

تأثیر تغییر اقلیم بر پراکنش رطوبت ویژه در سواحل شمالی خلیج فارس

طیبه دهقانی^۱*

دانشجوی دکتری آب و هواشناسی دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

محمد سلیقه

دانشیار آب و هواشناسی دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

بهلول علیجانی

استاد آب و هواشناسی و مدیر قطب علمی تحلیل فضایی مخاطرات محیطی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۹

چکیده

امروزه با افزایش دما و کاهش بارش ناشی از تغییرات اقلیمی، بشر به دنبال راه‌هایی برای تأمین آب هست. یکی از راه‌های پیش، روی او استفاده از آب جو است. بدین منظور هدف این مقاله بررسی تغییراتی است که در توزیع رطوبت ویژه در سواحل شمال خلیج فارس متأثر از تغییر اقلیم رخ داده است. داده‌ها از پایگاه NCEP/NCAR با رزولوشن فضایی ۲/۵ درجه قوسی طی دوره آماری ۱۹۵۰ تا ۲۰۱۶ استخراج گردید. نتایج بیانگر آن بود که رطوبت ویژه روند افزایش معنی‌دار سالیانه با شیب ۰/۰۲ گرم برای ماه فوریه و ۰/۰۱۷ گرم در سال برای ماه جولای داشته است. میانگین فضایی رطوبت منطقه در هر دو ماه بالاتر رفته است و توزیع فضایی رطوبت ویژه در سطح منطقه به سمت توزیع همگون‌تر، تمرکز یافته و تصادفی‌تر میل کرده است. این رفتار زمانی مکانی رطوبت ویژه در واقع می‌تواند در پاسخ به افزایش دمای عمومی منطقه رخ داده باشد و می‌توان آن را با نمایه تغییر اقلیم در منطقه مدنظر قرار داد.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، رطوبت ویژه، آزمون من کندال، سواحل شمالی خلیج فارس.

مقدمه

تغییرات آب و هوایی امروزه یکی از مهم‌ترین مخاطراتی است که به صورت مزمن حیات بشری را از جنبه‌های مختلفی تحت تأثیر قرار داده است. تغییرات آب و هوایی دارای اثرات جانبی وسیع الطیفی هستند^۲ که گاهی این اثرات به صورت پس‌خورهای مثبت و منفی ظاهر می‌شود. گرمایش جهانی که برخلاف اصطلاح تغییر اقلیم، در مورد آن وفاق جهانی وجود دارد، در واقع به افزایش میانگین دمای جهانی طی چند دهه اخیر اشاره دارد (هولمه^۳، ۱۹۹۶). تغییرات آب و هوایی

Email: tdehghani68@yahoo.com

^۱ نویسنده مسئول ۰۹۱۷۵۶۶۵۵۱۲

^۲ Broad Band

^۳ Hulme

به آشفته‌گی تحمیلی به موازنه انرژی کره زمین گفته می‌شود. گرمایش جهانی و تغییرات آب و هوایی ناشی از فعالیت‌های بشر یکی از مشکلات عمده زیست‌محیطی است که در دو دهه اخیر توجه بسیاری از محافل علمی و سیاسی جهان را به خود جلب کرده است. معمولاً دگرگونی و تغییر در اقلیم پدیده‌ای طبیعی است که در مقیاس زمانی چند هزار ساله رخ می‌دهد اما تغییرات اقلیمی که اخیراً به وقوع پیوسته، در مقایسه با تغییرات اقلیمی دو میلیون سال پیش بسیار شدیدتر بوده است و زمین در طول دو دهه گذشته به اوج گرمای خود در دو هزار سال اخیر رسیده است. افزایش شدت تابشی خورشید برافزایش گرمای زمین اثر مثبتی دارد زیرا بخشی از آن جذب زمین و مابقی به فضا برگردانده می‌شود. میزان متناسب و متعادل گازهای گلخانه‌ای با جذب اشعه مادون قرمز مانع از گریختن اشعه‌های گرمایی به فضا شده و باعث باقی ماندن بخشی از انرژی خورشیدی در داخل جو می‌شوند. از حدود سال ۱۷۵۰ تاکنون (عصر پیش صنعتی) افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای منجر به افزایش شدت تابشی و گرم شدن زمین شده است. از میان گازهای گلخانه‌ای غلظت اتمسفری دی‌اکسید کربن، متان و اکسید ازت به نحو قابل ملاحظه‌ای تغییر یافته است. حتی افزایش یک‌درجه‌ای دمای کره زمین سبب تغییرات قابل ملاحظه‌ای در آب و هوای کره زمین و شرایط زندگی موجودات زنده آن خواهد شد. دلیل تغییرات اقلیمی افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی شهرنشینی، جنگل‌زدایی و بیابان‌زایی است (کاتفورس^۱، ۱۹۹۹). این افزایش دما که همراه با افزایش ظرفیت رطوبتی هوا بوده رطوبت نسبی هوا را کاهش داده و حداقل فرایند رخداد بارش را در مقیاس ساعتی به تعویق می‌اندازد (هگرل^۲، ۲۰۱۱) اما با افزایش دما و بالا رفتن ظرفیت رطوبتی هوا، در صورت وجود منبع رطوبت، رطوبت ویژه هوا بالا رفته و موجب بالا رفتن بخار آب کلی جو می‌شود و بخار آب در نقش یک گاز گلخانه‌ای خود موجب تشدید گرمایش جهانی می‌گردد. رطوبت یکی از عناصر مهم اقلیمی است که آثار انکارناپذیری بر فعالیت‌های مختلف انسانی و فرایندهای طبیعی، به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌گذارد. هوای خشک در طبیعت وجود ندارد و حتی در ظاهر هوای خشک بیابانی هم‌مقداری رطوبت وجود دارد (علیجانی، ۱۳۸۵). با توجه به اینکه رخداد بارش به‌عنوان یک عنصر کلیدی بسیار مهم، اتفاق افتاده ارتباط مستقیمی با رطوبت موجود در جو یا سامانه بارش زا دارد (قاله‌ری و همکاران، ۱۳۹۴). بررسی مقدار رطوبت جو و همچنین انتقال بخار آب، به یکی از موضوع‌های شایان توجه در پژوهش‌های جوی تبدیل شده است. (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۱) اثرات تغییر اقلیم برافزایش مصرف آب کشاورزی در دشت مشهد مطالعه نمودند نتایج افزایش ۲ درجه دمای هوا را نشان داد. (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۸۴) تغییرات دما را در دشت مشهد به‌عنوان نمایه تغییر اقلیم بررسی نمودند نتایج نشان داد روند افزایشی درجه حرارت به‌ویژه برای دمای حداقل بارزتر است. (باباییان و همکاران، ۱۳۸۷) در مطالعه‌ای به ارزیابی تغییر اقلیم کشور با استفاده از ریز مقیاس نمایی مدل گردش عمومی جو پرداختند. نتایج افزایش آستانه بارش‌های سنگین و افزایش میانگین سالانه دما است. (کار آراسته و همکاران، ۱۳۸۷) به بررسی تغییر اقلیم در ایران پرداختند، نتایج نشان داد که کشور روند صعودی دما داشته و نواحی مختلف کشور نیز دستخوش تغییرات معنی‌دار بارش در سطوح مختلف بوده است. (عزیزی و همکاران،

