



ارزیابی بارش و دما بر مبنای توسعه و تعمیم شاخص دریای شمال - خزر برای دوره آتی در سواحل جنوبی دریای خزر

امین گری^۱، عبدالعظیم قانقرمه^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد رشته آب و هواشناسی دانشگاه گلستان

^۲ دانشیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه گلستان، گرگان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۸/۲۳

چکیده

تغییرپذیری مولفه‌های دما و بارش و نقش تغییر اقلیم بر روی آنها و همچنین تأثیر شاخص‌های بزرگ مقیاس اقلیمی در سالهای اخیر توسط محققین در حوزه‌های مختلف علمی مورد توجه خاصی قرار گرفتند. یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها با مقیاس منطقه‌ای که به نوعی در شرق اقیانوس اطلس با شاخص NAO در یک محدوده عمل می‌کند به شاخص دریای شمال - خزر (NCP) اشاره نمود. در این پژوهش، از سه دسته داده شامل مولفه‌های دما و بارش، داده‌های بازکاوی شده ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال و داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال بر اساس ۱۴ مدل اقلیمی استفاده کردیم. در مرحله اول شاخص NCP برای دوره‌های آتی توسعه و تعمیم و سپس فازهای مثبت و منفی آن برای دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 مشخص شد و همچنین مولفه‌های حداکثر دما، حداقل دما، نرخ بارش و تعداد روزهای بارشی نیز برای دوره‌های آتی ریزمقیاس نمایی گردیدند. با توجه به آینده‌نگری انجام‌شده برای فازهای مثبت و منفی این شاخص مشخص شد که برای دوره آتی ۲۰۴۱-۲۰۶۰ دمای حداکثر و حداقل در هر دو فاز بر مبنای دو سناریو افزایش خواهند یافت. آینده‌نگری نرخ و تعداد روزهای بارشی نیز نشان داد که رفتار تغییرات بارش در دوره آتی نسبت به دوره پایه بی‌نظم‌تر از مولفه دما خواهد بود. بطوریکه مشخص گردید میانگین تعداد روزهای بارش در سناریوی RCP4.5 در هر دو فاز از روند کاهشی برخوردار خواهند بود و همچنین در هر دو فاز نرخ بارش در ایستگاههای که با بدنه آبی دریای خزر فاصله نزدیکی دارند افزایش قابل توجهی را خواهند داشت. همچنین بر مبنای سناریوی RCP8.5 متوسط تعداد روزهای بارش منطقه مورد مطالعه در فاز مثبت نسبت به دوره پایه در حدود ۵ روز کاهش و در فاز منفی ۴ روز افزایش خواهد یافت.

واژه‌های کلیدی: شاخص NCP، تغییر اقلیم، سناریوهای اقلیمی، فازهای مثبت و منفی.

مقدمه

تغییرپذیری مولفه‌های اقلیم محلی و منطقه‌ای همچون ویژگی‌های دمایی و بارشی و نقش تغییر اقلیم بر روی آنها و همچنین تأثیر شاخص‌های بزرگ مقیاس اقلیمی در سال‌های اخیر توسط محققین در حوزه‌های مختلف علمی مورد توجه خاصی قرار گرفتند. از جمله مهم‌ترین شاخص‌های اقلیمی را می‌توان به شاخص نوسانات آتلانتیک شمالی (NAO)، نوسانات جنوبی

(SOI)، نوسانات قطبی نیمکره شمالی (AO) و نیمکره جنوبی (AAO) اشاره نمود. لویز - مورنو و همکارانش (۲۰۰۸) فازهای مثبت و منفی شاخص NAO را در ارتباط با خشکسالی اروپا با استفاده از یک روش چند زمانه مطالعه نمودند، بر این اساس مشخص کردند که در طی مراحل مثبت یا منفی شاخص NAO، خشکسالی‌ها در جنوب اروپا و شمال آن متفاوت عمل کرده است. فولند و همکارانش (۲۰۰۹) شاخص نوسانات NAO را برای دوره تابستانی تحت عنوان SNAO تعریف کردند و برای دوره گذشته، حال و

*نویسنده مسئول: a.ghanghermeh@gu.an.ir

آینده بررسی نمودند و معتقدند SNAO اگرچه از دامنه زمانی کمتری نسبت به زمستان برخوردار است، اما با تغییر موقعیت مسیر طوفان‌های آتلانتیک شمالی، تأثیر شدیدی بر میزان بارندگی، دما و ابرناکی شمال اروپا دارد. از این‌رو، در تولید ناپایداری‌های تابستانی از جمله طغیان، خشکسالی و تنش گرمایی در شمال غربی اروپا از اهمیت اساسی برخوردار است. روسی و همکارانش (۲۰۱۳) مدل گردش عمومی MPI/ECHAM5 را با شبیه‌سازی شاخص‌های ارتباط از راه دور در اروپا مورد مطالعه قرار دادند و در این پژوهش از دو شاخص NAO و NCP استفاده نمودند در این پژوهش ابتدا شبیه‌سازی‌های مدل گردش عمومی MPI/ECHAM5 برای دو شاخص ارتباط از راه دور با داده‌های NCEP / NCAR برای دوره ۱۹۹۱-۲۰۰۰ کنترل کردند و سپس در هر دو مقیاس زمانی و مکانی ارزیابی می‌شوند، اهداف اصلی کار آنها تأیید اعتبار مدل اقلیمی GCM/ECHAM5 در مورد دو شاخص ارتباط از راه دور بوده است. برانوا و همکارانش (۲۰۱۳) رابطه بین شاخص نوسان آتلانتیک شمالی (NAO) و دما در اروپا را با استفاده از مدل‌های اقلیمی مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که شاخص NAO مولفه مفیدی در نمایش شدت سرمایش زمستانی است و با مقادیر خروجی شدت سرمایش مدل‌ها، برای دمای روزانه و احتمال آنها تحت تأثیر تغییر اقلیم همخوانی دارد و بر این اساس می‌تواند در بهبود کارایی مدل‌های اقلیمی و درجه اعتبار آنها بسیار مفید باشد. دیوی و همکارانش (۲۰۱۴) احتمال تأثیر ENSO بر میزان بارش و دمای سطح اقیانوس را با استفاده از داده‌های مشاهداتی و شبکه‌بندی شده مجدد مطالعه نمودند. برای این کار داده‌ها را در سه طبقه نرمال، بالای نرمال و پایین نرمال گروه‌بندی کردند و از این طریق احتمال وقوع آنها را بر طبق دوره ال نینو و لانینا مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که وقوع بارش در یک فصل و نقطه خاص در مناطق تأثیرگذار این پدیده بر روی زمین، مشروط به دمای سطح اقیانوس آرام در محدوده استوا است. ویس و همکارانش (۲۰۱۵)

الگوهای بارش در فصول سرد مرتبط با تعاملات ارتباط از راه دور در ایالات متحده را مطالعه نمودند نتایج کار آنها نشان می‌دهد که ترکیب سایر ارتباطات از راه دور نیمکره شمالی می‌تواند الگوهای تأثیر ENSO و NAO را کاهش یا تغییر دهد. این نتایج نشان می‌دهد که پیش‌بینی بارش فصلی ممکن است با ترکیب چندین شاخص ارتباط از راه دور مهم منطقه‌ای بهبود یابد. کلیری و همکارانش (۲۰۱۷) با بررسی نسبت ایزوتوپ پایدار نیتروژن در فصولات خفایش‌ها در غارهای کشور رومانی، شواهدی از تأثیر طولانی‌مدت NAO بر میزان بارش زمستانی در اروپا پیدا کردند بطوریکه در فراوانی فاز منفی NAO ایزوتوپ پایدار نیتروژن افزایش و این دوره شرایط مرطوب و در فراوانی مثبت آن نیز شرایط اقلیمی خشک تر و میزان ایزوتوپ نیز کاهش یافته است. ریاض و همکارانش (۲۰۱۷) تأثیر نوسان آتلانتیک شمالی (NAO) بر آب‌وهوای زمستانی کشور آلمان را مطالعه نمودند و با تفکیک منطقه فعالیت NAO به‌عنوان محدوده مرکزی، پرفشار آזור و کم‌فشار ایسلند مشخص کردند که همبستگی ضعیفی بین بارش آلمان با شاخص NAO دیده می‌شود؛ اما با محاسبه جداگانه با مراکز پرفشار آזור و کم‌فشار ایسلند تأثیر اولیه تغییرپذیری بارش زمستانی بهتر مشخص می‌شود. از طرف دیگر زمانی که مرکز کم‌فشار ایسلند در شرق موقعیت میانگین خود قرار می‌گیرد بارش بیش از حد نرمال و دما در کشور آلمان افزایش می‌یابد. لئو و همکارانش (۲۰۱۸) تغییرات خطی و غیرخطی نوسانات اطلس شمالی (NAO) را با استفاده از یک روش جدید با نام تفکیک تقارن ارائه دادند، برای این کار از یک مدل اندرکنش چند مقیاسی غیرخطی یکپارچه برای تشریح غیرخطی بودن و شاخص‌های حرکتی NAO استفاده نمودند. براین اساس علت عدم تقارن شدید بین فاز مثبت و منفی NAO با رودباد اطلس شمالی مرتبط بوده است. بطوریکه در فاز مثبت با دامنه کوچک‌تر حرکت به‌سوی شرق و با ماندگاری کمتری مشخص می‌شود. رفتار مخالف برای فاز منفی NAO به دلیل تغییر معکوس رودباد آتلانتیک شمالی در طول چرخه

بررسی سناریوهای اقلیمی خیلی گرم به این نتیجه رسیدند که نوسانات قطبی از نظر موقعیت نیمکره‌ای تغییر خواهد کرد که تأثیر آن در مسیر سیستم‌های توفانی اطلس دیده خواهد شد در حالیکه موقعیت نوسانات اطلس شمالی (NAO) تغییری نخواهد کرد.

همچنین یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها با مقیاس منطقه‌ای که به‌نوعی در شرق اقیانوس اطلس با شاخص NAO در یک محدوده عمل می‌کند به شاخص دریای شمال - خزر (NCP) را اشاره نمود که برای اولین بار کوتیل و همکارش (۲۰۰۱) پیشنهاد دادند. بطوریکه در معرفی این شاخص مدعی شدند که با شاخص NAO هیچ رابطه معنی‌داری وجود ندارد و از طرف دیگر نتیجه گرفتند دمای زیر نرمال و بارش بالای نرمال در منطقه بالکان و خاورمیانه با فاز مثبت و برعکس آن نیز با فاز منفی همراه است. همچنین مطالعات مختلفی در ارتباط با تأثیر این شاخص بخصوص در محدوده بین دریای مدیترانه تا ایران انجام شده است که ازجمله آنها می‌توان به کارهای متعددی اشاره نمود، بطوریکه کوتیل و همکارش (۲۰۰۵) شواهد جدیدی از نقش شاخص NCP بر رژیم دما و بارش بر روی ترکیه پیدا کردند بطوریکه با بررسی سری زمانی ماهانه دما و بارش برای هر ایستگاه به‌طور جداگانه در دو فاز مثبت و منفی شاخص مشخص کردند که دما در طی فاز منفی NCP به‌طور قابل توجهی بالاتر از فاز مثبت آن می‌باشد؛ اما تفاوت معنی‌داری در میزان بارش بین دو فاز مشاهده نشد، اما تفاوت عمده در ساختار فضایی آنها مشخص شد. گوندوز و همکارش (۲۰۰۵) تأثیر الگوی خزر دریای شمال (NCP) در حوضه‌های دریایی منطقه اوراسیایی - مدیترانه‌ای (دریاهای مدیترانه، سیاه و خزر) با استفاده از تجزیه و تحلیل توابع تجربی متعامد (EOF) بررسی کردند. براین اساس تأثیر NCP بر شارهای سطحی مومنوم و گرما و همچنین بر چرخش و واگرایی تنش باد در همه حوضه‌های مورد مطالعه مشهود گردید. به‌ویژه، شار حرارتی دریای اژه و جنوب دریای سیاه به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر NCP قرار می‌گیرند. علاوه بر

آن دیده می‌شود؛ بنابراین، نتایج فوق نشان می‌دهد که NAO در حالت مثبت یا منفی به دلیل تغییرات مختلف در رودباد اقیانوس اطلس شمالی بین هر دو مرحله، فرایندی خطی (غیرخطی) به‌عنوان یک نتیجه طبیعی از تکامل NAO است. بهرامی و همکارانش (۲۰۲۰) پیامد تغییر فازهای ENSO از ال نینو به لانینا و برعکس را بر روی گردش اتمسفری، بارش و دمای فصل پاییز بر روی خاورمیانه مطالعه نمودند و به این نتیجه رسیدند که در طول دوره تبدیل فازها ساختار فشار سطح دریا (SLP) در مناطق وسیعی از اقیانوس اطلس تغییر می‌کند به‌گونه‌ای که اختلاف فشار بین ایسلند و آزور در هنگام انتقال از ال نینو به لانینا کم و حالت برعکس آن افزایش می‌یابد و این شرایط سبب افزایش یا کاهش بارش در منطقه خاورمیانه می‌شود. ارماکوا و همکارانش (۲۰۱۹) تأثیر ENSO را بر روی الگوی گردش اتمسفری باد، دما و امواج سیاره‌ای نیمکره شمالی با استفاده از مدل اتمسفری سطوح فوقانی و آنالیز دوره‌های گذشته آن مشخص کردند که در فاز ال نینو میانگین باد مداری در استراتوسفر عرض‌های میانی ضعیف‌تر و منطقه قطبی دما گرم‌تر می‌شود درحالی‌که در فاز لانینا سرعت باد مداری قوی‌تر می‌شود. روسی و همکارانش (۲۰۲۰) دلایل تغییرات زمستانی NAO را بر روی اقلیم حال و آینده اروپا با استفاده از یک مدل گردش عمومی شبیه‌سازی شده جوی-اقیانوسی برای دوره زمستان با استفاده از نقشه‌های خودتنظیم شده با الگوریتم خوشه‌بندی مطالعه نمودند. بر این اساس مشخص شد زمانی که الگوی‌های NAO به‌سوی شرق جابجا می‌شوند دما بر روی اروپا بالاتر از میانگین می‌شود و درصد بارش نیز کاسته می‌شود. بر این اساس مشخص می‌گردد نه تنها تغییرات زمانی، بلکه تغییرات مکانی NAO نیز در تنوع اقلیمی اروپا تأثیر می‌گذارد. هامودا و همکارانش (۲۰۲۱) جدا شدن نوسانات قطبی (AO) و نوسانات اطلس شمالی (NAO) را در شرایط اقلیمی گرم مطالعه نمودند و معتقدند که این دو شاخص بر روی تغییرپذیری بارش و دما در منطقه معتدله تأثیر قابل توجهی دارند؛ اما با

