., Zeng, X., Tao, W. K., & Huang, X. (2014). A physically-based algorithm for non-blackbody correction of cloud-top temperature and application to convection study. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 53(7), 1844-1857. [doi.org/10.1175/JAMC-D-13-0331.1](https://doi.org/10.1175/JAMC-D-13-0331.1)
- Wetherald, R. T., & Manabe, S. (1988). Cloud feedback processes in a general circulation model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 45(8), 1397-1416. DOI: [10.1175/1520-0469\(1988\)045<1397:CFPIAG>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1988)045<1397:CFPIAG>2.0.CO;2)
- Yin, J. F., Wang, D. H., Zhai, G. Q., & Xu, H. B. (2014). An investigation into the relationship between liquid water content and cloud number concentration in the stratiform clouds over north China. *Atmospheric research*, 139, 137-143. [doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.12.004](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.12.004)
- Zeng, X. (1999). The relationship among precipitation, cloud-top temperature, and precipitable water over the tropics. *Journal of Climate*, 12(8), 2503-2514. [doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)012<2503:TRAPCT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<2503:TRAPCT>2.0.CO;2).