¹ Cutforth

² Hegerl

۱۳۸۷) در نیمه غربی ایران، به بررسی تغییر اقلیم پرداختند، متغیرهای دمایی روند تغییرات معنی‌دار ولی با جهت‌های متفاوت بوده، درحالی‌که داده‌های رطوبت و بارش غالباً از روند تغییرات معنی‌داری برخوردار نبودند. (خوشحال و همکاران، ۱۳۸۸) مسیر رطوبت بارش‌های فوق سنگین استان بوشهر را بررسی کردند. مطالعه نقشه‌های وزش رطوبتی نشان داد که منابع تأمین رطوبت این‌گونه بارش‌ها، مناطق حاره‌ای شرق آفریقا، اقیانوس هند، دریای عرب و خلیج عدن دریای سرخ، دریای عمان و خلیج فارس است. مسیرهای ورود رطوبت به منطقه نیز عمدتاً جنوبی، جنوب شرقی و جنوب غربی می‌باشد. سامانه‌های فشار زیاد سیبری و عربستان، مرکز کم‌فشار دینامیکی شرق اروپا، سامانه‌های کم‌فشار سودانی و مرکز فشار زیاد اروپایی در تراز دریا و سامانه‌های واچرخندی شرق عربستان ناوه شمال آفریقا و واچرخند اسپانیایی در تراز زیرین و میانی جو سامانه‌های مؤثر بر انتقال رطوبت بر روی منطقه مورد مطالعه می‌باشند. رطوبت ویژه که نسبت به رطوبت نسبی و رطوبت مطلق، در برابر تغییرات دما و حجم هوا، ثابت‌تر است، در پاسخ به تغییرات آب و هوایی همانند سایر عناصر آب و هوایی دچار تغییراتی خواهد شد. (خلیلی اقدم و همکاران، ۱۳۸۸) تغییر اقلیم را در ارومیه بررسی نمودند یافته‌های ایشان نشان داد که میانگین بارش تغییر معناداری نداشته است. (قربانی زاده و همکاران، ۱۳۸۸) اثر تغییر اقلیم بر توزیع زمانی جریان رواناب ناشی از ذوب برف حوزه کارون پرداختند نتایج زمان بیشینه جریان از بهار به زمستان انتقال خواهد یافت. (خسروی و همکاران، ۱۳۹۰) تأثیر دمای سطح دریای عمان بر بارش فصول پاییز و زمستان سواحل جنوب شرقی ایران را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که وقوع شرایط گرم (سرد) در دریای عمان در فصل بهار با کاهش (افزایش) بارندگی در فصول پاییز و زمستان ایستگاه‌های مورد مطالعه همراه بوده است. همچنین بارندگی‌های زمستانه هم‌زمان با ناهنجاری‌های مثبت دمای سطح دریا در تابستان چشمگیر بوده است. (گلن^۱ و همکاران، ۱۹۹۸) تأثیر تغییر اقلیم را بر جریان رودخانه‌های بلژیک بررسی نمودند نتایج افزایش فراوانی سیلاب را در ماه‌های زمستان نشان داد. (پاین^۲ و همکاران، ۲۰۰۲) به بررسی تغییر اقلیم در حوضه رودخانه کلمبیا پرداختند، یافته‌ها حاکی از افزایش ۱/۲ درجه سانتی‌گراد دمای هوا و کاهش ۳ درصد بارش است. (گیون^۳ و همکاران، ۲۰۰۴) اثرات تغییر اقلیم را بر افزایش تراز آب دریاچه مالارین مطالعه نمودند نتایج تراز آب دریاچه تا ۵۰ سانتی‌متر نشان می‌دهد. (الیسون^۴ و همکاران، ۲۰۰۴) تأثیر تغییر اقلیم را بر وضعیت تناسب سیلاب حوضه‌های انگلستان بررسی نمودند نتایج، افزایش سیلاب‌ها را نشان داد. (ردریگودیا^۵ و همکاران، ۲۰۰۷) اثر تغییر اقلیم بر نیاز آب آبیاری حوضه گیودالاکو واکاوی کردند نتایج بیانگر افزایش خشکی و نیاز به آب برای آبیاری است. (پورمحمدی و همکاران، ۲۰۰۸) اثر تغییر اقلیم را بر روی خشک‌سالی در ایستگاه یزد بررسی نمودند نتایج نشان از وجود نوسانات سال‌های خشک و تر در منطقه دارد. (فریس^۶ و همکاران، ۲۰۰۹) نقش تغییر اقلیم بر محصولات کشاورزی مدیترانه را بررسی نمودند یافته‌ها نشانگر کاهش عملکرد گندم برای قرن آتی است.

¹ Gellen

² Payen

³ Gunn

⁴ Alison

⁵ Rodriguez

⁶ Ferrise

(جونگ^۱ و همکاران، ۲۰۱۰) به ارزیابی روندهای رواناب آینده تحت چندین سناریوی تغییر اقلیم در حوزه رودخانه ویلامت آمریکا پرداختند نتایج روندهای منفی در رواناب بهار و تابستان و مثبت در رواناب پاییز و زمستان نشان داد. (رمرو^۲ و همکاران، ۲۰۱۰) اثرات تغییر اقلیم روی تبخیر و تعرق را در حوزه‌ای در جمهوری چک بررسی کردند نتایج نشان داد که تغییرات تبخیر و تعرق منطقه قابل توجه نخواهد بود. (ژانگ^۳ و همکاران، ۲۰۱۱) اثرات تغییر اقلیم را بر دما و بارش رودخانه یانگ تسه بررسی کردند. نتایج نشان داد که دما از روند افزایش برخوردار بوده و بارش بدون روند بوده است. (ژائو^۴ و همکاران، ۲۰۱۲) به تحلیل منطقه‌ای نمایه‌های فرین دمای حوضه رودخانه‌های چین طی دوره ۲۰۰۹ - ۱۹۶۰ پرداختند. نتایج نشان داد که در سراسر حوضه نمایه‌های فرین سرد روزهای یخبندان، روند منفی درحالی‌که نمایه‌های گرم فرین روند مثبت را نشان می‌دهند. غالب پژوهش‌های که در زمینه تغییرات آب و هوایی انجام گرفته است معمولاً از دما و بارش به‌عنوان شاخص‌های بازیابی و آشکارسازی تغییر اقلیم در هر منطقه استفاده کرده‌اند و عنصر رطوبت ویژه کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در حالی که در این پژوهش از رطوبت ویژه به‌عنوان نمایه تغییر اقلیم استفاده شده است و در کنار تحلیل سری زمانی، تغییرات توزیع فضایی رطوبت ویژه در سطح منطقه نیز به‌صورت توأمان و با رویکرد آمار فضایی مورد تحلیل قرار گرفته است. بررسی این تغییرات می‌تواند نشان دهد که پتانسیل‌های لازم جهت بهره‌برداری از آب جو در چه بخش‌هایی از این منطقه و در چه بازه‌های زمانی یافت می‌شود. هدف این مقاله شناسایی پتانسیل رطوبت منطقه به‌منظور استفاده از آن به‌عنوان منبع آب مطمئن در منطقه است.