این NCP در دریای مدیترانه، به‌ویژه که در انتقال توده‌ای آب مدیترانه شرقی (EMT) که منجر به ناپایداری‌های ناگهانی در آب‌وهوای این منطقه می‌شود. تاتلی (۲۰۰۷) شاخص هماهنگی بین NCP و دمای سطحی در محدوده بین ۵۰ درجه غربی تا ۱۲۰ درجه شرقی و استوا تا ۸۰ درجه شمالی پیشنهاد داد بر این اساس الگوی ارتباط از دور محاسبه‌شده با فاز هماهنگی از نظر تجربی روابط درون فازی را بین شاخص NCP و سری زمانی دمای سطحی در مقیاس سیاره‌ای را بهبود می‌بخشد و از این طریق اطمینان حاصل می‌شود که حالات اصلی تغییرپذیری اقلیم در عرض‌های میانه و بالای نیمکره شمالی قابل شناسایی خواهد بود. قاسمی و همکارانش (۲۰۰۸) تأثیر شاخص NCP را بر روی دمای ایران مطالعه نمودند و مشخص کردند که از نظر آمار رابطه معنی‌دار معکوسی بین این دو حاکم است بطوریکه از نتایج کار آنها ملاحظه می‌گردد در فاز مثبت NCP میزان ابرناکی و بارش در روی ایران افزایش و دما نیز کاهش پیدا می‌کند. کوتیل (۲۰۱۰) تأثیر شاخص NCP بر رژیم دما و بارش خاورمیانه را مورد ارزیابی قرارداد و مشخص نمود در تمامی ماه‌ها در فاز منفی دما بالاتر از فاز مثبت می‌باشد و همچنین بیشترین تأثیر آن در فلات آناتولی با بیش از ۳٫۵ درجه مشخص می‌گردد. علاوه بر این مناطقی که تحت تأثیر سیستم‌های دریای شمال مدیترانه قرار می‌گیرند مانند یونان و ترکیه در فاز منفی بارش بیشتری دریافت می‌کنند. برونیتی و همکارش (۲۰۱۱) رابطه شاخص NCP را با تغییرپذیری دمای بر روی اروپا و مدیترانه بررسی کردند و متوجه شدند که رابطه آنها برای نواحی شمال غرب مثبت و معنی‌دار است درحالی‌که برای منطقه جنوب شرق رابطه منفی معنی‌دار حاکم است. مسعودیان و همکارش (۲۰۱۳) ارتباط دو الگوی دریای شمال - خزر (NCP) و شرق اروپا - شمال شرق ایران (ENEI) را با فراوانی وقوع سرماهای فرین دوره سرد سال ایران مطالعه نمودند و نتایج مطالعه آنها نشان داد که وقوع سرماهای فرین نیمه غربی کشور ارتباط مستقیم و معنی‌داری با شاخص NCP دارد. فاز

مثبت این شاخص منجر به افزایش وقوع سرماهای فرین در نیمه غربی کشور می‌شود. علاوه بر این تأثیر شاخص ENEI به مراتب بیشتر از الگوی دریای شمال - خزر است. قویدل و همکارانش (۱۳۹۳) اثر شاخص NCP بر نوسانات بارش‌های پاییزی مناطق غرب و شمال غرب ایران با تحلیل همبستگی مورد ارزیابی قرارداد. ارتباط نسبتاً خوبی بین بارش پاییزی منطقه غرب و شمال غرب کشور با شاخص الگوی پیوند از دور دریای شمال - خزر مورد محاسبه قرار گرفت. در کل نتایج حاصل از این تحلیل نشان داد که در فاز مثبت شاخص NCP با دوره‌های افزایش بارش و فاز منفی آن با دوره‌های کاهش بارش از حد نرمال همراه است. گوندوز و همکارانش (۲۰۱۵) با مطالعه رابطه تغییرپذیری انتقال آب دریای اژه را با الگوی دریای شمال - خزر (NCP) مشخص کردند که انتقال نصف‌النهاری توده آب دریای اژه به‌عنوان شاخص ناپایداری‌های مدیترانه شرقی با شاخص NCP رابطه معنی‌داری را نشان می‌دهد بطوریکه در فاز مثبت این شاخص (NCP) ناپایداری‌های مدیترانه شرقی بیشتر خودنمایی می‌کند. قانقرمه و همکارانش (۲۰۱۵) تأثیر الگوهای ارتباط از دور منطقه اطلس - اوراسیا را بر روی دمای جنوب شرق دریای خزر مورد مطالعه قرار دادند بر این اساس مشخص شد که بین شاخص‌های اقلیمی و مولفه دما همبستگی معنی‌داری وجود دارد. بطوریکه این رابطه برای شاخص‌های مختلف از جمله NAO, EA, AO, NCP, AMO, EATL/WRUS, NTA, PE و SCAND به‌صورت معکوس با مولفه دما می‌باشد. قویدل و همکارانش (۱۳۹۵) نقش اثرات شاخص NCP در نوسان پذیری دماهای بیشینه ایران با استفاده از تحلیل همبستگی آماری پیرسون به‌عنوان روش اصلی مورد ارزیابی قرارداد؛ و مشخص نمود که کاهش دما در فاز مثبت و افزایش دما در فاز منفی اتفاق می‌افتد. به لحاظ دوره‌ای، نتایج بیانگر ارتباط قوی دوره سرد در اکثر ایستگاه‌ها با شاخص مورد مطالعه می‌باشد. تحلیل آرایش الگوهای جوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در فازهای منفی و مثبت نشان می‌دهد که در فاز مثبت، استقرار ناوهای عمیق بر روی

دریای خزر، عراق، ترکیه و ایران و همچنین قرارگیری ایران در بخش شرقی محور ناوه و از طرفی استقرار پشته‌ای بر روی دریای شمال و اروپا باعث انتقال دماهای سرد شمال اروپا و جنب قطبی به سمت ایران می‌شود؛ اما در فاز منفی قرارگیری ایران در زیر محور پشته مستقر بر روی ایران منجر به ایجاد جوی پایدار با وزش ضعیف مداری و دماهای گرم شده است. بنابراین با وزش هوای گرم و خشک آفریقا، عربستان و عرض‌های پایین، دمای ایران بالاتر می‌رود. سزن و همکارش (۲۰۱۷) اثرات شاخص NCP را بر روی رژیم دما و بارش در منطقه اژه ترکیه مطالعه نمود، برای تعیین رابطه بین NCP و پارامترهای اقلیمی، ابتدا از روش ضریب همبستگی پیرسون استفاده نمودند، مشخص نمودند که اکثر ایستگاه‌های منطقه با شاخص NCP همبستگی منفی زیادی در تمام فصول به‌ویژه در فصل زمستان از نظر میانگین دمای سالانه و فصلی هستند (از نظر آماری در سطح ۹۰٪ قابل توجه است). علاوه بر این، همبستگی منفی بالای نیز با میزان بارندگی در طول فصل زمستان در بیشتر ایستگاه‌ها مشاهده کردند. علاوه بر این با گروه‌بندی شاخص به فاز منفی و مثبت مشخص کردند. با این حال، در سایر فصول هیچ تغییر اساسی بین مقادیر کل بارش مشاهده نشد. سزن و همکارش (۲۰۱۷) همبستگی شاخص NAO و NCP را با تغییرپذیری اقلیمی در مناطق مدیترانه‌ای ترکیه مورد مطالعه قرار دادند. نتایج کار آنها نشان می‌دهد که NAO با دما در تابستان، زمستان و سالانه ارتباط منفی دارد، علاوه بر این، NCP با دما خصوصاً در زمستان، پاییز و سالانه همبستگی منفی چشمگیری دارد. علاوه بر این ارتباط بین بارش و گردش جوی نشان می‌دهد که NAO با بارش پاییز و زمستان رابطه منفی دارد، در حالی که NCP با بارش زمستان و با بارش تابستان در برخی از مناطق رابطه منفی دارد. در کل، NAO و NCP تأثیرات چشمگیری بر دما و رژیم بارش منطقه مدیترانه‌ای ترکیه به صورت فصلی یا سالانه دارند. توسن اقلو و همکارانش (۲۰۱۸) همبستگی زمانی- مکانی شاخص‌های بزرگ مقیاس اقلیمی همچون

NAO، SOI و NCP را با شاخص خشکسالی SPI بر روی ترکیه مطالعه نمودند و مشخص شد که شاخص NAO و NCP با شاخص خشکسالی SPI بدون زمان تأخیر ماهانه همبستگی معنی‌داری دارند در حالیکه با شاخص SOI بازمان تأخیر ۱ الی ۲ ماهه رابطه معنی‌داری برقرار است. علاوه بر این مشخص گردید که شاخص NAO در مناطق غربی و مرکز آناتولی و در حالیکه شاخص NCP بیشترین تأثیر را در مناطق شمال و شرق کشور ترکیه دارند. سزن و همکارش (۲۰۱۹) تأثیرات شاخص‌های AO و NCP بر روی رژیم دما و بارش در ترکیه ابتدا با استفاده از روش پیرسون همبستگی آماری و سپس در حالات فازهای مثبت و منفی ویژگی آنها را مورد ارزیابی قرار دادند، اگرچه نتایج از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت است، ضرایب همبستگی بسیار منفی بین NCP یا AO و دما، به‌ویژه در زمستان مشاهده شده است. علاوه بر این، NAO و AO رابطه قابل توجه قوی با بارش زمستانی دارند. سپس، تأثیرات هر دو شاخص به صورت سالانه و فصلی در فازهای مثبت و منفی بررسی شدند و بر این اساس، میانگین دمای سالانه و فصلی تحت تأثیر NCP (-) و AO (-) بالاتر از مقادیر دمای سالانه و فصلی تحت تأثیر NCP (+) و AO (+) است. در این زمینه، اختلاف دما خصوصاً در زمستان قابل توجه است. مقدار بارش تحت تأثیر فازهای مثبت و منفی این شاخص‌ها نتایج قابل توجهی را به‌ویژه برای بارش زمستانی در مناطق غربی ترکیه به دست آمد. عراقی و همکارانش (۲۰۱۹) رابطه بین شاخص‌های اقلیمی عمده مانند AO، DMI، MEI، NAO، NCP و PDO را با فنولوژی سطحی ایران مورد مطالعه قرار دادند و مشخص نمودند که بین فنولوژی و شاخص‌های NAO و NCP بالاترین رابطه و با AO و MEI کمترین رابطه وجود دارد. مقبل (۲۰۲۰) شاخص غیر آسایشی حرارتی انسانی (HDI) را در فازهای مختلف NCP در سواحل جنوبی دریای خزر مورد مطالعه قرارداد نتایج کار وی نشان داد که تنش سرما در طی مراحل مثبت NCP در منطقه مورد مطالعه غالب شرایط حرارتی است در حالی که فاز منفی

Historical و همچنین سناریوهای RCP45 و RCP85 می باشد. داده‌های این مدل‌ها از سایت‌های IPCC و <https://ESGF-NODE.LLNL.Gov.DATA.org> و ww.dataserver.nccs.nasa.gov دریافت شد.

در گام بعدی به منظور تطبیق داده‌های ارتفاع فشار بازکای شده در موقعیت دو قطب شاخص NCP با خروجی مدل‌های اقلیمی، ابتدا داده‌های فشار سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال دو محدوده قطب دریای خزر و قطب دریای شمال، هرکدام به طور جداگانه به دو سری داده‌های آموزشی (Training) و آزمایشی (Testing) تقسیم گردید. در این تقسیم‌بندی ۷۵ درصد داده‌ها به عنوان داده‌های آموزشی و ۲۵ درصد داده‌ها به عنوان داده‌های آزمایشی در نظر گرفته شدند. در ادامه برای تعمیم و گسترش شاخص NCP برای دوره زمانی آتی، از روش کوتیل و همکارانش (۲۰۰۲) استفاده نمودیم بدین صورت که برای محاسبه نرمال کردن از میانگین و انحراف معیار دوره ۱۹۴۸ لغایت ۲۰۰۵ استفاده شد. همچنین در این مطالعه برای معرفی فازهای مثبت، منفی و نرمال از آستانه نمره استاندارد ± 0.5 در نظر گرفته شد. بنابراین ماه‌هایی که دارای نمره استاندارد بیش از ۰.۵ می‌باشند به عنوان فاز مثبت و اگر کمتر از ۰.۵ باشد فاز منفی و در نهایت اگر بین این دو دوره باشد دوره نرمال تعریف گردید. در گام بعدی این پژوهش به منظور ارزیابی وضعیت آتی مولفه‌های بارشی و دمایی سواحل جنوبی دریای خزر هم‌زمان با فازهای مثبت و منفی شاخص NCP، ابتدا مولفه‌های حداکثر دما، حداقل دما، نرخ بارش و تعداد روزهای بارشی به حالت ماهانه آماده گردیدند و در مرحله بعد با استفاده از ارتفاع فشار در موقعیت قطب دریای خزر شاخص NCP (ارتفاع فشار ۵۰۰ هکتوپاسکال در موقعیت 50°E, 45°N) ریزمقیاس‌نمایی شدند. برای این منظور از مدل رگرسیون Response surface regression در نرم‌افزار Statistica استفاده گردید. در این مطالعه، به منظور صحت‌سنجی مدل‌های اقلیمی و همچنین برای ریزمقیاس‌نمایی مولفه‌های اقلیمی از معیارهای مختلفی از جمله میانگین قدر مطلق خطا (MAE)، جذر ریشه میانگین مربع خطا (RMSE)، ضریب

NCP باعث ایجاد شرایط راحت‌تری به‌ویژه در سواحل شرقی دریای خزر می‌شود. همچنین، شدت NCP می‌تواند شرایط حرارتی منطقه را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین هدف از این مطالعه از یک‌طرف توسعه و تعمیم شاخص NCP بر مبنای مدل‌های اقلیمی برای دوره‌های آتی و در مرحله بعد ارزیابی بارش و دما در سواحل جنوبی دریای خزر در فازهای مثبت و منفی این شاخص می‌باشد.

