

Analytical Assessment of Future Climate Changes in the Amol-Babol Plain Using the Main Variables Affecting Its Trend

A. Gholami

Assistant Professor, Faculty of Technical and Engineering, Shomal University, Amol, Iran.

Email: gholami@shomal.ac.ir

Received: 12-03-2023

Revised: 01-05-2023

Accepted: 23-05-2023

Available Online: 21-09-2023

سنجش تحلیلی تغییرات اقلیمی آبی در دشت آمل-بابل با استفاده از متغیرهای اصلی اثرگذار بر روند آن

عباس غلامی

استادیار دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شمال، آمل، ایران.

E-Mail: gholami@shomal.ac.ir

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۲/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۲

Abstract

According to the base period selected in this research and the average monthly precipitation and temperature, the base period extracted from the statistics of the nearest synoptic station to the study area, the average monthly precipitation and temperature of the future years were simulated by the famous climate model LARS-WG5. Based on the results of this research, it is revealed that from the first of January to the first of March, the average monthly rainfall will increase in the future periods compared to the base period, it will decrease in the month of March and a relative increase in the amount of rainfall will be seen in the rest of the year, that will be more evident in October and November. The decrease of rainfall in the coming months of March due to the beginning of the vegetation period and the water requirement of agricultural plants, Also premature fall of pastures due to drought stress has an effective role in changing hydrological processes and naturally its effect on other environmental components. Regarding the current and future temperature situation, according to the climate change scenarios, the monthly temperature from the HADCM3 model for different months of the year shows the highest temperature changes in the months of March, June, and January, respectively, which indicates the warming of early spring and early summer, as well as It is the beginning of winter in the future periods that these phenomena will have a significant impact on the flowering time of plants, creating water stress in these seasons.

Keywords: Precipitation Amounts, Temperature Changes, Climate Scenarios, Amol-Babol Plain.

چکیده

باتوجه به دوره پایه انتخاب شده در این پژوهش و میانگین بارش و دمای ماهانه، دوره پایه استخراج شده از آمار نزدیکترین ایستگاه سینوپتیک به محدوده مطالعاتی، میانگین بارش و دمای ماهانه سال‌های آینده توسط مدل مشهور آب‌وهوایی LARS-WG5 شبیه‌سازی شد. براساس نتایج این پژوهش آشکار می‌شود که از اول ماه ژانویه تا اول ماه مارس میانگین بارش ماهانه در دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد، در ماه مارس کاهش و در بقیه ماه‌های سال افزایش نسبی در مقدار بارش را شاهد خواهیم بود که این موضوع در ماه اکتبر و نوامبر مشهودتر است. کم شدن بارش ماه‌های مارس آبی باتوجه به شروع دوره رویش گیاهی و نیاز آبی گیاهان زراعی و همچنین خزان زود هنگام مراتع در اثر تنش خشکی نقش موثری در تغییر فرایندهای هیدرولوژیکی و طبعاً تأثیر آن بر سایر مولفه‌های محیط‌زیست دارد. در مورد وضعیت دمایی حال و آینده باتوجه به سناریوهای تغییر اقلیم دمای ماهانه از مدل HADCM3 برای ماه‌های مختلف سال نیز نشان‌دهنده بیشترین تغییرات دمایی به ترتیب در ماه‌های مارس، ژوئن و ژانویه می‌باشد که نشان‌دهنده گرم‌تر شدن اوایل بهار و اوایل تابستان و همین‌طور اوایل زمستان در دوره‌های آینده می‌باشد و این تغییرات دمایی نیز بر روی زمان گل‌دهی گیاهان، ایجاد تنش آبی در این فصول تأثیر قابل توجهی خواهد گذاشت.

واژه‌های کلیدی: مقادیر بارش، تغییرات دمایی، سناریوهای اقلیمی، دشت آمل-بابل.