داده‌ها و روش‌ها

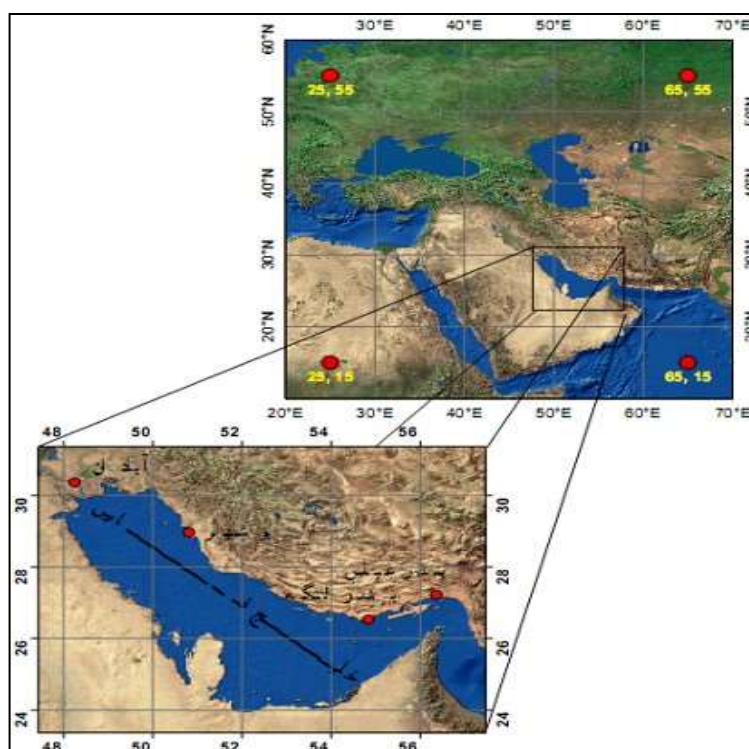
منطقه مورد مطالعه از نوار شمالی به پهنای ۱۰۰ کیلومتر در امتداد خط ساحلی خلیج فارس که از در شکل ۱ ارائه شده است. این منطقه در طول ۴۵ درجه تا ۵۷ درجه طول شرقی و در عرض ۲۷ تا ۳۱ درجه عرض شمالی واقع شده است و وسعت منطقه مورد مطالعه حدود ۱۲۰ هزار کیلومترمربع بوده است که شامل بخش‌های از استان‌های خوزستان، بوشهر، فارس و هرمزگان است.

¹ June

² Remrova

³ Zhang

⁴ Zhao



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش دو هدف اساسی وجود دارد یکی تحلیل سری زمانی رطوبت ویژه که بر روی سری زمانی ۶۷ ساله داده‌های مربوط به نم ویژه کمینه و بیشینه تراز سطح زمین انجام گرفت و دیگری تحلیل تغییرات فضایی رطوبت ویژه سطح زمین بود. برای نیل به هدف اول از داده‌های مربوط به رطوبت ویژه ماه‌های ژانویه و ژوئن پایگاه اقلیمی NCEP/NCAR مربوط به سازمان جوی اقیانوسی ایالات متحده استفاده گردید در حالی که برای تحلیل فضایی رطوبت ویژه از داده‌های پایگاه میان برد اروپایی نسخه نهایی Era-Interim استفاده شد نظر به این که طول دوره آماری بلندمدت داده‌های پایگاه NCEP/NCAR برای تحلیل سری زمانی از میانگین ماهانه رطوبت ویژه این پایگاه برای تراز سطح زمین طی دوره آماری ۱۹۵۰-۲۰۱۶ استفاده گردید اما برای تحلیل تغییرپذیری فضایی فرین‌های رطوبت ویژه سطح زمین با توجه به کوچک بودن نسبی منطقه، از داده‌های پایگاه اقلیمی میان برد اروپایی که قدرت تفکیک فضایی آن برابر $0/125$ درجه قوسی یعنی ۲۰ برابر بالاتر از داده‌های NCEP/NCAR بود استفاده شد. برای آشکارسازی وجود روند فرین‌های رطوبت ویژه از دو آزمون آشکارسازی روند نا پارامتریک به نام تابع شیب سنس و آزمون نا پارامتریک گرافیکی من-کندال استفاده گردید. درحالی که برای ارزیابی روند فضایی رطوبت ویژه در منطقه مورد بررسی از تحلیل خودهمبستگی عمومی Moran، برای سه دوره آماری ۱۹۸۰-۱۹۹۰، ۱۹۹۰-۲۰۰۰ و ۲۰۰۰-۲۰۱۶، استفاده گردید. در ارزیابی روند داده‌ها با روش‌های غیر پارامتریک^۱ برای برآورد شیب واقعی سری زمانی

¹ Sen's Slope Estimator Nonparametric Method

رطوبت ویژه دو ماه فوریه و جولای از روش تخمین گر شیب سنس که یک روش نا پارامتریک برآورد شیب روند است استفاده شد. این روش بر اساس محاسبه یک شیب میانه برای سری زمانی و قضاوت نمودن در مورد معنی‌داری شیب به دست آمده در سطوح اعتماد مختلف است. $f(t)$ در معادله ۱ برابر است با:

$$f(t) = Qt + B \quad \text{معادله (۱)}$$

که Q ، شیب خط روند و B ، مقدار ثابت است. جهت محاسبه شیب خط روند یعنی Q ، ابتدا بایستی شیب بین هر جفت داده مشاهداتی، با استفاده از معادله (۲) محاسبه گردد:

$$Q_i = \frac{x_i - x_k}{k - i} \quad \text{معادله (۲)}$$

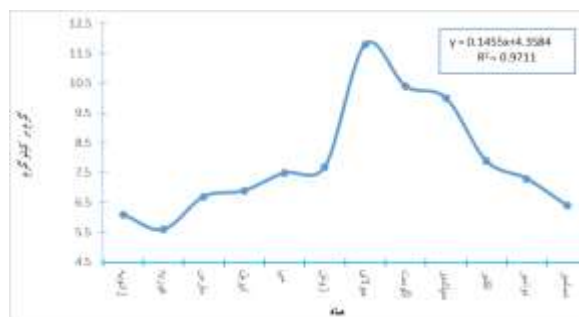
با قرار دادن این شیب‌ها در کنار یکدیگر یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه شده حاصل می‌آید. در مرحله بعد سری زمانی مورد مطالعه به دست می‌آید. برای این کار N تعداد از Q_i ها از کوچک به بزرگ مرتب می‌شوند و سپس با استفاده از رابطه ۳ اقدام به تعیین میانه سری زمانی می‌گردد. (در این پژوهش با توجه به طول ۶۷ ساله سری زمانی از رابطه ۳ استفاده گردید).

$$Q = Q_{[(N+1)/2]} \quad \text{معادله (۳)}$$

نتیجه حاصل از این معادلات، به دست آمدن شیب خط روند (Q_{med}) است. اگر شیب خط روند مثبت باشد حاکی از صعودی بودن روند اگر منفی باشد دال بر نزولی بودن روند است.