روش‌شناسی و داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش، به منظور ارزیابی تأثیر شاخص NCP بر نوسانات دمایی کمینه و بیشینه و همچنین میزان بارش سواحل جنوبی دریای خزر از سه دسته داده استفاده گردیده است. دسته اول شامل بارش (میانگین بارش و تعداد روزهای بارش در هرماه) و دما (میانگین دمای حداقل ماهیانه، میانگین دمای حداکثر ماهیانه)، برای ۱۱ ایستگاه سینوپتیک در محدوده استان‌های گلستان، مازندران و گیلان شامل گرگان، گنبدکاووس، مراوه‌تپه، بابلسر، قراخیل، نوشهر، رامسر، آستارا، بندرانزلی، منجیل و رشت می‌باشد. طول دوره آماری بین سالهای ۱۹۷۱ لغایت ۲۰۲۰ انتخاب شد. دسته ی دوم، داده‌های ماهیانه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال که از NCEP/NCAR دریافت گردید. این داده‌ها، شامل میانگین داده‌های ماهیانه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در دو محدوده دریای شمال (North) با طول جغرافیایی صفر تا ۱۰ درجه و عرض جغرافیایی ۵۵ درجه و دریای خزر با طول جغرافیایی ۵۰ تا ۶۰ درجه و عرض جغرافیایی ۴۵ درجه می‌باشد. دسته سوم، داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از مدل‌های اقلیمی می‌باشد. مدل‌هایی که مورد استفاده در این مطالعه عبارت‌اند از: GFDL_CM3, CanESM2, ACCESS1_0, GISS_E2_H_CC, IPSL_CM5B_LR, MIROC_ESM, CNRM_CM5, FGOALS_s2, INM_CM4, MRI_CGCM3, NorESM1_ME, CSIRO_Mk3_6_0, CMCC_CMS و MPI_ESM_MR می‌باشد. داده‌های انتخاب‌شده برای هرکدام از این مدل‌ها شامل دوره زمانی

نسبت به سایر مدل از ارزش بالاتری برخوردار است. درحالی که دامنه این معیار بین مدل‌های مختلف اقلیمی به صورت جداگانه، در حالت آموزشی برای قطب دریای خزر بین ۰,۷۷ تا ۰,۸۳ و برای دوره آزمایشی نیز ۰,۷۹ تا ۰,۸۵ و همچنین برای قطب دریای شمال نیز در حالت آموزشی دامنه این معیار بین ۰,۴۴ تا ۰,۶۲ و برای دوره آزمایشی نیز ۰,۵۰ تا ۰,۶۴ برآورد شده است. همچنین آماره RMSE در حالت تلفیقی مدل‌ها نسبت به میانگین مدل‌ها برای دوره آموزشی (Training) در قطب دریای خزر ۲۰,۰ و در قطب دریای شمال ۱۹,۹ و همچنین برای دوره آزمایشی (Testing) نیز برای قطب دریای خزر معادل ۵,۳ و دریای شمال ۳,۷ کمتر است. این اختلاف برای R2 نیز برای دوره آموزشی (Training) در قطب دریای خزر ۰,۲۱ و دریای شمال ۰,۱۲ و در دوره آزمایشی (Testing) نیز برای قطب دریای خزر معادل ۰,۰۳ و دریای شمال ۰,۰۶ بیشتر است. در کل می‌توان گفت که با تلفیق مدل‌های مختلف اقلیمی تعمیم و توسعه ارتفاع فشار سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در دو موقعیت دریای خزر و دریای شمال برای دوره آتی شاخص NCP از کارایی بهتری برخوردار خواهد شد.

همبستگی (R2)، درصد تطبیق مدل (NS) یا Nash-Sutcliffe و دوربین واتسون (DW) استفاده شد. البته لازم به توضیح است که در این بررسی برای آینده‌نگری مولفه‌های اقلیمی بر مبنای دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 دوره اقلیمی آتی میان مدت (۲۰۴۱-۲۰۶۰) مدنظر قرار گرفت.

یافته‌ها

توسعه شاخص NCP برای دوره‌های آتی بر مبنای سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5: با توجه به جدول شماره ۱ ارزیابی توسعه و تعمیم شاخص NCP برای دوره آتی با استفاده از خروجی ۱۴ مدل اقلیمی برای دوره پایه این شاخص مشخص می‌کند که با تلفیق مدل‌ها (AllModels) آینده‌نگری رفتار شاخص NCP از کارایی خوبی برخوردار می‌شود. با توجه به آماره‌های مختلف در حالت تلفیق مدل‌ها برای توسعه و تعمیم مشخص می‌گردد؛ بخصوص در آماره NS به عنوان یک معیار درصد تطبیق مدل‌ها برای دوره آموزشی (Training) در هر دو قطب شاخص NCP یعنی دریای خزر معادل ۰,۹۲ و دریای شمال ۰,۷۶ و همچنین در دوره آزمایشی (Testing) نیز به ترتیب ۰,۸۵ و ۰,۶۲ به دست آمده است. به طوری که ملاحظه می‌گردد دامنه کارایی توسعه و تعمیم شاخص NCP برای دوره آتی

جدول ۱: نتایج آزمون ارزیابی خطای داده‌های به دست آمده نسبت به داده‌های مشاهده‌ای Training و Testing، توسط مدل‌های مختلف برای موقعیت دریای خزر (Caspian) و دریای شمال (North)

Model	Training (1951-1991)								Testing (1992-2005)							
	MAE		RMSE		R2		NS		MAE		RMSE		R2		NS	
	Caspian	North	Caspian	North	Caspian	North	Caspian	North	Caspian	North	Caspian	North	Caspian	North	Caspian	North
AllModels	26.43	42.65	33.24	54.53	0.92	0.76	0.92	0.76	36.80	52.37	46.23	66.19	0.85	0.65	0.85	0.62
CanESM2	41.34	56.31	52.97	71.37	0.80	0.59	0.80	0.59	43.77	51.89	53.60	68.09	0.80	0.60	0.80	0.60
GFDL	40.24	65.82	51.52	83.11	0.81	0.44	0.81	0.44	37.70	57.09	48.08	72.21	0.84	0.55	0.84	0.55
GISS	43.37	58.31	54.80	73.55	0.79	0.56	0.79	0.56	40.26	51.24	50.51	66.27	0.82	0.62	0.82	0.62
ACCESS	43.37	60.42	54.24	76.21	0.79	0.53	0.79	0.53	41.67	58.37	51.99	74.12	0.82	0.54	0.81	0.52
IPSL	39.40	55.36	50.33	69.34	0.82	0.61	0.82	0.61	39.09	50.21	49.91	64.49	0.83	0.65	0.83	0.64
MIROC	44.70	57.73	56.92	72.55	0.77	0.57	0.77	0.57	43.74	52.64	54.12	67.64	0.80	0.61	0.80	0.60
CNRM	38.25	56.64	48.70	71.23	0.83	0.59	0.83	0.59	39.24	51.01	51.51	66.66	0.82	0.63	0.81	0.61
FGOAL	41.73	53.86	53.37	68.41	0.80	0.62	0.80	0.62	38.34	51.15	49.68	64.68	0.84	0.64	0.83	0.64
INM	40.13	58.36	51.38	73.73	0.81	0.56	0.81	0.56	44.10	58.77	54.60	73.50	0.79	0.56	0.79	0.53
MRI	43.47	60.05	54.87	75.04	0.79	0.54	0.79	0.54	40.00	56.81	50.78	72.61	0.82	0.56	0.82	0.54
NorESM	41.72	57.49	51.97	72.32	0.81	0.58	0.81	0.58	38.66	55.43	47.01	68.22	0.85	0.61	0.85	0.59
CSIRO	44.01	59.54	56.30	75.39	0.77	0.54	0.77	0.54	39.52	54.04	50.22	69.76	0.83	0.59	0.82	0.58
CMCC	41.38	63.16	52.21	79.65	0.81	0.49	0.81	0.49	43.62	59.26	53.93	76.00	0.80	0.51	0.80	0.50
MPI	44.70	63.97	55.91	79.49	0.78	0.49	0.78	0.49	43.37	57.55	55.32	73.81	0.79	0.54	0.79	0.53

بررسی فراوانی فازهای مثبت و منفی شاخص

NCP: در این مطالعه برای معرفی فازهای مثبت، منفی و نرمال شاخص NCP از آستانه نمره استاندارد ± 0.5 استفاده گردید؛ بنابراین ماه‌هایی که دارای نمره استاندارد بیش از ۰.۵ می‌باشند به‌عنوان فاز مثبت و اگر کمتر از ۰.۵ - فاز منفی و درنهایت بین این دو دوره نرمال تعریف گردید. با توجه به بررسی انجام‌شده مطابق جدول ۲ مشخص می‌گردد که فراوانی وقوع حالت نرمال شاخص در دوره پایه ۴۰.۷ درصد دوره زمانی را شامل می‌شود. بطوریکه ملاحظه می‌گردد در سناریوی RCP4.5 این حالت از شاخص NCP معادل ۱.۸ درصد از دوره زمانی پایه افزایش و در شاخص RCP8.5 معادل ۰.۳ درصد کاهش خواهد بود. از

طرف دیگر فراوانی وقوع فاز مثبت شاخص در دوره پایه برابر با ۳۲.۴ درصد می‌باشد که در سناریوی RCP4.5 معادل ۰.۱ درصد افزایش و در حالیکه در سناریوی RCP8.5 معادل ۰.۳ درصد کاهش اتفاق خواهند افتاد. درحالی‌که در فاز منفی شاخص NCP تغییرات نسبتاً قابل‌توجه است بطوریکه در سناریوی RCP4.5 معادل ۱.۹ درصد کاهش و در حالیکه در سناریوی RCP8.5 معادل ۰.۶ درصد افزایشی اتفاق خواهد بود. با این اوصاف ملاحظه می‌گردد تغییرات در فاز مثبت نسبت به فاز منفی از شدت کمتری برخوردار خواهد بود. در کل می‌توان گفت که در دوره‌های آتی فراوانی وقوع فاز منفی کاهشی و فاز منفی افزایشی خواهد بود.

جدول ۲: فراوانی فازهای مثبت و منفی شاخص NCP در دو سناریوی اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5

دوره زمانی	سناریو	فراوانی حالت‌های شاخص NCP به درصد		
		نرمال	فاز مثبت (Pos)	فاز منفی (Neg)
1971-2005	Base	40.7	32.4	26.9
2041-2060	RCP4.5	42.5	32.5	25
	RCP8.5	40.4	32.1	27.5

که در سناریوی RCP4.5، میانگین MAE بین تمامی ایستگاه‌ها معادل ۰.۹۶، RMSE معادل ۱.۹۶، R2 معادل ۰.۹۷ و NS معادل ۰.۹۷ برآورد شده است، اما دامنه بالاترین و پایین‌ترین ارزش مولفه‌های کارایی ریزمقیاس نمایی در MAE معادل ۱.۴۲ تا ۰.۱۰، جذر RMSE معادل ۳.۲۸ تا ۰.۰۲، R2 معادل ۱.۰ تا ۰.۹۴ و NS معادل ۱.۰ تا ۰.۹۴ می‌باشد. در حالیکه در سناریوی RCP8.5 نیز متوسط بین تمامی ایستگاه‌ها MAE معادل ۰.۹۶، RMSE معادل ۱.۹۸، R2 معادل ۰.۹۷ و NS معادل ۰.۹۷ برآورد شده است، اما دامنه بالاترین و پایین‌ترین ارزش مولفه‌های کارایی ریزمقیاس نمایی در MAE معادل ۱.۴۲ تا ۰.۰۶، جذر RMSE معادل ۳.۲۳ تا ۰.۰۱، R2 معادل ۱.۰ تا ۰.۹۴، NS معادل ۱.۰ تا ۰.۹۴ و DW نیز ۲.۵۴ تا ۱.۴۷ می‌باشد. همچنین کارایی حداقل دمای ماهانه نیز نشان می‌دهد که در سناریوی RCP4.5، میانگین MAE بین تمامی ایستگاه‌ها معادل ۰.۶۹، جذر RMSE معادل ۰.۹۰، R2 معادل ۰.۹۸ و NS معادل

ریزمقیاس نمایی مولفه‌های اقلیمی دما و بارش

منطقه مورد مطالعه: به‌منظور ارزیابی وضعیت آتی مولفه‌های بارشی و دمایی سواحل جنوبی دریای خزر هم‌زمان با فازهای شاخص NCP ابتدا حداکثر و حداقل دما و همچنین نرخ و تعداد روزهای بارشی به حالت ماهانه با استفاده از ارتفاع فشار در موقعیت دریای خزر شاخص NCP (ارتفاع فشار ۵۰۰ هکتوپاسکال در موقعیت) 50°E , 45°N ریزمقیاس نمایی شد. برای این منظور از مدل رگرسیون Response surface regression در نرم‌افزار Stistica استفاده گردید. لازم به ذکر است ریزمقیاس نمایی با تلفیق دوره پایه ۱۹۷۱ لغایت ۲۰۰۵ و سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 انجام گرفت. همچنین به‌منظور ریزمقیاس نمایی نیز از ارتفاع فشار ۵۰۰ هکتوپاسکال هر ۱۴ مدل اقلیمی به‌عنوان متغیرهای مستقل استفاده شد. مطابق جدول ۳ مشخص می‌گردد که کارایی ریزمقیاس نمایی حداکثر دمای ماهانه بر اساس حالت ترکیبی مدل‌ها نشان می‌دهد

R2 معادل ۰,۹۸ و NS معادل ۰,۹۸ برآورد شده است، اما دامنه بالاترین و پایین ترین ارزش مولفه های کارایی ریزمقیاس نمایی در MAE معادل ۱,۱۲ تا ۰,۰۲، جذر RMSE معادل ۲,۰۹ تا ۰,۰۰، R2 معادل ۱,۰ تا ۰,۹۶ و NS معادل ۱,۰ تا ۰,۹۶ می باشد.

۰,۹۸ برآورد شده است، دامنه بالاترین و پایین ترین ارزش مولفه های کارایی ریزمقیاس نمایی در MAE معادل ۱,۱۵ تا ۰,۰۸، RMSE معادل ۲,۱۳ تا ۰,۰۱، R2 معادل ۱,۰ تا ۰,۹۶ و NS معادل ۱,۰ تا ۰,۹۶ می باشد. در سناریوی RCP8.5 نیز متوسط بین تمامی ایستگاه ها MAE معادل ۰,۶۹، RMSE معادل ۰,۸۹

جدول ۳: ارزیابی کارایی حالت ترکیبی مدل ها در ریزمقیاس نمایی مولفه حداقل و حداکثر دمای بر اساس سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 سواحل جنوبی دریای خزر

Station	Temper	RCP4.5				RCP8.5			
		MAE	RSME	R2	NS	MAE	RSME	R2	NS
Astara	max	1.1	1.98	0.968	0.968	1.12	1.907	0.969	0.969
	min	0.892	1.351	0.972	0.972	0.88	1.27	0.973	0.973
Bandar-e-Anzali	max	1.28	2.61	0.953	0.953	1.284	2.579	0.953	0.953
	min	1	1.671	0.965	0.968	0.999	1.641	0.966	0.968
Manjil	max	1.39	3.11	0.944	0.955	1.368	3.008	0.946	0.957
	min	0.937	1.438	0.974	0.974	0.9	1.298	0.977	0.977
Rasht	max	1.42	3.28	0.94	0.943	1.422	3.235	0.941	0.944
	min	1.124	2.134	0.956	0.957	1.091	2.095	0.957	0.957
Gonbad-e-kavus	max	1.24	2.49	0.968	0.978	1.223	2.409	0.969	0.979
	min	0.926	1.362	0.976	0.976	0.866	1.267	0.977	0.978
Gorgan	max	0.75	0.97	0.986	0.989	0.711	0.914	0.987	0.99
	min	0.49	0.443	0.993	0.993	0.547	0.496	0.992	0.992
Maravehtappeh	max	1.37	3.06	0.962	0.968	1.345	2.874	0.964	0.97
	min	0.984	1.583	0.971	0.972	0.949	1.474	0.973	0.974
Babolsar	max	1.1	1.9	0.963	0.966	1.097	1.863	0.964	0.966
	min	0.952	1.495	0.969	0.971	0.929	1.406	0.97	0.972
Gharakhil	max	1.13	2.13	0.959	0.964	1.145	2.102	0.959	0.964
	min	0.885	1.276	0.975	0.975	0.875	1.178	0.977	0.977
Nowshahr	max	1.04	1.74	0.963	0.963	1.054	1.739	0.963	0.963
	min	0.871	1.206	0.974	0.974	0.844	1.118	0.976	0.976
Ramsar	max	1.13	2.04	0.958	0.958	1.152	2.034	0.958	0.958
	min	0.984	1.575	0.967	0.968	0.985	1.53	0.968	0.969

معادل ۱,۰ تا ۰,۳۶ می باشد. در حالیکه در سناریوی RCP8.5 نیز متوسط بین تمامی ایستگاه ها MAE معادل ۲۳,۸۶، RMSE معادل ۱۶۲۹,۹۲، R2 معادل ۰,۶۵ و NS معادل ۰,۸۲ برآورد شده است، اما دامنه بالاترین و پایین ترین ارزش مولفه های کارایی ریزمقیاس نمایی در MAE معادل ۷۹,۳۲ تا ۱,۷۰، جذر RMSE معادل ۱۱۶۱۵,۵۸ تا ۰,۰۱، R2 معادل ۱,۰ تا ۰,۳۳ و NS معادل ۱,۰ تا ۰,۳۴ می باشد. همچنین کارایی تعداد روزهای بارشی ماهانه نشان می دهد که در سناریوی RCP4.5، متوسط MAE بین تمامی ایستگاه ها معادل ۱,۹۰، جذر RMSE معادل ۶,۶۴، R2 معادل ۰,۶۵ و NS معادل ۰,۷۳ برآورد

از طرف دیگر بارش یکی از مولفه های اتفاقی (تصادفی) اقلیمی است که دارای دامنه تغییرپذیری بسیار زیادی می باشد، بطوریکه که نسبت به مولفه دما از تغییرپذیری شدید برخوردار است. باین وجود مطابق جدول ۴ آماره ها نشان می دهند که کارایی میزان بارش ماهانه در سناریوی RCP4.5 میانگین MAE بین تمامی ایستگاه ها معادل ۲۳,۵۹، جذر RMSE معادل ۱۵۸۶,۹۴، R2 معادل ۰,۶۶ و NS معادل ۰,۸۲ برآورد شده است، دامنه بالاترین و پایین ترین ارزش مولفه های کارایی ریزمقیاس نمایی در MAE معادل ۸۰,۹۷ تا ۱,۲۲، RMSE معادل ۱۱۵۹۲,۰۷ تا ۲,۹۷، R2 معادل ۱,۰ تا ۰,۳۵ و NS

R2 معادل ۰,۶۴ و NS معادل ۰,۷۲ برآورد شده است، اما دامنه بالاترین و پایین‌ترین ارزش مولفه‌های کارایی ریزمقیاس نمایی در MAE معادل ۳,۰۵ تا ۰,۰۷، جذر RMSE معادل ۱۴,۳۴ تا ۰,۰۱، R2 معادل ۱,۰ تا ۰,۳۴ و NS معادل ۱,۰ تا ۰,۳۷ می‌باشد.

شده است، دامنه بالاترین و پایین‌ترین ارزش مولفه‌های کارایی ریزمقیاس نمایی در MAE معادل ۳,۰۳ تا ۰,۲۱، RMSE معادل ۱۳,۹۴ تا ۰,۰۸، R2 معادل ۰,۹۹ تا ۰,۳۷ و NS معادل ۱,۰ تا ۰,۴۰ می‌باشد. در سناریوی RCP8.5 نیز متوسط بین تمامی ایستگاه‌ها MAE معادل ۱,۹۲، RMSE معادل ۶,۸۱

جدول ۴: ارزیابی کارایی حالت ترکیبی مدل‌ها (AllModels) در ریزمقیاس نمایی مولفه نرخ و روزهای بارش بر اساس سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 سواحل جنوبی دریای خزر

Station	Prec	RCP4.5				RCP8.5			
		MAE	RSME	R2	NS	MAE	RSME	R2	NS
Astara	Rate	53.873	4909.16	0.497	0.497	55.281	5592.02	0.427	0.427
	Day	2.679	10.81	0.551	0.551	2.807	12.31	0.489	0.489
Bandar-e-Anzali	Rate	80.972	11592.07	0.407	0.442	79.317	11615.58	0.406	0.441
	Day	3.027	13.94	0.432	0.435	3.055	14.34	0.416	0.418
Manjil	Rate	9.078	140.46	0.667	0.985	8.93	142	0.663	0.985
	Day	2.179	7.61	0.611	0.835	1.996	6.43	0.671	0.86
Rasht	Rate	56.794	5254	0.394	0.395	55.137	5104.95	0.411	0.412
	Day	2.977	13.88	0.394	0.408	3.004	14.19	0.381	0.395
Gonbad-e-kavus	Rate	15.313	394.55	0.555	0.942	14.552	375.24	0.576	0.945
	Day	1.845	5.55	0.637	0.811	1.865	5.38	0.648	0.816
Gorgan	Rate	10.958	202.09	0.843	0.969	11.891	227.25	0.823	0.965
	Day	1.159	2.36	0.856	0.929	1.238	2.56	0.843	0.923
Maravehtappeh	Rate	13.353	296.96	0.505	0.961	12.913	295.54	0.507	0.961
	Day	1.851	5.44	0.688	0.868	1.702	5.11	0.707	0.876
Babolsar	Rate	42.673	3326.98	0.365	0.499	43.72	3320.81	0.366	0.5
	Day	2.485	9.49	0.379	0.657	2.458	9.34	0.389	0.662
Gharakhil	Rate	26.731	1152.52	0.426	0.765	26.795	1157.11	0.424	0.764
	Day	2.368	9.06	0.374	0.499	2.377	9.33	0.355	0.484
Nowshahr	Rate	55.211	5112.81	0.413	0.415	54.626	5120.84	0.412	0.414
	Day	2.681	11	0.368	0.415	2.704	11.37	0.347	0.395
Ramsar	Rate	61.963	7652.68	0.351	0.359	61.195	7850.46	0.335	0.342
	Day	2.751	12.1	0.373	0.403	2.852	12.77	0.338	0.37

۰,۷۲، بابلسر ۰,۸۳، بندرانزلی ۰,۹۵، قراخیل ۰,۷۲، گنبدکاوس ۰,۳۷، گرگان ۱,۰۶، منجیل ۰,۶۳، مراوه‌تپه ۰,۴۹، نوشهر ۰,۷۷، رامسر ۰,۸۳ و رشت نیز ۱,۲۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بررسی رژیم حداقل دمای شبانه نیز به‌مانند رژیم دمای میانگین حداکثر ماهانه، در فاز مثبت میانگین دما کمتر از فاز منفی می‌باشد. این میزان بخصوص با حداکثر اختلاف در ماه ژانویه به ترتیب در ایستگاه‌های آستارا معادل ۰,۹۵، بابلسر ۱,۳۴، بندرانزلی ۱,۴۹، قراخیل ۰,۹۰، گنبدکاوس ۱,۵۲، گرگان ۱,۴۳، منجیل ۱,۶۱، مراوه‌تپه ۱,۶۹، رامسر ۱,۲۷ و رشت ۱,۸۲ درجه و فقط در ایستگاه نوشهر در ماه فوریه معادل ۰,۹۱ درجه سانتی‌گراد اختلاف بوده است. در بعضی ماه‌ها در ایستگاه‌های بابلسر، گنبدکاوس، منجیل، رامسر و رشت با تفاوت ناچیزی مقدار تفاضل منفی می‌شود.

هم‌زمانی حداکثر و حداقل دمای ماهانه در فازهای مثبت و منفی شاخص NCP: بررسی رژیم دمایی حداکثر ماهانه در فازهای مثبت و منفی مطابق جدول ۵ در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که در دوره پایه در فاز مثبت میانگین دما نسبت به فاز منفی کمتر بوده است. این میزان با بالاترین مقدار اختلاف در ماه ژانویه در ایستگاه‌های گنبدکاوس، منجیل، مراوه‌تپه به ترتیب ۱,۵۲، ۲,۸، ۱,۹۸ و در آوریل در ایستگاه‌های بابلسر با اختلاف ۱,۶۱، بندرانزلی ۲,۲۳، گرگان ۲,۶۴، نوشهر ۱,۲۷، رامسر ۱,۶۸ و رشت ۲,۶۹ درجه سانتی‌گراد و همچنین در ایستگاه آستارا در ماه فوریه و سپتامبر به ترتیب ۱,۳۳ و ۱,۲۸ درجه سانتی‌گراد و در نهایت در ایستگاه قراخیل در ماه اکتبر با ۱,۲۸ درجه سانتی‌گراد مشخص می‌گردد. این حالت در میانگین سالانه در ایستگاه‌های آستارا معادل

۰,۴۰، رامسر ۰,۴۸ و رشت نیز ۰,۷۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در کل می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری نمود که هم‌زمان با فاز مثبت میانگین دمای حداکثر و حداقل کاهش و با فاز منفی افزایش یافته است.

بالین وجود میانگین سالانه در تمامی ایستگاه‌ها در فاز منفی بیش از مثبت بوده است. به این ترتیب در ایستگاه‌های آستارا معادل ۰,۵۲، بابلسر ۰,۴۳، بندرانزلی ۰,۶۶، قراخیل ۰,۳۹، گنبدکاووس ۰,۱۸، گرگان ۰,۶۳، منجیل ۰,۳۷، مراوه‌تپه ۰,۳۹، نوشهر

جدول ۵: میانگین حداقل و حداکثر دمای ماهانه در فاز مثبت و منفی شاخص NCP در دوره (۱۹۷۱-۲۰۲۰)