یافته‌ها

در نمودار شکل ۲ تغییرات ماهانه میانگین رطوبت ویژه تراز سطح زمین بر اساس میانگین فضایی ۳۷ ساله رطوبت ویژه همان‌طور که مشاهده می‌گردد، هر ساله میانگین فضایی رطوبت ویژه در این منطقه در ماه جولای به فرین بالای خود یعنی ۱۲ گرم در کیلوگرم رسیده است در حالی که در ماه فوریه این میانگین به کمترین مقدار خود یعنی ۵/۵ گرم در کیلوگرم رسیده است. لذا دو ماه جولای و فوریه به عنوان فرین‌های زمانی مکانی منطقه شمال خلیج فارس در نظر گرفته شده‌اند.

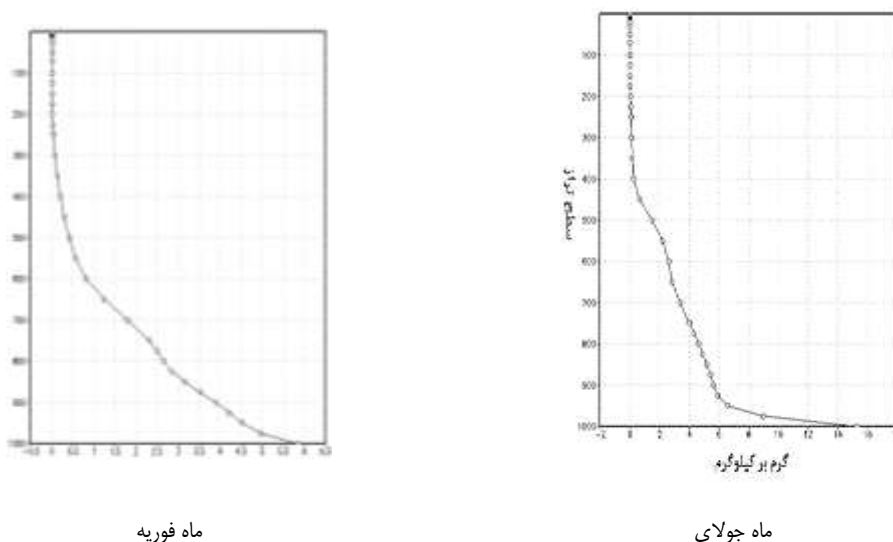


مأخذ: نگارندگان

شکل ۲ میانگین فضایی ماهانه رطوبت ویژه در منطقه مورد بررسی

(بر اساس میانگین دوره آماری ۶۷ ساله پایگاه اقلیمی ECMWF نسخه Era-intrim برای منطقه شمال خلیج فارس)

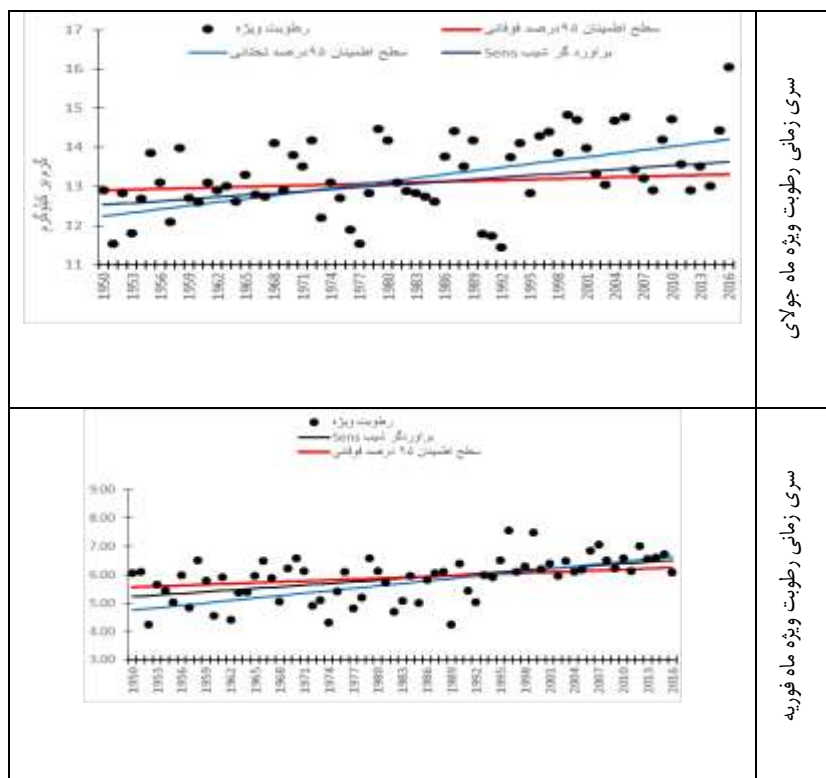
مطالعه توزیع عمودی ماهانه رطوبت ویژه در ترازهای مختلف جوی ۳۵ گانه منطقه مورد بررسی که به صورت نمودارهای شکل ۳ ارائه شده است بیانگر آن بود که تنها چهار تراز نزدیک به سطح زمین تغییرات ماهانه معنی داری نشان می‌دهند و ترازهای بالاتر از آن تغییرات ماهانه معنی داری نشان نداده‌اند. دامنه تغییرات ماهانه تراز ۹۰۰ میلی بار بین فوریه و جولای به کمتر از ۲/۵ گرم می‌رسد در حالی که این دامنه در تراز سطح زمین به ۹ گرم می‌رسد.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۳: توزیع عمودی رطوبت ویژه در سطوح تراز ۳۵ گانه جوی منطقه شمال خلیج فارس در دو ماه فرین فوریه و جولای بر اساس داده‌های رطوبت ویژه پایگاه ECMWF نسخه Era-Interim

در نمودار شکل ۴ میانگین فضایی سالانه سری زمانی کمینه و بیشینه رطوبت ویژه ماه‌های جولای و فوریه برای منطقه طی دوره آماری ۱۹۵۰-۲۰۱۶ ارائه شده است. تخمین گر شیب Sens که به صورت جدول شماره ۱ ارائه شده است بیانگر آن بود که هر دو سری زمانی ۶۷ ساله رطوبت ویژه طی دوره آماری ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۶ هم در ماه فوریه و هم در ماه جولای روند افزایشی معنی داری داشته‌اند. شیب این سری زمانی بر اساس تخمین گر Sens برای ماه فوریه برابر ۰/۰۲ گرم در سال و برای ماه جولای برابر ۰/۰۱۷ در سال بوده است که هر دوی این شیب‌ها در سطح اطمینان ۰/۹۵ درصد (P_value = 0.05) معنی دار بوده است.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۴: سری زمانی ۶۷ ساله رطوبت ویژه ماه‌ها جولای و فوریه (فرین‌های سالانه) و برآوردگر شیب Sens

باند سطح اطمینان ± 95 نیز به صورت دو پارامتر Q_{min} و Q_{max} ارائه شده است که در هر حالت سطح اطمینان $0/95$ فوقانی شیب سری زمانی رطوبت ویژه برای ماه فوریه برابر $0/029$ گرم در سال بوده است و در سطح اطمینان $0/95$ تحتانی این شیب برای ماه فوریه برابر $0/01$ بوده است در حالی که برای ماه جولای در سطح $0/95$ فوقانی و تحتانی به ترتیب برابر $0/03$ و $0/006$ بوده است.

جدول ۱: پارامترهای تخمین گر شیب سری زمانی ۶۷ ساله رطوبت ویژه ماه‌های فوریه و جولای

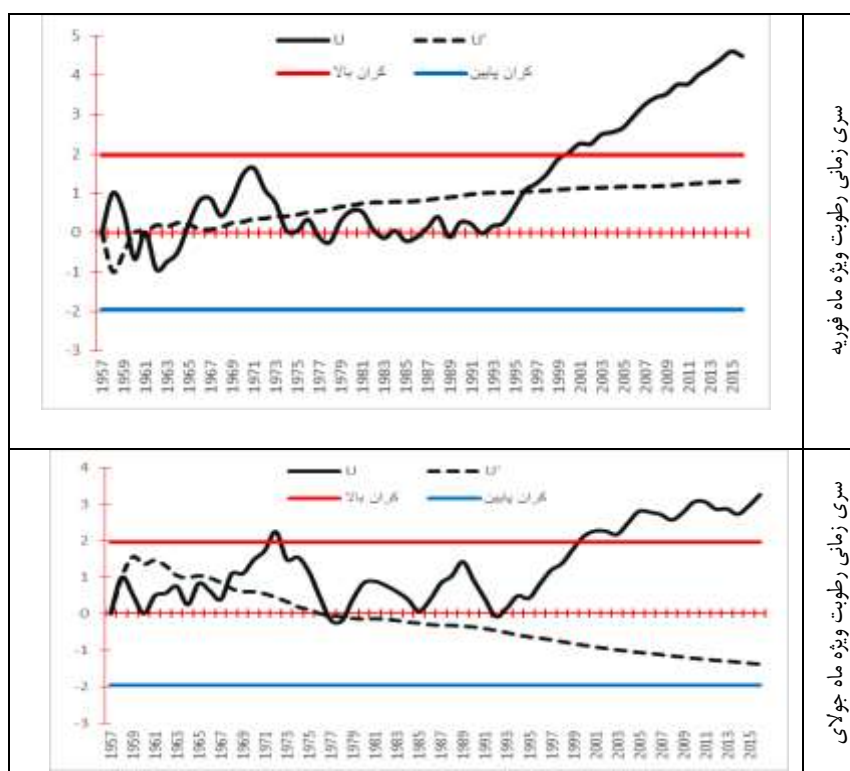
برای میانگین فضایی سالانه شمال خلیج فارس

پارامترها تخمین گر Sens	فوریه	جولای
Q	۰/۰۲	۰/۰۱۷
Qmin95	۰/۰۱	۰/۰۰۶
Qmax95	۰/۰۲۹	۰/۰۳
B	۵/۲۲	۱۲/۵۲
Sig

مأخذ: نگارندگان

برآوردگر شیب Sens نشان داد که هر دو سری زمانی رطوبت ویژه ماه‌های فوریه و جولای روند افزایش معنی‌داری داشته‌اند، برای آشکارسازی سال جهش یا آغاز روند از آزمون گرافیکی من-کندال استفاده شده که به صورت دو نمودار

شکل ۵ ارائه شده است، همان طور که مشاهده می‌گردد، دو سری U و U' در سال ۱۹۹۷ همدیگر را قطع نموده‌اند. سری زمانی ۶۷ ساله رطوبت ویژه ماه فوریه، از سال ۱۹۹۷ دچار جهش در میانگین شده است و از آن سال به بعد، به صورت معنی‌داری روند افزایش داشته است. نمودار سری زمانی رطوبت ویژه ماه جولای نیز از سال ۱۹۷۸ دچار جهش در میانگین شده است اما از سال ۱۹۹۹ به صورت معنی‌داری روند افزایش گرفته است.



ماخذ: نگارندگان

شکل ۵: آزمون گرافیکی من-کندال برای آشکارسازی روند سری زمانی داده‌های ۶۰ ساله رطوبت ویژه ماه جولای و فوریه

مشخصات آمار توصیفی توزیع فضایی رطوبت ویژه در سه دوره در جدول ۲ ارائه شده است، در دوره اول میانگین فضایی رطوبت ویژه در منطقه مورد بررسی در فوریه و جولای به ترتیب برابر ۶ و $۱۰/۲$ گرم بر کیلوگرم بوده است در حالی که در دوره دوم این میانگین افزایش داشته و برای این دو ماه به ترتیب به $۶/۲$ و $۱۱/۶$ گرم می‌رسد و در دوره سوم نیز میانگین فضایی رطوبت ویژه منطقه مورد بررسی برای ماه‌های فوریه و جولای به ترتیب به $۶/۶$ و $۱۱/۹$ گرم می‌رسد. به موازات افزایش میانگین فضایی رطوبت ویژه در سه دوره مورد بررسی همان طور که در جدول ۲ دیده می‌شود، انحراف معیار فضایی و سپس شاخص ضریب تغییرپذیری فضایی سری نیز کاهش می‌یابد. در دوره اول در ماه‌های فوریه و جولای شاخص ضریب تغییرپذیری فضایی به ترتیب برابر $۰/۱۶$ و $۰/۳۰$ بوده است در حالی که در دوره دوم ضریب تغییرپذیری توزیع رطوبت ویژه در منطقه مورد مطالعه به ترتیب به $۰/۱۳$ و $۰/۲۳$ رسیده است و در دوره سوم باز هم ضریب تغییرات کاهش یافته به طوری که ضریب تغییرات توزیع فضایی رطوبت ویژه در منطقه مورد بررسی برای ماه