station	Tempre	Phase	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Astara	max	Pos	8.82	8.47	12.02	15.58	21.23	27.11	29.7	28.82	24.84	19.86	14.34	10.39
		Neg	9.64	9.8	11.91	16.63	22.3	27.48	29.81	29.32	26.12	21.08	14.97	10.53
	min	Pos	2.01	2.42	5.43	8.85	14.25	18.77	20.69	20.73	18.05	13.73	8.02	3.97
		Neg	2.96	3.28	5.72	9.69	14.8	18.79	21.09	20.98	18.6	14.45	8.53	4.3
Babolsar	max	Pos	11.36	11.09	13.7	18	22.82	28.29	30.78	30.45	27.7	23.24	18.08	13.33
		Neg	12.77	12.25	14.64	19.61	23.89	28.53	30.69	30.98	28.52	24.32	18.51	14.14
	min	Pos	3.95	4.69	7.74	11.4	16.48	21.13	22.96	23.04	20.16	15.44	10.08	5.91
		Neg	5.29	5.65	8.19	12.09	16.99	21.08	22.92	22.9	20.34	16	10.36	6.27
Bandar-e-Anzali	max	Pos	9.33	8.89	11.7	15.33	20.49	26.71	29.66	28.9	25.14	21.04	16.02	11.4
		Neg	10.55	9.75	11.94	17.56	22.28	27.49	29.52	29.11	26.4	22.24	16.66	12.5
	min	Pos	3.89	3.97	6.89	10.51	16.06	20.98	23.15	23.04	19.82	15.59	10.39	6.19
		Neg	5.39	5.33	7.5	11.73	16.87	21	23.25	22.71	20.3	16.49	11.06	6.79
Gharakhiil	max	Pos	11.8	12.05	15.08	19.19	23.8	28.78	30.47	30.24	27.78	23.37	17.89	13.68
		Neg	13	13.12	15.33	20.28	25.03	29	30.75	31.11	28.84	24.66	18.12	13.51
	min	Pos	2.41	2.99	5.99	9.8	15.32	19.85	21.46	21.71	19.16	14.37	8.61	4.18
		Neg	3.32	3.91	6.26	10.55	15.84	19.74	22.05	21.86	19.3	14.79	8.77	4.19
Gonbad-e-kavus	max	Pos	12.53	13.86	17.41	21.42	28.75	34.29	35.4	34.71	31.47	26.28	19.06	15.3
		Neg	14.04	13.97	16.35	21.47	29.21	34.54	35.58	35.04	32.6	27.44	19.57	15.14
	min	Pos	2.47	3.68	6.21	9.64	15.21	19.84	22.68	22.29	18.95	14.39	8.03	4.27
		Neg	3.99	3.55	5.85	9.37	15.37	20.17	22.83	22.28	19.39	14.45	8.08	4.44
Gorgan	max	Pos	11.4	12.22	15.99	20.7	26.5	31.59	33.26	32.73	29.75	25.1	18.74	13.42
		Neg	13.17	13.58	17.1	23.34	27.06	31.99	33.21	33.49	30.86	26.46	19.26	14.6
	min	Pos	1.92	2.76	5.78	10.17	14.81	20.07	23.25	23.25	19.49	14.11	8.47	3.9
		Neg	3.35	3.97	6.92	11.45	15.76	20.15	23.24	22.73	19.52	14.5	8.93	4.98
Manjil	max	Pos	11.06	12.78	17.11	21.26	26.39	30.05	30.91	30.87	28.17	24.28	17.43	13.78
		Neg	13.14	13.53	16.71	21.17	27.08	30.51	31.34	31.24	29.22	25.4	18.58	13.68
	min	Pos	2.04	3.09	6.51	10.22	15.67	20.09	22.53	22.23	18.8	14.37	8.04	4.38
		Neg	3.66	4.12	6.04	9.93	15.91	20.43	22.75	22.32	19.46	14.86	8.59	4.34
Maravehtappeh	max	Pos	9.76	11.09	15.31	19.99	27.13	32.39	33.67	33.26	29.55	23.95	16.74	12.45
		Neg	11.73	12.07	14.77	19.88	27.57	32.76	33.94	33.39	30.35	24.97	17.09	12.69
	min	Pos	2.85	3.12	6.79	10.66	16.14	20.4	22.46	22.52	19.37	14.77	8.81	5.07
		Neg	4.54	4.05	6.51	10.38	16.35	20.6	22.8	22.74	20.02	15.37	9.15	5.12
Nowshahr	max	Pos	10.94	10.13	12.78	16.38	21.08	26.54	28.66	28.78	25.87	21.6	16.88	12.89
		Neg	11.74	11.2	12.88	17.66	22.16	26.76	29.2	29.19	26.88	22.71	17.28	13.46
	min	Pos	3.72	3.93	6.66	10.23	15.19	19.85	21.83	21.98	19.27	14.75	9.26	5.43
		Neg	4.52	4.84	6.72	10.99	15.87	19.91	22.1	22.07	19.6	15.2	9.83	5.25
Ramsar	max	Pos	10.33	9.78	12.27	15.98	20.82	26.37	28.97	28.83	25.63	21.83	16.78	12.47
		Neg	11.59	11.08	12.79	17.66	21.9	26.74	28.98	29.08	26.63	22.8	17.51	13.32
	min	Pos	3.39	3.61	6.33	9.8	14.86	19.78	22.15	22.29	19.74	15.47	9.88	5.67
		Neg	4.66	4.62	6.89	10.7	15.47	19.75	22.1	22.38	20.15	15.95	10.43	5.66
Rasht	max	Pos	10.19	10.24	13.93	18.24	23.17	28.24	30.7	29.9	26.19	21.71	17.04	12.16
		Neg	12.01	11.87	14.85	20.93	24.49	28.91	30.53	30.46	27.69	23.65	17.41	13.64
	min	Pos	1.44	2.26	5.15	9.3	14.63	19.37	20.71	21.06	18.04	13.3	8.26	3.93
		Neg	3.27	3.69	6.19	10.27	15.36	18.93	21.36	20.98	18.37	14.43	9.11	4.74

هم‌زمانی نرخ و روزهای بارش ماهانه در فازهای

مثبت و منفی شاخص NCP: میزان بارش در دوره ۱۹۷۱-۲۰۲۰ در دو فاز مثبت و منفی مطابق جدول ۶ حاکی از آن است که در فاز مثبت نرخ بارش نسبت به فاز منفی تقریباً در اکثر ایستگاه بیشتر اتفاق افتاده است، به‌طوری‌که مشخص می‌گردد که بیشترین درصد اختلاف در فاز مثبت و منفی بارش سالانه در ایستگاه‌های آستارا، بابلسر، انزلی و رشت به ترتیب معادل ۱۰،۱۶، ۱۴،۰۷، ۱۶،۱۹ و ۱۸،۲۸ درصد بوده است، اما از نظر ماهانه نیز مشخص می‌گردد که تقریباً در ۱۰ ماه از سال در اکثر ایستگاه‌ها بارش در فاز مثبت بیش از فاز منفی بوده است در حالی‌که در ماه‌های ژوئیه و اگوست تقریباً به غیر از ایستگاه منجیل در سایر ایستگاه‌ها بارش در فاز منفی بیش از فاز مثبت بوده است به‌طور کلی می‌توان گفت در این دو ماه به‌عنوان گرم‌ترین دوره سال تقریباً کمترین میزان بارش‌های گسترده اتفاق می‌افتد و معمولاً بارندگی در دوره گرم سال حالت اتفاقی دارند عامل عمده آن نیز استقرار رودباد جنب حاره در این دوره زمان‌بر روی دریای خزر می‌باشد. همچنین ایستگاه‌های گنبدکاووس، گرگان و منجیل نسبت به سایر ایستگاه‌ها به ترتیب ۴، ۶ و ۵ ماه فاز منفی بیش از فاز مثبت بوده است. بررسی اختلاف تعداد روزهای بارش نیز در دو فاز مثبت و منفی نیز نشان می‌دهد که در فاز مثبت تعداد روزهای بارشی بیش از فاز منفی آن بوده است به‌طوری‌که از نظر سالانه بیشترین مقدار اختلاف در ایستگاه بندرانزلی، رشت، نوشهر، رامسر و بابلسر به ترتیب ۲۶،۲، ۲۶، ۲۱،۹، ۲۰،۸ و ۲۰،۴ روز و کمترین اختلاف نیز در ایستگاه منجیل با ۰،۵ روز مشخص می‌گردد از نظر ماهانه نیز در اکثر ایستگاه‌ها تعداد روزهای بارشی در فاز مثبت بیش از پیش از فاز منفی است با این تفاوت که در ماه جولای تعداد ۹ ایستگاه و در اگوست ۴ ایستگاه دارای بیشترین تعداد روزهای بارش در فاز منفی بوده است. از طرف دیگر نیز ایستگاه‌های منجیل، گنبدکاووس، آستارا و رامسر به ترتیب ۵، ۴، ۳ و ۳ ماه تعداد روزهای فاز منفی بیشتر از فاز مثبت اتفاق افتاده است.

از یک نگاه دیگر اگر اختلاف ویژگی‌های بارش در دو فاز مورد مقایسه نشان می‌دهد که در ایستگاه‌های آستارا، بابلسر، بندرانزلی، رامسر، رشت و منجیل مقدار متوسط بارش روزانه به ترتیب ۱،۰، ۰،۸، ۱،۸، ۰،۷، ۱،۷ و ۰،۳ میلی‌متر در فاز مثبت بیشتر و همچنین ایستگاه‌های قراخیل، گرگان و مراوه‌تپه به ترتیب ۰،۱، ۰،۷ و ۰،۲ میلی‌متر در فاز مثبت کمتر از فاز منفی بوده است. در حالی‌که در ایستگاه‌های گنبدکاووس و نوشهر در هر دو فاز مقدار متوسط یکسان اتفاق افتاده است.

ارزیابی تغییرات حداکثر و حداقل دمای ماهانه

شاخص NCP در دوره آبی نسبت به دوره پایه:

بررسی دمای حداکثر و حداقل در سواحل جنوبی دریای خزر نشان می‌دهد که نه‌تنها در دوره‌های آبی میانگین دما در دو فاز منفی و مثبت شاخص NCP متفاوت خواهد بود، بلکه هماهنگ با گرمایش جهانی روند افزایش دما در سواحل جنوبی دریای خزر ادامه خواهد یافت. با این تفاوت که هرچند شدت افزایش دما در این دو فاز باهم متفاوت خواهد بود بلکه در بین موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز با شدت‌های مختلفی اتفاق خواهد افتاد. به‌طوری‌که از جدول ۷ مشخص می‌گردد، در سناریوی RCP4.5 در فاز مثبت در حالت میانگین سالانه بیشترین افزایش حداکثر دما نسبت به دوره پایه در ایستگاه‌های گنبدکاووس، مراوه‌تپه و منجیل به ترتیب با ۲،۴۲، ۲،۳۳ و ۲،۰۴ درجه سانتی‌گراد و همچنین میانگین افزایش حداکثر دما در این فاز در منطقه مورد مطالعه معادل ۱،۹۴ درجه سانتی‌گراد خواهد بود، در حالی‌که در فاز منفی افزایش دما در ایستگاه گنبدکاووس، مراوه‌تپه و آستارا به ۳،۱۱، ۲،۸۴ و ۲،۵۸ درجه سانتی‌گراد و در میانگین کلی بین ایستگاه‌ها نیز به ۲،۳۰ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید. از طرف دیگر در سناریوی RCP8.5 افزایش حداکثر دما در هر دو فاز شدیدتر از سناریوی قبلی خواهد بود، به‌طوری‌که ملاحظه می‌شود در فاز مثبت در سه ایستگاه گنبدکاووس، گرگان و مراوه‌تپه به بیش از ۳ درجه سانتی‌گراد و میانگین کلی بین ایستگاه‌ها نیز به ۲،۹۳ درجه

به‌طور کلی مقایسه میانگین بین دو فاز مثبت به منفی نشان می‌دهد که کمترین اختلاف در روند افزایش دیده می‌شود.

سانتی‌گراد خواهد رسید، این در حالی است که در فاز منفی این سناریو در ایستگاه مراوه‌تپه، گنبد کاووس و آستارا به ۳،۸۹، ۳،۵۰ و ۳،۴۰ درجه سانتی‌گراد و میانگین کلی به ۳،۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد.

جدول ۶: میانگین نرخ و روزهای بارشی ماهانه در فاز مثبت و منفی شاخص NCP در دوره (۱۹۷۱-۲۰۲۰)

station	Prec	Phase	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Yearly
Astara	Rate	Pos	109.	96.6	112.	102.	78.	61.	54.	80.3	230.	274	168.	126.	149
		Ne	83.4	80.6	90.9	62	53	46.	48	128.	184.	224.	148.	69.1	122
	Day	Pos	12.8	14.7	14.2	15.1	14.	9.8	6.1	8.9	14.7	17.6	16.2	12.4	157
		Ne	11.8	12.6	14.9	13.6	13.	8.6	7.6	8.9	11.8	14.3	13.3	11.9	143
Babol-sar	Rate	Pos	119.	86.1	54.6	39.8	26	24.	16	59.5	113.	186.	185.	155.	106
		Ne	78.5	61.2	53.9	13.2	19.	15.	39.	68	96.6	133.	152.	72	803
	Day	Pos	12.8	11.6	10.9	9.2	7.5	5.9	4.1	7.6	8.8	10.2	11.7	12.2	113
		Ne	9.3	9.5	9.4	4.9	7.1	3.6	6.1	7.5	7.6	7.7	10.1	9.3	92
Bandar-e-Anzali	Rate	Pos	187.	142.	91.9	72	44.	63.	30.	117.	321.	416.	330.	251.	207
		Ne	145.	99.8	80	20.6	36.	19.	60.	170.	211.	203.	293.	152.	149
	Day	Pos	16.3	14.8	14.2	13.7	12.	9.4	5.8	10.1	14.4	18	16.4	16.6	162
		Ne	12.7	12.3	13.7	9.6	11.	5.7	7.1	9.7	11.1	13.2	15.8	13.1	136
Gharakhil	Rate	Pos	84.3	80.6	66.9	51.5	40	32.	32	51.2	91.2	88.4	96.5	80.5	796
		Ne	66.2	52.8	62.9	43.7	36.	17.	32.	51.7	70.7	87.4	123.	58.3	703
	Day	Pos	11.4	11.7	12.8	11.6	11.	8.1	7.4	12	11.6	12.1	13.6	11.5	135
		Ne	9.3	11.1	12.1	9.5	11.	6.4	7.9	9.7	9.3	9.2	11.3	10.9	118
Gonbad-e-kavus	Rate	Pos	59.6	64.8	62	54.2	27.	18.	22	29	19.2	32.1	52.8	48.2	490
		Ne	54.2	67	58.7	51.3	27.	8	28.	27.9	20.6	30	42.2	46.5	462
	Day	Pos	10.3	10.6	12.9	12.7	9	6.5	5.9	5.8	7.9	9.1	9.7	9.3	110
		Ne	9.1	9.9	12	10.8	9.7	5.3	6.8	6.1	6.6	7.9	9	10.6	104
Gorgan	Rate	Pos	51	60.1	61.1	51.4	44.	25.	12.	25.3	42.5	57.1	75.8	50.7	558
		Ne	61.9	54.9	71.4	30.7	47.	20.	26.	25.6	46.6	41.4	65	46.2	538
	Day	Pos	10.6	11.8	13.1	12.7	9.9	7.9	5.4	6.4	8.1	8.3	10.1	10.4	115
		Ne	8.8	10.5	12.6	7.2	10.	4.8	6.1	6.1	6.1	7.2	7.6	8.3	96
Manjil	Rate	Pos	18.3	25.3	33.4	40.7	14.	5.3	4.1	6.5	4.9	23.6	44.4	25.2	246
		Ne	23.2	29	30.5	28	27	6.5	1.7	3	7.5	15	28	20.9	220
	Day	Pos	8.3	9.5	10.7	10.8	8.1	4.5	3.5	3.2	3.6	8.3	9.8	8.1	88
		Ne	7.6	10	9.9	11.8	8.8	5	3	2.6	4.1	7.5	9.6	8	88
Maravehtapeh	Rate	Pos	46.4	49.7	55.6	51.1	22.	20.	16.	14	19.6	34	40.1	43.5	414
		Ne	42.6	48	50.5	41.1	28	17.	23.	13	17.1	30.8	38.7	34.1	385
	Day	Pos	10.1	11.4	12.1	10.3	8.2	5.3	3.8	3.9	5.9	8.9	9.9	9.8	100
		Ne	9.7	10.6	11.1	9.6	7	4.4	3.5	4.1	4.3	7.1	8.3	8.4	88
Nowshahr	Rate	Pos	109.	104.	89.9	59.1	54.	52	29.	80.1	193.	268.	218.	140.	140
		Ne	91.9	78.7	79.8	51	33	28.	38.	106.	170.	230.	203.	69.8	118
	Day	Pos	13.5	13.7	12.8	12.2	11.	8.1	6.6	9.8	12.1	14.2	14	12.9	141
		Ne	10.4	10.6	12.9	9.2	10.	6.2	7.1	8.9	9.7	11.6	12.6	9.9	119
Ramsar	Rate	Pos	77.6	107.	88.8	62.4	56.	59.	30.	49.3	193.	315.	212.	104	135
		Ne	78.5	64.9	67.2	18.6	34.	32.	57.	97.4	160.	244.	161.	59	107
	Day	Pos	13.3	12.9	14.3	14.2	12.	9.1	5.7	8.6	12	14.9	13.2	12.2	143
		Ne	9.9	11	12.9	9.5	12.	7	7.3	8.9	9.6	10.8	12.5	9.4	122
Rasht	Rate	Pos	156.	133.	108.	79.3	51.	50.	42.	72.3	196.	268.	226.	192.	158
		Ne	119.	104.	78.8	24	41.	18	46.	89	125	155.	177	112.	109
	Day	Pos	15.5	13.4	14.8	13.5	12.	8.1	5.7	8.9	12.6	15.2	14.5	14.4	149
		Ne	11.3	11.8	12.8	8.5	10.	5	6.6	8.7	9.8	12.1	13.7	11.9	123