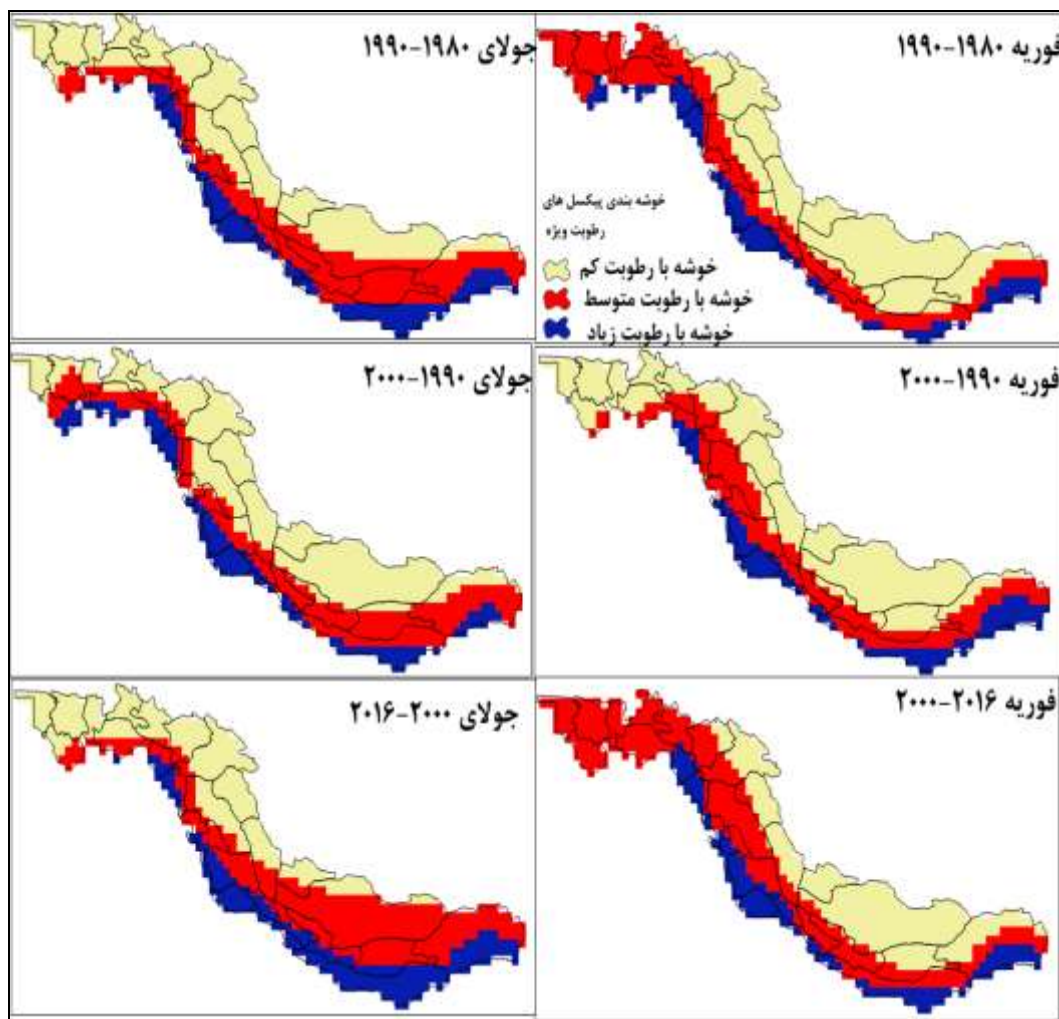
فوریه و جولای به ترتیب برابر ۰/۱۱ و ۰/۲۰ بوده است. شاخص چولگی نیز طی سه دوره روند کاهشی داشته که نشان‌دهنده آن است که توزیع فضایی رطوبت ویژه به سمت همگونی فضایی رفته است؛ بنابراین توزیع فضایی رطوبت ویژه طی دوره سه دوره آماری مورد بررسی دارای دو ویژگی بسیار مهم بود اول اینکه به‌طور کلی میانگین رطوبت ویژه منطقه در این دو ماه بالاتر رفته است و دوم توزیع فضایی رطوبت ویژه بر اساس شاخص ضریب تغییرات و چولگی به سمت همگونی فضایی میل کرده است.

جدول ۲: مشخصات آماری توزیع فضایی رطوبت ویژه در منطقه مورد بررسی در سه دوره

دوره‌های مورد بررسی	میانگین فضایی	انحراف معیار	ضریب تغییرات	چولگی
۱۹۹۰-۱۹۹۰	فوریه	۰/۹۷	۰/۱۶	۱/۹
	جولای	۳/۱	۰/۳۰	۲/۲
۲۰۰۰-۱۹۹۰	فوریه	۰/۸۳	۰/۱۳	۱/۶
	جولای	۲/۶	۰/۲۳	۲
۲۰۱۶-۲۰۰۰	فوریه	۰/۷	۰/۱۱	۱/۲
	جولای	۲/۴	۰/۲۰	۱/۹

مأخذ: نگارندگان

برای ارزیابی ویژگی‌های توزیع فضایی رطوبت ویژه در منطقه مورد بررسی، اقدام به خوشه‌بندی پیکسل‌های رطوبت ویژه برای هر دوره گردید، همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌گردد، پیکسل‌ها به سه خوشه رطوبت کم، رطوبت متوسط و رطوبت بالا تفکیک گردید. تحلیل آماری پیکسل‌های هر طبقه نشان داد که دوره اول و دوم خوشه رطوبت کم بیشترین تعداد پیکسل‌های رطوبت ویژه منطقه را به خود اختصاص داده است درحالی‌که در دوره سوم، پیکسل‌های با رطوبت ویژه متوسط بیشترین فراوانی را داشته‌اند. طی سه دوره آماری مورد بررسی، تعداد پیکسل‌هایی که در خوشه با رطوبت کم قرار گرفته‌اند، روند کاهشی داشته است به‌گونه‌ای که در دوره اول در ماه فوریه تعداد پیکسل‌های با رطوبت کم ۰/۵۳ از کل پیکسل‌ها و در دوره دوم ۰/۴۹ از کل پیکسل‌های منطقه را به خود اختصاص داده است درحالی‌که در دوره سوم این مقدار به ۰/۲۹ رسیده است که به‌صورت معنی‌داری کاهش پیدا کرده است. در ماه جولای، نیز چنین روند کاهشی در وسعت فضایی خوشه با رطوبت ویژه کم مشاهده می‌شود، به‌طوری‌که طی ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۶، از ۰/۴۷ به ۰/۳۱ رسیده است. خوشه با رطوبت زیاد در ماه فوریه دوره اول حدود ۰/۱۸ از کل پیکسل‌ها را به خود اختصاص داده است و در دوره دوم نیز این پیکسل‌ها در همین ماه ۰/۱۸۲ کل پیکسل‌ها درحالی‌که دوره سوم این پیکسل‌ها ۰/۲۴ از کل پیکسل‌ها را به خود اختصاص داده است. در ماه جولای پیکسل‌های با رطوبت زیاد در سه دوره اول تا سوم به ترتیب برابر ۰/۱۷۴، ۰/۱۹۴ و ۰/۲۷ بوده است. خوشه‌های با رطوبت متوسط برای ماه فوریه سه دوره مذکور، به ترتیب ۰/۳۵، ۰/۳۰ و ۰/۴۶ از فراوانی پیکسل‌ها را به خود اختصاص داده‌اند و برای ماه جولای نیز به ترتیب ۰/۳۵، ۰/۳۳ و ۰/۴۱ بوده است.