سناریوی RCP4.5 در فاز مثبت به غیر از ماه‌های مارس و ژانویه در سایر ماه‌ها در تمامی ایستگاه‌ها

همچنین مطابق شکل ۱ بررسی نقشه‌های نموداری ماهانه a و b نیز نشان می‌دهد که در

نسبت به دوره پایه افزایش دما اتفاق خواهد افتاد، به‌طوری که ملاحظه می‌گردد در ماه آگوست بیشترین میزان افزایش دما با مقدار متوسط آن بین ایستگاه‌ها معادل ۳،۸۳ درجه سانتی‌گراد و در ماه مارس نیز به غیر از ایستگاه بندرانزلی، بابلسر، نوشهر و رامسر در سایر ایستگاه‌ها نسبت به دوره پایه کاهش دما اتفاق خواهد افتاد به‌طوری که ملاحظه می‌شود میانگین کاهش بین ایستگاه‌های معادل ۰،۴۹ درجه سانتی‌گراد خواهد بود؛ اما در فاز منفی این سناریو باوجود اینکه بالاترین میانگین افزایش دما بین ایستگاه‌های مختلف در ماه نوامبر اتفاق خواهد افتاد، اما بالاترین افزایش دما در ایستگاه بندرانزلی در ماه فوریه، گنبدکاووس در ماه ژولای و در بابلسر، نوشهر و رامسر در ماه می اتفاق خواهد افتاد. بررسی نقشه‌های نموداری c و d مطابق با سناریوی RCP8.5 نیز نشان می‌دهد که در فاز مثبت بیشترین میزان افزایش حداکثر دما در ماه فوریه در بندر انزلی، منجیل، بابلسر، نوشهر و رامسر به ترتیب با ۴،۳۰، ۴،۹۷، ۴،۱۹، ۴،۱۹ و ۴،۱۹ درجه سانتی‌گراد افزایش و در درجه دوم نیز در ماه اکتبر ایستگاه‌های آستارا، گرگان، مراوه‌تپه و قراخیل با ۵،۹۷، ۶،۵۸ و ۴،۱۲ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. به‌طور کلی می‌توان گفت در این دو ماه میانگین افزایش دما بین ایستگاه‌ها بیش از ۴ درجه سانتی‌گراد و همچنین کمترین افزایش دما نیز مربوط به ماه مارس خواهد بود اما در فاز منفی این سناریو، بالاترین افزایش دما مربوط به دو ماه ژانویه و فوریه است، به‌طوری که ملاحظه می‌شود میانگین کلی افزایش در این دو ماه بین ایستگاه‌ها ۴،۲۲ و ۴،۳۵ درجه سانتی‌گراد و همچنین کمترین میزان افزایش دما مربوط به ماه آوریل خواهد بود. در نتیجه می‌توان گفت که در سناریوی RCP8.5 بیشترین افزایش دما مربوط به ماه‌های دوره سرد سال در حالی که مطابق با سناریوی RCP4.5 در فاز مثبت در ماه‌های گرم سال و در فاز منفی آن خواهد کرد.

بررسی حداقل دما نیز برای دوره‌های آتی مطابق جدول ۷ بر مبنای سناریوی RCP4.5 نشان نیز می‌دهند که میانگین افزایش برای کل ایستگاه‌ها در

فاز مثبت معادل ۱،۷۳ و در فاز منفی معادل ۲،۲۲ درجه سانتی‌گراد خواهد بود به‌طوری که ملاحظه می‌گردد در فاز مثبت دامنه بالاترین و پایین‌ترین ترتیب افزایش حداقل دما مربوط به ایستگاه‌های منجیل با ۲،۲۲ و گرگان با ۱،۳۹ درجه سانتی‌گراد خواهد بود، در حالی که در سناریوی RCP8.5 میانگین افزایش دما در فاز مثبت و منفی به ترتیب معادل ۲،۸۶ و ۲،۹۸ درجه سانتی‌گراد است. از یک‌طرف به‌مانند حداکثر دما تفاوت قابل توجهی بین دو فاز این سناریو دیده نمی‌شود و از طرف دیگر در این سناریو شدت روند افزایش دما بیشتر اتفاق خواهد بود؛ اما بررسی شکل ۱ مطابق نقشه‌های نموداری e و f در سناریوی RCP4.5 نشان می‌دهد که در هر دو فاز بیشترین میزان افزایش دما نسبت به دوره پایه در ماه‌های گرم سال اتفاق خواهد افتاد. به‌طوری که در فاز مثبت، میانگین بین ایستگاه‌ها در ماه‌های ژوئن تا اکتبر و همچنین دسامبر افزایش دما بیش از ۲ درجه سانتی‌گراد و بالاترین آن در ماه آگوست به‌طور متوسط برای تمامی ایستگاه‌ها معادل ۲،۸ درجه سانتی‌گراد و از طرف دیگر کاهش حداقل دما در ماه مارس اتفاق خواهد افتاد. به‌طوری که بالاترین افزایش حداقل دما در ماه‌های آگوست در ایستگاه مراوه‌تپه معادل ۳،۷۳، در ماه ژولای ایستگاه رشت معادل ۲،۷۵، در ماه ژوئن ایستگاه گرگان معادل ۲،۴ و در ماه دسامبر ایستگاه گنبدکاووس معادل ۳،۳۴ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. این در حالی است که در ماه مارس ایستگاه‌های منجیل، گنبدکاووس، گرگان و مراوه‌تپه کاهش دما اتفاق خواهد افتاد؛ اما در فاز منفی این سناریو افزایش حداقل دما به‌طور متوسط برای تمامی ایستگاه‌های در ماه‌های می، آگوست، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر بیش از ۲ درجه سانتی‌گراد خواهد بود، به‌طوری که بالاترین مقدار مربوط به آگوست در ایستگاه‌های بندرانزلی، منجیل و گرگان به ترتیب ۳،۰۴، ۲،۹۴ و ۲،۷۶ درجه سانتی‌گراد و در ماه نوامبر مربوط به ایستگاه‌های آستارا، منجیل، رشت، بابلسر و نوشهر معادل ۳،۰۸، ۲،۹۴، ۲،۹۸، ۳،۳۲ و ۳،۰۵ درجه خواهد بود. البته

کمترین میزان افزایش دما در ماه مارس به‌طور متوسط در بین ایستگاه معادل ۱,۴۷ درجه سانتی‌گراد خواهد بود؛ اما در فاز منفی بیشترین میزان افزایش دما در ماه دسامبر اتفاق خواهد افتاد. به‌طوری‌که دامنه تغییرات افزایش حداقل دما در این ماه در بین ایستگاه‌ها در حدود ۳,۰۳ تا ۴,۹۰ درجه سانتی‌گراد است. در کل هرچند میانگین افزایش حداقل دما در این سناریو در هر دو فاز خیلی به هم نزدیک‌تر اما دامنه تغییرات افزایش دما بین ایستگاه‌های مختلف در فاز مثبت شدیدتر از فاز منفی است. از طرف دیگر دامنه تغییرات افزایش دما نسبت به دوره پایه بین ایستگاه‌های مختلف در فاز منفی یکنواخت‌تر از فاز مثبت است.

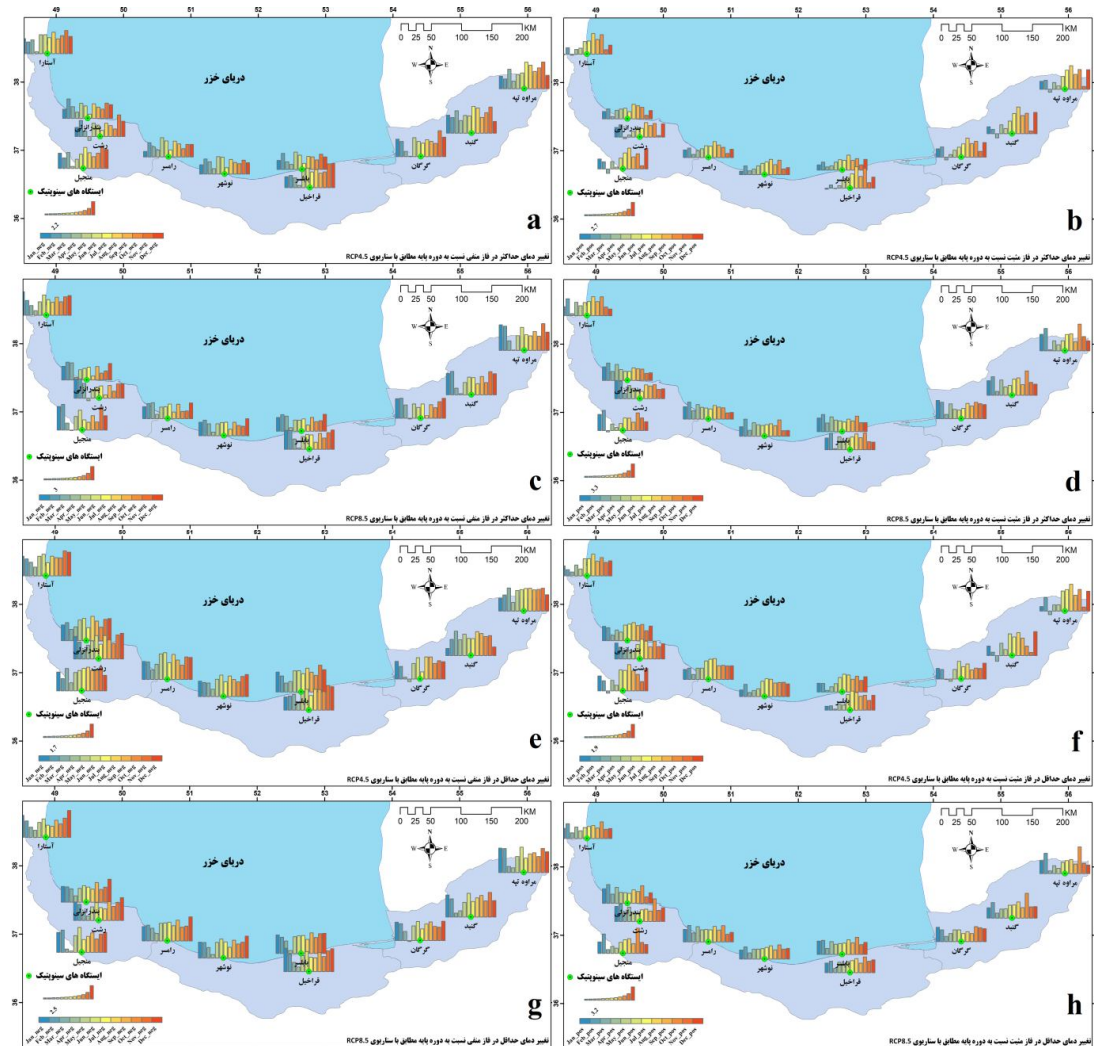
لازم به ذکر است بالاترین مقدار افزایش دما در ایستگاه گنبدکاووس و مراوه‌تپه در ماه مارس، در ایستگاه رامسر در ماه ژوئن و در نهایت نوشهر در ماه دسامبر اتفاق خواهد افتاد؛ اما در ماه‌های مارس و آوریل در بیشتر ایستگاه‌ها شدت افزایش بسیار ناچیز است. بررسی روند آتی حداقل دما در سناریوی RCP8.5 مطابق نقشه‌های نموداری ماهانه g و h در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد که در فاز مثبت در دو ماه اکتبر و فوریه میانگین دما در اکثر ایستگاه‌ها در بالاترین حد خود قرارداد به‌طوری‌که ملاحظه می‌شود ایستگاه‌های منجیل، رشت، گنبدکاووس و مراوه‌تپه افزایش دمای بالای ۵,۵ درجه سانتی‌گراد را در ماه اکتبر به تجربه خواهند نمود. این در حالی است که

جدول ۷: میانگین تغییرات روند حداکثر و حداقل دمای در فاز مثبت و منفی شاخص NCP برای دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰)

Station	Max_RCP4.5		Max_RCP8.5		Min_RCP4.5		Min_RCP8.5	
	Pos	Neg	Pos	Neg	Pos	Neg	Pos	Neg
Astara	1.84	2.58	2.98	3.46	1.80	2.25	2.65	2.87
Bandar-e-Anzali	1.82	1.93	2.78	2.56	1.84	2.24	3.03	2.75
Manjil	2.04	2.33	2.52	3.15	2.02	2.34	2.84	2.88
Rasht	1.70	1.72	2.87	2.55	1.88	2.33	3.15	2.69
Gonbad-e-kavus	2.42	3.11	3.33	3.50	1.66	2.19	3.01	3.09
Gorgan	2.00	2.41	3.22	2.94	1.39	1.76	2.65	2.62
Maravehtappeh	2.33	2.84	3.29	3.89	1.83	2.38	2.90	3.28
Babolsar	1.71	1.89	2.93	2.64	1.59	2.32	2.92	2.94
Gharakhil	1.83	2.53	2.80	3.07	1.47	2.20	2.66	3.02
Nowshahr	1.80	1.96	2.67	2.64	1.64	2.05	2.55	2.70
Ramsar	1.87	1.93	2.78	2.59	1.90	2.40	3.06	2.95

افزایشی خواهد بود و از طرف دیگر با توجه به شکل ۲ نقشه‌های دیاگرامی a و b نشان می‌دهد که بیشترین مقدار نرخ بارش در هر دو فاز در ماه‌های گرم سال و کاهش بارش نیز در ماه‌های سرد سال اتفاق خواهد افتاد. البته لازم به ذکر است که ماه نوامبر در فاز مثبت و در دسامبر در فاز منفی استثنا خواهد بود. در کل می‌توان گفت که ایستگاه‌های که از بدنه آبی دریای خزر در فاصله بیشتری قرار دارند از جمله منجیل، گنبدکاووس و مراوه‌تپه در دوره‌های آتی کاهش بارش اتفاق خواهد افتاد.