مأخذ: نگارندگان

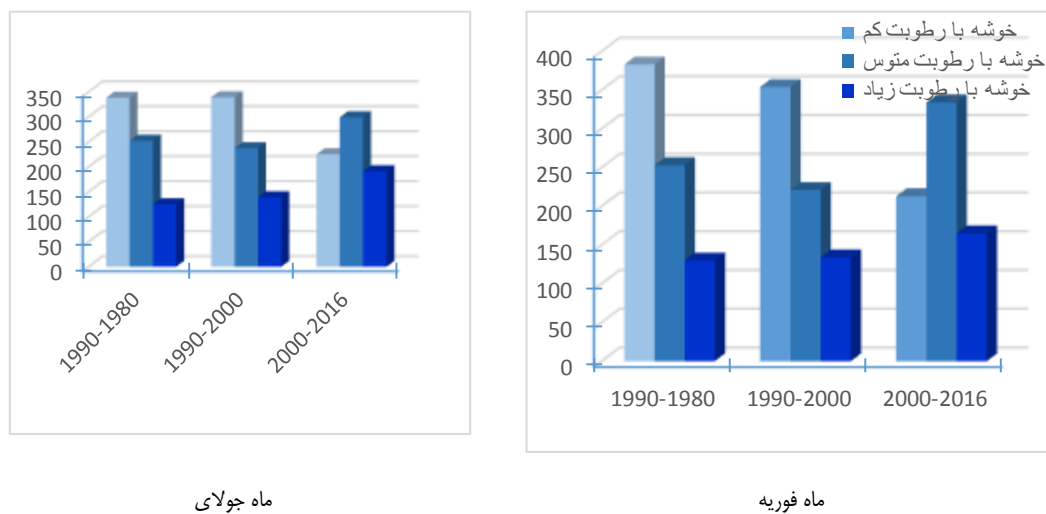
شکل ۶: خوشه‌بندی پیکسل‌های رطوبت ویژه میانگین سه دوره آماری در ماه‌های جولای و فوریه (بر اساس داده‌های رطوبت ویژه پایگاه ECMWF نسخه Era-Interim، با گریدهای ۰/۱۲۵ درجه قوسی)

جدول ۳: شاخص‌های تحلیل فضایی رطوبت ویژه

دوره ۲۰۱۶-۲۰۰۰		دوره ۲۰۰۰-۱۹۹۰		دوره ۱۹۹۰-۱۹۸۰		دوره
فوریه	جولای	فوریه	جولای	فوریه	جولای	ماه
۲۱۳	۲۲۵	۲۵۴	۲۳۹	۳۸۳	۳۳۸	خوشه با رطوبت کم
۳۳۴	۲۹۹	۲۲۱	۲۳۷	۲۵۳	۲۵۲	خوشه با رطوبت متوسط
۱۶۵	۱۹۱	۱۳۴	۱۳۹	۱۳۰	۱۲۵	خوشه با رطوبت زیاد
-۰/۴۲	-۰/۳۸	-۰/۸۲	-۰/۸۴	-۰/۸۷	-۰/۸۲	Moran's I
-۰/۰۰۱۴	-۰/۰۰۱۴	-۰/۰۰۱۴	-۰/۰۰۱۴	-۰/۰۰۱۴	-۰/۰۰۱۴	Expected I
۱۵/۳	۱۴/۲	۳۰/۱	۲۹/۶۴	۳۱/۳۴	۲۹/۳	ZScore
۰۰/۰۰	۰۰/۰۰	۰۰/۰۰	۰۰/۰۰	۰۰/۰۰	۰۰/۰۰	P_value

مأخذ: نگارندگان

توزیع فضایی خوشه‌های رطوبتی طی سه دوره مورد بررسی به صورت نمودار شکل ۷ ارائه شده است. آماره خودهمبستگی Moran عمومی بیانگر خوشه‌ای بودن توزیع فضایی رطوبت ویژه در منطقه است اما در دوره سوم به صورت چشمگیری شدت خوشه‌ای بودن کاسته شده است به طوری که آماری Moran عمومی به ۰/۳۸ و ۰/۴۲ در ماه‌های جولای و فوریه دوره سوم، کاهش داشته است. این کاهش شدت خوشه‌ای بودن توزیع فضایی رطوبت ویژه در منطقه مورد بررسی گویایی این است که در دوره سوم، به طور کلی توزیع فضایی رطوبت ویژه تمایل به پخش فضایی گسترده‌تر داشته است در حالی که در دوره اول و دوم خوشه‌های مرطوب و خشک به صورت کاملاً بارز از هم تفکیک شده بودند.



شکل ۷: روند فضایی سه خوشه با رطوبت کم، رطوبت متوسط و رطوبت بالا، طی سه دوره

مأخذ: نگارندگان

بحث و نتیجه گیری

نتایج نشان داد که رطوبت ویژه در هر دو ماه طی دوره ۶۷ ساله مورد بررسی روند افزایش معنی‌داری داشته است. به گونه‌ای که رطوبت ویژه ماه فوریه، حدود ۰/۰۲ گرم در سال افزایش داشته است و این افزایش برای ماه جولای ۰/۰۱۷ گرم در سال بوده است هر دو سری دچار جهش یا تغییر در میانگین شده‌اند و بعد از آن روند افزایش معنی‌داری را طی کرده‌اند، به گونه‌ای که در ماه فوریه در سال ۱۹۹۷ یک جهش معنی‌دار در میانگین فضایی رطوبت منطقه رخ داده است و از آن سال به بعد روند افزایش معنی‌دار طی شده است سال جهش در ماه جولای ۱۹۹۹ بوده است که از آن سال به بعد روند افزایش کاملاً معنی‌داری مشاهده شده است. به طور کلی میانگین عمومی رطوبت ویژه در سطح منطقه بالاتر رفته است به موازات افزایش، توزیع فضایی آن نیز به سمت همگون‌تر و تغییرپذیری فضایی کمتر میل کرده است به طوری که در ابتدا توزیع فضایی نسبتاً خوشه‌ای بوده در حالی که در آخر به صورت معنی‌داری توزیع تصادفی‌تر و هموزن‌تر شده است اما هنوز ساختار خوشه‌ای آن پابرجا است. این رفتار زمانی و مکانی توزیع رطوبت ویژه که در هر دو حالت

افزایشی بوده است، می‌تواند در پاسخ به افزایش عمومی دما به‌عنوان یکی از اثرات جانبی تغییر اقلیم مدنظر قرار گیرد و از آن به‌عنوان یکی از شاخص‌های بازیابی تغییرات آب و هوایی استفاده شود. تغییر اقلیم یا به عبارت دقیق‌تر گرمایش جهانی (که در مورد آن برخلاف اصطلاح تغییر اقلیم اجماع جهانی وجود دارد) در واقع به تغییرات زمانی مکانی میانگین بلندمدت عناصر اقلیمی اشاره دارد. در این راستا نتایج این پژوهش به‌وضوح نشان داد که رطوبت ویژه منطقه مورد بررسی در راستای گرمایش جهانی، دچار تغییرات اساسی شده است. رطوبت ویژه به‌خودی‌خود تابع دمای هوا می‌باشد و اینکه پژوهش‌های متعددی در سطح کشور و جهان افزایش میانگین دما را در سطح جهانی به‌عنوان یک مسئله ثابت‌شده نشان داده‌اند، لذا در پاسخ به این افزایش عمومی میانگین دما، ظرفیت رطوبت‌پذیری هوا بالاتر رفته است و به دنبال آن میزان رطوبت ویژه نیز در پاسخ به گرمایش جهانی روند افزایش داشته است که مقدار این افزایش در منطقه مورد مطالعه در این پژوهش اثبات گردید و سال آغاز این تغییر نیز مشخص شد؛ اما ارتباط بین افزایش دما و افزایش رطوبت یک رابطه سینرژیک است به‌نحوی که افزایش دمای عمومی هوا موجب افزایش عمومی رطوبت شده و از طرف دیگر افزایش رطوبت نیز با ایفای نقش گلخانه‌ای مانع از خروج تابش بلند زمین شده و موجب بالا رفتن مجدد دما می‌گردد و بدین ترتیب این سیکل سینرژیک همواره در حال تقویت‌شده است. این تغییرات می‌تواند راهنمای برنامه‌ها و پژوهش‌های باشد که نتایج آن‌ها جهت بهره‌برداری آب جو مورد استفاده است، همچنین آنومالی‌های بارش را در منطقه توجیه کند. رابطه بارندگی‌های زمستانه هم‌زمان با ناهنجاری‌های مثبت دمای سطح دریا در تابستان چشمگیر بوده است. تغییرات اقلیمی سال‌های اخیر باعث شده میزان رطوبت ویژه در سواحل شمالی خلیج فارس افزایش یابد. به این ترتیب با افزایش رطوبت در سواحل شمالی خلیج فارس از نظر اقتصادی می‌توان امیدوار بود استحصال آب از جو در این منطقه مقرون به‌صرفه شده باشد. شرایط بالقوه برای توسعه و گسترش زیرساخت تکنولوژیکی جهت بهره‌برداری از آب جو در منطقه وجود دارد.

منابع

۱. بابائیان، ایمان. زهرا نجفی و محمد حبیبی نوخندان و حامد ادب و شراره ملبوسی و فاطمه عباسی. (۱۳۸۷): ارزیابی تغییر اقلیم در دوره آماری ۲۰۳۹ تا ۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریز مقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G. جغرافیا و توسعه، ۱۶: ۱۵۲ تا ۱۳۵
۲. خسروی، محمود. محمد سلیقه و بهروز صباغی. (۱۳۹۰): تأثیر دمای سطح دریای عمان بر بارش فصول پاییز و زمستان سواحل جنوب شرقی ایران. نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز، سال ۱۶، شماره ۳۷: ۵۸-۸۱.
۳. خوشحال، جواد. محمود خسروی و حمید نظری پور. (۱۳۸۸): شناسایی منشأ و مسیر رطوبت بارش‌های فوق سنگین استان بوشهر. مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۶: ۷-۲۸.
۴. دانش کار آراسته، پیمان. علیرضا شکوهی. (۱۳۸۷): در جستجوی اثرات تغییر اقلیم بر شرایط آب و هوایی و منابع آب‌های سطحی ایران. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب.
۵. عزیززی، قاسم. علی‌اکبر شمسی‌پور و داریوش یاراحمدی. (۱۳۸۷): بازیابی تغییر اقلیم در نیمه غربی کشور با استفاده از تحلیل‌های آماری چند متغیره. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۶: ۳۵-۱۹.

- ۶ علیجانی، بهلول. محمدرضا کاویانی. (۱۳۸۵): مبانی آب و هواشناسی. تهران، انتشارات سمت.
- ۷ قاله‌ری، فلاح. غلام عباسی و مهدی اسدی و عباسعلی رودباری. (۱۳۹۴): تحلیل فضایی پراکنش رطوبت در ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۴: ۶۳۷-۶۵۰.
- 8- Abrahimi, H. Alizadeh, A. and Javanmard, S. (2004): Investigation of Temperature Change in Mashhad Plain As The Index of Climate Change in Region, *Geographical Research*, 4: 5-18.
- 9- Alison, L.K. Richard, and S.R. Nicholas, (2004): RCM Rainfall for UK Flood Frequency Estimation II, *Climate Change Results*, J, *Hydrol.* 318: 163-172.
- 10- Alizadeh, A. and KAMALI, k. (2002): The Impact of Climate Change on The Increase Consumption of Water in Agriculture on The Mashhad Plain, *Geographical Research* 65-66: 189-201.
- 11- Cutforth, H.W. Wood Wing, B.G. McCovey, R.J. Smith, D.G. Jefferson, P.G. and Akinrmy, O.O. (1999): Climate Change in The Semiarid Prairie of Southwestern Saskatchewan, Late Winter-Early Spring, *J, Plant. Sci* 79:343-353.
- 12- Ferrise, R. Moriondo, M. and Binidi, M. (2009): Climate Change and Projected Impacts in Agriculture an Example on Mediterranean Crops, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. (11) EGU2009-7229.
- 13- Gellen, D. and E. Roulin, (1998): Stream Flow Response of Belgian to IPCC Climate Change Scenarios, *J, Hydrol*, 210:242-258.
- 14- Ghorbanizadeh, Kharazi, H. Sadeghi, H. Saghian, B. and porhemmat, J. (2009): The Investigation of Climate Change Impacts, *Journal of Watershed Management Science*, 9: 45-50.
- 15- Gunn Persson, L. Graham. P. and Andreessen, J. (2004): Impact of Climate Change Effects Effects on Sea level Rise in Combination, SE 601 76 Norrkoping, Sweden
- 16- Hegerl, G. Zwiers, F. Braconnot, P. Gillet, N. Luo, Y. Marengo, J and Stott, P. (2011): Understanding and Attributing Climate Change.
- 17- Hulme, M. (1996): *Climate Change Within the Period of Meteorological Records* (pp. 88-102), UK: Oxford University Press Oxford.
- 18- Jung, II.W. And H. Change, (2010): Assessment of Future Rupture Trends Under Multiple Climate Change Scenarios in The Willamette River Basin, Oregon. USA, *Journal of Hydrologh*
- 19- Khalili Aghdam, N. Mosaedi, A. and Latifi, N. (2009): Investigation of Climate Change im Oromieh, *Journal of Water and Soil Conservation*, 4:141-151.
- 20- Payne, J.T. Wood, A.W. Hamlet, A.F. Palmer, R.N. and Lettenmaier, D.P. (2002): Mitigating The Effect of Climate Change on The Water, *Join Institute for The Study of The Atmosphere*, NA17RJ1232.
- 21- Poor Mohammadi, S. M.T. Dastorani, S.A.M. Cheraghi and M.H. Mokhtarin. (2008): Derermination of Most Important Climatic Factor Effecting Evapotranspiration Using Multi-Variable Regression Analysis, University of Kerman, 56 Pp. (In Persian).
- 22- Remrova, M. and B.M. Cislrova, (2010): Analysis of Climate Change Effects on Evapotranspiration in The Watershed Ulrika in The Jizera Mountains, *Journal of soil and Water Research*, 5(1): 28-38.
- 23- Rodriguez Diaz, J.A. Weather head, J.W. Knox, E. Camacho, (2007): Climate Change Impacts on Irrigation Water Requirement Sin The Guadalquivir River Basin in Spain Reg *Environ Change*, 7:149-159.
- 24- Zhang, Shifeng, Hua, Dong, Meng, Xiujing and Zhang, Pyongyang, (2011): Climate Change and Its Driving Effect on The Runoff in The, Three-River.
- 25- Zhao, C. Wang, W and Xing, W. (2012): Regional Analysis of Extreme Temperature Indices for The Haihe River Basin, From 1960 to 2009. *International Conference on Modern Hydraulic Engineering*, 28: 604-607.