بررسی تغییرات نرخ و روزهای بارشی ماهانه شاخص NCP در دوره‌های آتی: آینده‌نگری نرخ بارش در فازهای مثبت و منفی شاخص NCP نشان می‌دهد هرچند در دوره پایه مقدار بارش در فاز مثبت بیش از فاز منفی بوده است؛ اما روند افزایش برای دوره‌های آتی نشان می‌دهد که در سناریوی RCP4.5 در هر دو فاز بارش روند افزایش خواهد یافت و شدت افزایش آن در فاز مثبت بیش از فاز منفی خواهد بود به‌طوری‌که در فاز مثبت در حالت سالانه در ایستگاه‌های آستارا، انزلی، رشت، بابلسر، نوشهر و رامسر افزایش و در فاز مثبت علاوه بر ایستگاه‌های فوق در گرگان نیز بارش



شکل ۱: میانگین تغییر روند دمای حداکثر و حداقل نسبت به دوره پایه مطابق با سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در فازهای مثبت و منفی شاخص NCP برای دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰

دریاست، با این تفاوت طول دوره کاهش و افزایش بارش در ایستگاه گرگان برابر می‌شود؛ اما مقدار بارش از روند کاهشی پیروی خواهد کرد. به‌طور کلی می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری بود که افزایش بارش در این سناریو در هر دو فاز در ماه‌های گرم سال بیشتر اتفاق می‌افتد در حالی که در دوره سرد سال بارش روند کاهشی خواهد بود. این موضوع نشان می‌دهد که با وجود افزایش بارش در آینده، جابجایی ماهانه بارش اتفاق خواهد افتاد. این موضوع می‌تواند یکی از پیامدهای مهم گرمایش جهانی بر الگوی بارش می‌باشد. بررسی بارش بر مبنای سناریوی RCP8.5 متفاوت از سناریوی قبلی است. در این سناریو میانگین بارش بین ایستگاه‌ها در فاز مثبت روند

مقایسه فراوانی ماه‌های با روند افزایشی یا کاهشی در فاز مثبت نشان می‌دهد که در ایستگاه آستارا، بندرانزلی، رشت، گرگان، بابل، نوشهر و رشت روند افزایش بارش در بیش از ۶ ماه رخ خواهد یافت و این میزان در آستارا به ۹ ماه نیز خواهد رسید. بطوریکه مشخص است بیشترین فراوانی وقوع افزایش بارش در ماه‌های مارس تا آگوست و همچنین نوامبر خواهد بود. در حالی که در ایستگاه گنبد کاووس، مراوه‌تپه و منجیل بین ۲ تا ۴ ماه افزایش بارش و در سایر ماه‌ها روند کاهشی خواهد بود و این میزان در ایستگاه منجیل به ۱۰ ماه نیز خواهد رسید. در فاز منفی نیز در ایستگاه‌های مجاور دریای خزر فراوانی ماه‌های با روند افزایش بیشتر از ایستگاه‌های دورتر از بدنه آبی

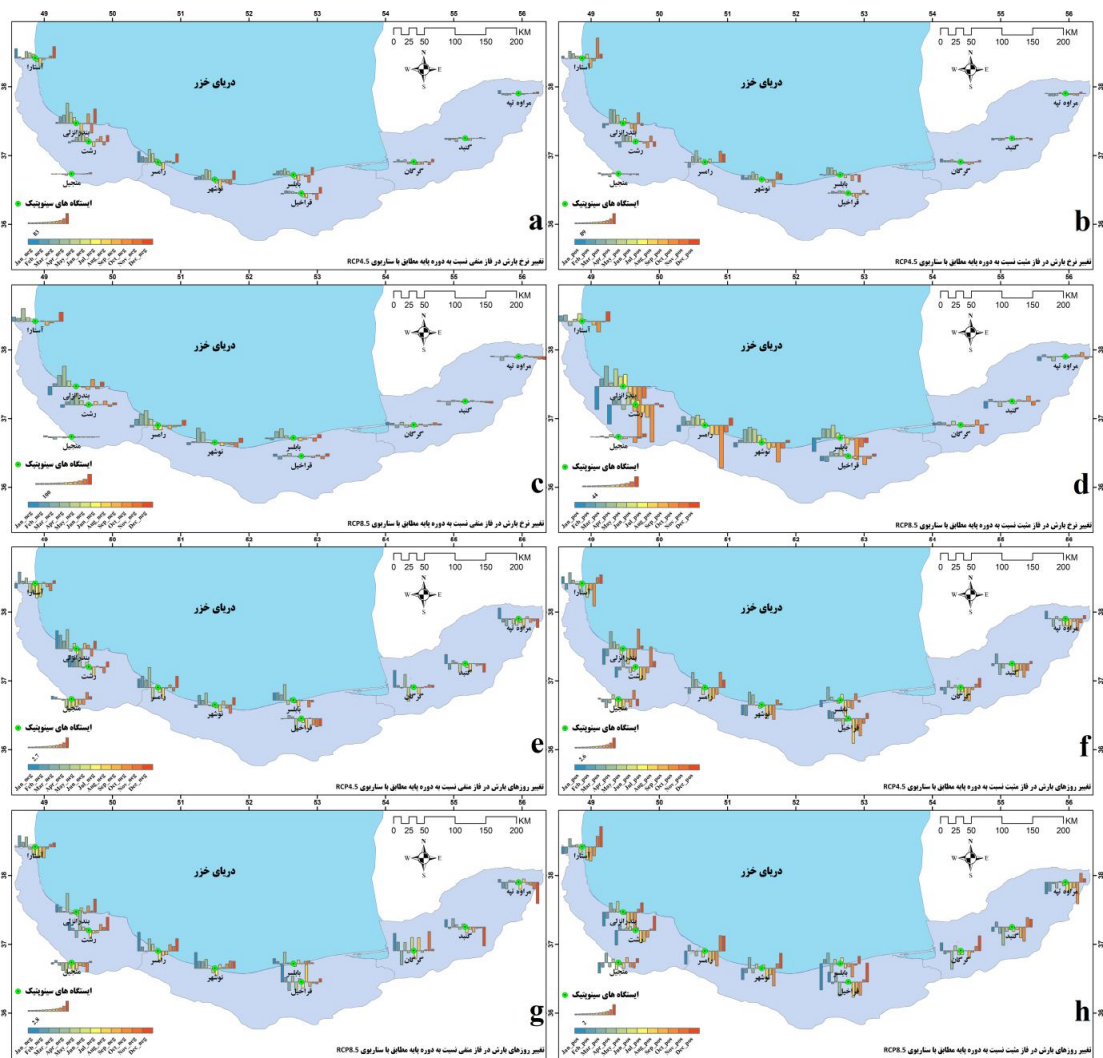
کاهش و در فاز منفی روند افزایشی خواهد بود به طوری که در منطقه مورد مطالعه در فاز مثبت ایستگاه بندرانزلی، منجیل، رشت، گنبد کاووس، مراوه تپه، بابلسر، قراخیل و رامسر از روند کاهشی در پیش خواهند گرفت. در حالی که در فاز منفی صرفاً ایستگاه های منجیل، گنبد کاووس و مراوه تپه از روند کاهشی پیروی خواهند کرد. همچنین مطابق شکل ۲ نقشه های نموداری نشان می دهد که در فاز مثبت بیشترین ایستگاه ها در ماه های فوریه تا ژوئن روند بارش نسبت به دور پایه افزایش و در سایر ماه ها کاهش خواهند بود. به طور کلی نسبت به سناریوی قبل به غیر از ایستگاه منجیل که دارای ۹ ماه کاهش و ۳ ماه روند افزایشی نسبت به دوره پایه است، در سایر دستگاه ها به طور متوسط در حدود ۵ تا ۷ ماه روند افزایشی می باشد. در حالی که تغییرات روند نرخ بارش در فاز منفی این سناریو کمی متفاوت است به طوری که روند کاهشی در ایستگاه منجیل، گنبد کاووس، مراوه تپه، بابلسر، قراخیل، نوشهر و رامسر بیش از ۷ ماه و در ایستگاه رامسر، نوشهر، قراخیل و بابلسر در این سناریو نسبت به دوره پایه افزایش بارش اتفاق خواهد افتاد؛ بنابراین می توان نتیجه گرفت که افزایش بارش در دوره گرم از شدت بیشتری برخوردار بوده به عبارت دیگر رخدادهای تصادفی بارش افزایش اتفاق خواهد افتاد.

بررسی تعداد روزهای بارشی در سناریوی RCP4.5 نشان می دهند که در فاز مثبت این سناریو در تمامی ایستگاه های منطقه مورد مطالعه روند تغییرات تعداد روزهای بارشی از روند کاهشی پیروی خواهند نمود. به طوری که مطابق جدول ۸ ملاحظه می گردد بیشترین روند کاهشی در ایستگاه های بندرانزلی، منجیل، گنبد کاووس و قراخیل به بیش از ۱۰ روز نیز خواهد

رسید، در حالی که در فاز منفی در ایستگاه های بندرانزلی، رشت، گرگان، بابلسر، نوشهر و رامسر به ترتیب ۱۴،۵، ۱۰،۶، ۴،۶، ۴،۴، ۲،۹ و ۸،۲ روز افزایش خواهد یافت. مطابق شکل ۲ نقشه های نموداری e و f نشان می دهد که بیشترین میزان کاهشی روزهای بارش در هر دو فاز در بین ماه های می تا نوامبر اتفاق خواهند افتاد. البته لازم به ذکر است در فاز منفی روزهای افزایشی بارش بخصوص در ماه های ژانویه تا آوریل و همچنین سپتامبر قابل توجه خواهد بود و از طرف دیگر در فاز مثبت روند افزایش تعداد روزهای بارشی در کل منطقه به طور متوسط ۴ ماه و روند کاهشی نیز ۸ ماه خواهد بود در حالی که در فاز منفی تقریباً برابر است. بررسی تعداد روزهای بارش در سناریوی RCP8.5 نیز نشان می دهد که به طور میانگین در فازهای منفی روزهای بارش روند افزایشی و در فاز مثبت در روند کاهشی خواهند بود. به طوریکه مطابق جدول ۸ در فاز مثبت در تمامی ایستگاه تعداد روزهای بارش نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت؛ اما در فاز منفی در ایستگاه های رشت، گرگان، بابلسر، قراخیل، نوشهر و رامسر به ترتیب ۱۰،۴ و ۱۵،۵ و ۶،۹، ۶،۰، ۱۳،۶ و ۱۳،۳ روزهای بارش افزایش خواهند یافت. به طور کلی مشخص می گردد در فاز مثبت به طور متوسط ۷ ماه روند کاهشی و ۵ ماه روند افزایشی روزهای بارشی را شاهد خواهیم بود که بیشترین فراوانی افزایشی روزهای بارشی در ماه های مارس تا می و همچنین در ماه نوامبر و دسامبر خواهد بود، در حالی که در فاز منفی میانگین روزهای بارش با تغییر روند افزایشی و کاهشی به طور متوسط ۶ ماه خواهد بود. در کل بیشترین تعداد روزهای بارش کاهشی در ماه می تا نوامبر خواهد بود.

جدول ۸: میانگین روند تغییرات نرخ و روزهای بارش در فاز مثبت و منفی شاخص NCP برای دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰)

Station	Day_RCP4.5		Day_RCP8.5		Rate_RCP4.5		Rate_RCP8.5	
	Pos	Neg	Pos	Neg	Pos	Neg	Pos	Neg
Astara	-5.7	-10.5	-2.4	-3.0	301.9	207.8	47.5	200.0
Bandar-e-Anzali	-12.2	14.5	-6.1	13.0	290.2	448.9	-234.7	347.1
Manjil	-10.9	-8.4	-4.4	-15.3	-62.8	-13.2	-30.7	-55.6
Rasht	-4.8	10.6	-2.1	10.4	56.6	259.6	-204.4	286.0
Gonbad-e-kavus	-13.9	-6.9	-9.1	-4.6	-89.7	-83.9	-35.8	-29.5
Gorgan	-7.7	4.6	-1.5	15.5	38.3	-26.8	13.7	42.8
Maravehtappeh	-9.5	-9.5	-12.3	-12.0	-80.8	-6.0	-9.6	-86.9
Babolsar	-4.0	4.4	-5.1	6.9	64.2	69.0	-85.9	95.2
Gharakhiil	-13.7	-12.1	-3.5	6.0	-13.8	-25.8	-25.5	12.4
Nowshahr	-8.6	2.9	-3.1	13.6	223.3	110.4	75.3	137.5
Ramsar	0.5	8.2	-6.6	13.3	347.6	381.0	-128.5	275.9



شکل ۲: میانگین تغییرات روند نرخ بارش و تعداد روزهای بارشی نسبت به دوره پایه مطابق با سناریوهای

RCP8.5 و RCP4.5 در فازهای مثبت و منفی شاخص NCP برای دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰

بحث و نتیجه‌گیری

شاخص اقلیمی NCP در نواحی شرقی دریای مدیترانه یکی از اثرگذارترین شاخص‌های ارتباط از راه دور در سطوح میانی تروپوسفر می باشد (چاغلر و همکارانش، ۲۰۲۱) که با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق مشخص می‌شود در سواحل جنوبی دریای خزر نیز این شاخص بر روی بارش و دما تأثیر قابل‌توجهی دارد. بر این اساس با توجه به یافته‌ها مشخص می‌شود در فاز منفی این شاخص میانگین حداقل و حداکثر دمای ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه بیش از فاز مثبت آن است. همچنین ارزیابی نرخ و تعداد روزهای بارش نیز نشان می‌دهند که در فاز مثبت بیش از فاز منفی می باشد، به عبارت دیگر می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری نمود که در دوره پایه هم‌زمان با بالا رفتن دمای حداکثر و حداقل در فاز منفی شاخص NCP، نرخ و تعداد روزهای بارش کاهش می‌یابد و برعکس آن با کاهش دما در فاز مثبت، به نرخ و تعداد روزهای بارش افزوده می‌شود یا به گونه دیگر افزایش نرخ و تعداد روزهای بارش سبب افت دمای منطقه مورد مطالعه می‌شود. این نتایج با یافته‌های کوتیل و همکارش (۲۰۰۵)، قاسمی و همکارانش (۲۰۰۸)، کوتیل (۲۰۱۰)، مسعودیان و همکارش (۲۰۱۳)، قویدل و همکارانش (۱۳۹۳)، قویدل و همکارانش (۱۳۹۵) و سزن و همکارش (۲۰۱۹) برای مناطقی از کشورهای شرقی مدیترانه از جمله ترکیه و ایران همخوانی دارد. از جمله مهم‌ترین یافته‌های اصلی این تحقیق آینده‌نگری مولفه‌های اقلیمی دما و بارش بر مبنای فازهای مثبت و منفی این شاخص برای دوره آتی ۲۰۴۱-۲۰۶۰ است. به‌طوری‌که برای انجام این کار ابتدا شاخص NCP برای دوره‌های آتی بر اساس مدل اقلیمی به‌صورت ترکیبی توسعه و تعمیم داده شد. بطوریکه در مرحله مقدماتی برای اطمینان از توسعه و تعمیم شاخص، کارایی مدل ترکیبی بر اساس دوره آموزشی و آزمایشی با استفاده از معیارهای قابل قبول مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج خوبی را برای شبیه‌سازی دوره‌های آتی نشان داد. همچنین مؤلفه‌های اقلیمی ایستگاه‌ها نیز با ارتفاع فشار موقعیت

قطب دریای خزر این شاخص با استفاده از ۱۴ مدل اقلیمی موردنظر ریزمقیاس نمایی شدند، به‌طوری‌که از نتایج کارایی مولفه‌های دما و بارش نیز مشخص می‌گردد شبیه‌سازی شده انجام‌شده در این مرحله نیز از کارایی قابل قبولی برخوردار بودند.

بر این اساس نتایج حاصل از آینده‌نگری مولفه‌های اقلیمی دما و بارش بر اساس فازهای مثبت و منفی شاخص NCP برای دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ مشخص می‌کند که نسبت به دوره پایه میانگین دمای حداکثر و حداقل در هر دو فاز بر مبنای دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 افزایش خواهند یافت. با این ویژگی که در سناریوی RCP4.5 شدت افزایش دما در فاز منفی بیش از فاز مثبت خواهد بود، به‌طوری‌که مشخص شد میانگین دمای کل منطقه مورد برای فاز منفی ۱,۸۴ و برای فاز مثبت در ۲,۲۶ درجه سانتی‌گراد است که اختلافی معادل ۰,۴۲ سانتی‌گراد را شاهد خواهیم بود. درحالی‌که در سناریوی RCP8.5 شدت افزایش دما در هر دو فاز بیشتر و حتی با اختلاف کمی نسبت به هم اتفاق خواهند افتاد، به‌طوری‌که میانگین افزایش دما در فاز مثبت نسبت به دوره پایه معادل ۲,۸۹ و در فاز منفی ۲,۹۴ سانتی‌گراد خواهد بود به‌طوری‌که دیده می‌شود تفاوت افزایش دما معادل ۰,۰۵ درجه سانتی‌گراد است. آینده‌نگری نرخ و تعداد روزهای بارشی نیز نشان داد که رفتار تغییرات بارش در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه بی‌نظم‌تر از مولفه دما خواهد بود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مشخص می‌گردد که میانگین تعداد روزهای بارش در سناریوی RCP4.5 در هر دو فاز از روند کاهشی نسبت به دور کار پایه برخوردار خواهند بود، درحالی‌که در این سناریو و در هر دو فاز نرخ بارش در ایستگاه که با بدنه آبی دریای خزر فاصله نزدیکی دارند همانند آستارا، بندر انزلی، بابلسر، نوشهر و رامسر افزایش نرخ بارش و درحالی‌که در ایستگاه دورتر همچون منجیل، گنبد کاووس، مراوه‌تپه و گرگان شاهد کاهش نرخ بارش خواهیم بود. همچنین بر مبنای سناریوی RCP8.5 متوسط تعداد روزهای بارش منطقه مورد مطالعه در فاز مثبت نسبت به دوره پایه در حدود ۵

در هر دو سناریو و هر دو فاز مثبت و منفی در دوره‌های سرد سال نرخ و تعداد روزهای بارش کاهش و در دوره گرم سال افزایش می‌یابد، به عبارت دیگر می‌توان این گونه نتیجه‌گیری کرد که با توجه به گرمایش جهانی حتی در فازهای مختلف شاخص NCP نیز بارش از نظر زمانی به دوره گرم سال جابجا خواهد شد. این موضوع نشان می‌دهد که در آینده در منطقه مورد مطالعه بارش‌ها بیشتر حالت اتفاقی و ناگهانی خواهند بود.

روز کاهش و در فاز منفی ۴ روز افزایش خواهد یافت، در حالی که نرخ بارش در فاز مثبت حتی در ایستگاه ساحلی همانند بندرانزلی، رشت، بابلسر و رامسر نیز کاهش خواهد بود، به عبارت دیگر میانگین نرخ بارش ایستگاه‌ها نسبت به دوره پایه تقریباً ۵۶ میلی‌متر کاهش خواهد نمود در حالی که در فاز منفی بمانند سناریوی RCP4.5، افزایش بارش در ایستگاه ساحلی و کاهش بارش در ایستگاه دور از ساحل اتفاق خواهد افتاد. همچنین بر مبنای بررسی وضعیت نرخ و تعداد روزهای بارشی بر مبنای ماهانه مشخص می‌گردد که

منابع

1. Çağlar, F., Yetemen, O., Pan Chun, K., and Lutfi Sen, O. (2021, April). Applicability of the North Sea Caspian Pattern as an indicator of the Euro-Mediterranean Climate Variability. In EGU General Assembly Conference Abstracts (pp. EGU21-8729).
2. López-Moreno, J.I., and Vicente-Serrano, S.M. (2008). Positive and negative phases of the wintertime North Atlantic Oscillation and drought occurrence over Europe: a multitemporal-scale approach. *Journal of Climate*, 21(6), 1220-1243.
3. Folland, C.K., Knight, J., Linderholm, H.W., Fereday, D., Ineson, S., and Hurrell, J.W. (2009). The Summer North Atlantic Oscillation: Past, Present, and Future, *Journal of Climate*, 22(5), 1082-1103. Retrieved Jan 24, 2021, from <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/22/5/2008jcli2459.1.xml>
4. Folland, C.K., Knight, J., Linderholm, H.W., Fereday, D., Ineson, S., and Hurrell, J.W. (2009). The Summer North Atlantic Oscillation: Past, Present, and Future, *Journal of Climate*, 22(5), 1082-1103. Retrieved Jan 24, 2021, from <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/22/5/2008jcli2459.1.xml>
5. Rousi, E., Anagnostopoulou, C., Tolika, K., Maheras, P., and Bloutsos, A. (2013). ECHAM5/MPI General Circulation Model Simulations of Teleconnection Indices Over Europe. In *Advances in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics* (pp. 709-715). Springer, Berlin, Heidelberg.
6. Beranová, R., and Kyselý, J. (2013). Relationships between the North Atlantic Oscillation index and temperatures in Europe in global climate models. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 57(1), 138-153.
7. Davey, M.K., Brookshaw, A., and Ineson, S. (2014). The probability of the impact of ENSO on precipitation and near-surface temperature. *Climate Risk Management*, 1, 5-24.
8. Wise, E.K., Wrzesien, M.L., Dannenberg, M.P., and McGinnis, D.L. (2015). Cool-season precipitation patterns associated with teleconnection interactions in the United States. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 54(2), 494-505.
9. Cleary, D.M., Wynn, J.G., Ionita, M., Forray, F.L., and Onac, B.P. (2017). Evidence of long-term NAO influence on East-Central Europe winter precipitation from a guano-derived $\delta^{15}\text{N}$ record. *Scientific reports*, 7(1), 14095. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14488-5>.
10. Riaz, Syed M.F., Iqbal, M.J., Hameed, Sultan (1 January 2017). "Impact of the North Atlantic Oscillation on winter climate of Germany". *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*. 69 (1): 1406263. DOI:10.1080/16000870.2017.1406263.

11. Luo, D., Chen, X., and Feldstein, S.B. (2018). Linear and nonlinear dynamics of North Atlantic Oscillations: A new thinking of symmetry breaking. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 75(6), 1955-1977.
12. Bahrami, F., Saadatabadi, A.R., Meshkatee, A.H., and Kamali, G. (2019). The Impact of ENSO Phase Transition on the Atmospheric Circulation, Precipitation and Temperature in the Middle East Autumn. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 1-15.
13. Ermakova, T.S., Aniskina, O.G., Statnaia, I.A. *et al.* (2019). Simulation of the ENSO influence on the extra-tropical middle atmosphere. *Earth Planets Space* 71, 8 <https://doi.org/10.1186/s40623-019-0987-9>.
14. Rousi, E., Rust, H.W., Ulbrich, U., and Anagnostopoulou, C. (2020). Implications of winter NAO flavors on present and future European climate. *Climate*, 8(1), 13.
15. Hamouda, M.E., Pasquero, C. and Tziperman, E. (2021). Decoupling of the Arctic Oscillation and North Atlantic Oscillation in a warmer climate. *Nat. Clim. Chang.* <https://DOI.org/10.1038/s41558-020-00966-8>
16. Kutiel, H., and Benaroch, Y. (2002). North Sea-Caspian Pattern (NCP)—an upper level atmospheric teleconnection affecting the Eastern Mediterranean: Identification and definition. *Theoretical and Applied Climatology*, 71(1), 17-28.
17. Kutiel, H., and Türkeş, M. (2005). New evidence for the role of the North Sea—Caspian Pattern on the temperature and precipitation regimes in continental central Turkey. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 87(4), 501-513.
18. Gündüz, M., and Özsoy, E. (2005). Effects of the North Sea Caspian pattern on surface fluxes of Euro-Asian-Mediterranean seas. *Geophysical Research Letters*, 32(21).
19. Tatli, H. (2007). Synchronization between the North Sea-Caspian pattern (NCP) and surface air temperatures in NCEP. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 27(9), 1171-1187.
20. Ghasemi, A.R., and Khalili, D. (2008). The effect of the North Sea-Caspian pattern (NCP) on winter temperatures in Iran. *Theoretical and applied climatology*, 92(1), 59-74.
21. Kutiel, H. (2010). A review on the impact of the North Sea-Caspian Pattern (NCP) on temperature and precipitation regimes in the Middle East. In *Survival and Sustainability* (pp. 1301-1312). Springer, Berlin, Heidelberg.
22. Brunetti, M., and Kutiel, H. (2011). The relevance of the North-Sea Caspian Pattern (NCP) in explaining temperature variability in Europe and the Mediterranean. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11(10), 2881-2888.
23. Masoodian, S.A., and Darand, M. (2013). The relation between two patterns North Sea-Caspian pattern (NCP) and East Europe-Northeast Iran (ENEI) with number of extreme cold temperatures in Iran during cold seasons. *Journal of the Earth and Space Physics*, 392), 171-186.
24. Ghavidel Rahimi, Y., Farajzadeh Asl, M., and Kakapor, S. (2014). Investigation on North Sea-Caspian Teleconnection Pattern Effect on Autumn Rainfall Fluctuations in West and Northwest Regions of Iran. *Geography and Planning*, 18(49), 217-230.
25. Gündüz, M., Sözer, A., Tutsak, E., and Özsoy, E. (2015). Water transport variability in the aegean sea and its connection with north sea caspian pattern (ncp). *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 51), 1-8.
26. Ghanghermeh, A., Roshan, G., and Al-Yahyai, S. (2015). The influence of Atlantic-Eurasian teleconnection patterns on temperature regimes in South Caspian Sea coastal areas: a study of Golestan Province, North Iran. *Pollution*, 1(1), 67-83.
27. Ghavidel, R.Y., Farajzadeh, A.M., and Hatami, Z.D. (2016). The Role of North Caspian Sea Pattern (NCP) Teleconnection in Maximum Temperatures Oscillation in Iran.

28. Sezen, C., and Partal, T. (2017). The Effects of North Sea Caspian Pattern Index on the Temperature and Precipitation Regime in the Aegean Region of Turkey. *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*. 11(5), 413-417.
29. Sezen, C., and Partal, T. (2017). The relation of North Atlantic oscillation (NAO) and North Sea Caspian pattern (NCP) with climate variables in Mediterranean region of Turkey. *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics*, (1), 366-371.
30. Tosunoglu, F., Can, I., and Kahya, E. (2018). Evaluation of spatial and temporal relationships between large-scale atmospheric oscillations and meteorological drought indexes in Turkey. *International Journal of Climatology*, 38(12), 4579-4596.
31. Sezen, C., and Partal, T. (2019). The impacts of Arctic oscillation and the North Sea Caspian pattern on the temperature and precipitation regime in Turkey. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 131(6), 1677-1696.
32. Araghi, A., Martinez, C.J., Adamowski, J., and Olesen, J.E. (2019). Associations between large-scale climate oscillations and land surface phenology in Iran. *Agricultural and Forest Meteorology*, 278, 107682.
33. Moghbel, M. (2020). Evaluation of the human thermal discomfort index in different phases of North-Caspian Sea Patterns (NCP) in southern coasts of Caspian Sea, Iran. *Climate Change Research*, 1(4), 1-9.