بسیاری از محققین قرار گرفته است (Feola و همکاران، ۲۰۱۵). بخش کشاورزی به دلیل تعاملات گسترده‌ای که با محیط دارد، بیشترین تأثیر را از پدیده تغییر اقلیم می‌پذیرد (Pradhan و همکاران، ۲۰۱۵؛ Walthall و همکاران، ۲۰۱۲) و در نتیجه ضمن تغییر شرایط تولید باعث تغییرات رفاهی نیز در سطح جامعه می‌شود. باتوجه به اتکای مستقیم کشاورزی بر منابع طبیعی، مردمی که معیشت خود را از این بخش تأمین می‌کنند، به دلیل اثرپذیری از تغییر اقلیم، به شدت آسیب‌پذیر می‌باشند (Deressa و همکاران، ۲۰۰۸؛ Haden و همکاران، ۲۰۱۲؛ Thorlakson و Neufeldt، ۲۰۱۲). باتوجه به مباحث مطرح شده فوق در خصوص تأثیر تغییرات اقلیمی در حوضه مطالعاتی آینده، قابل ذکر است که محققان متعددی از روش‌های بسیار متنوعی برای بررسی این موضوع در نقاط مختلف دنیا استفاده نمودند به‌عنوان نمونه به چند مورد آن اشاره می‌شود: Souvignet و همکاران (۲۰۱۰) در تحقیقی به بررسی عملکرد مدل ریز مقیاس نمایی آماری SDSM تحت سناریوهای A2 (مقدار بالای CO₂ و بدون پایداری آن) و B2 (مقدار متوسط به پائین CO₂ با اندازه ۶۵۰ قسمت در میلیون) مدل گردش عمومی جو HadCM3 در حوضه الکیو شیلی پرداختند و عملکرد این مدل را قابل قبول گزارش کردند. Abdo و همکاران (۲۰۰۹) اثر تغییر اقلیم بر پارامترهای دمای کمینه و بیشینه و بارش با مدل گردش عمومی HadCM3 را بررسی کردند و برای ریز مقیاس نمایی از روش‌های آماری تحت سناریوهای A2 و B2 استفاده کردند. Vanuytrechta و همکاران (۲۰۱۴) اثرات تغییرات اقلیمی بر برداشت غلات با استفاده از مدل‌ها و سناریوهای GCM، EU-ENSEMBLES و با کاربرد مدل LARS-WG را ارزیابی کردند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد انتخاب یک یا دیگر سناریوها (با وضوح متفاوت مدل‌های اقلیمی) در ارزیابی عدم قطعیت مدل تأثیر می‌گذارد. Lu و همکاران (۲۰۱۵) تغییرات هیدرولوژیکی تحت تأثیر تغییرات اقلیمی در آینده نزدیک با استفاده از مدل REGCM4 در آفریقای جنوبی را با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی بزرگ مقیاس بررسی کردند. آنها در کل نتیجه‌گیری نمودند که ما در آینده شاهد افزایش دما در آفریقای جنوبی و نیز شاهد تغییرات بارش ماه‌های مختلف در زیر حوضه‌های آن منطقه خواهیم بود. آنها همچنین نتیجه‌گیری نمودند که ما در آینده نزدیک شاهد افزایشی در رواناب و تبخیر و تعرق واقعی حوضه در بخش شرق آفریقای جنوبی، موزامبیک جنوبی و مالاوی را مشاهده خواهیم نمود و براساس آن کاهش در عوامل ذکر شده در امتداد خشک‌ترین مناطق در محدوده گسترده‌ای از صحرای کالاهاری را شامل خواهد شد و همینطور علائم نیرومند تغییرات اقلیمی در نواحی حاره‌ای مرطوب این قاره در نواحی آنگولا، مالاوی و جنوب جمهوری کنگو وجود دارد و نشانه‌های بارزی حاکی از تغییرات اقلیمی در آفریقای جنوبی

افزایش جمعیت کره زمین که باعث تغییر کاربری زمین، تخریب جنگل‌ها، افزایش فعالیت‌های کشاورزی و دامداری و تولید ضایعات جامد و مایع شده، پیامدهایی گوناگون به همراه داشته است که پدیده تغییر اقلیم یکی از آنها است. براساس تعریف هیئت بین دولتی تغییرات آب‌وهوایی (IPCC)^۱ تغییر اقلیم، عبارت است از تغییر برگشت‌ناپذیر در متوسط شرایط آب‌وهوایی یک منطقه نسبت به رفتاری که در طول یک افق زمانی بلندمدت از اطلاعات مشاهده یا ثبت شده در آن منطقه مورد انتظار است (Parry و همکاران، ۲۰۰۷). باوجودی که تغییر اقلیم در برخی از مناطق جهان به‌ویژه نواحی واقع در عرض‌های شمالی بالاتر از ۵۵ درجه اثرات مثبتی بر تولیدات کشاورزی به همراه خواهد داشت (Ewert و همکاران، ۲۰۰۵). امروزه با افزایش فعالیت‌های انسانی، غلظت گازهای گلخانه‌ای افزایش یافته و باعث گرم شدن کره زمین و در نهایت، منجر به تغییراتی گسترده در آب‌وهوای جهان خواهد شد. این تغییرات ممکن است باتوجه به هر منطقه اثرات مثبت، خنثی و حتی منفی نیز داشته باشد (Janjua و همکاران، ۲۰۱۴). از جمله مهمترین گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن (CO₂)، اکسید نیتروژن (N₂O)، متان (CH₄) و بخار آب می‌باشد که فعالیت‌های انسانی باعث تغییر در ترکیب و افزایش غلظت این گازها شده و در نهایت منجر به افزایش دمای زمین و پدیده تغییر اقلیم می‌شود (Motha و Baier، ۲۰۰۵). روی هم رفته، اقلیم، شرایط متوسط آب‌وهوا برای محدوده‌ای ویژه و یک دوره خاص است. فعالیت‌های بشری دهه‌های اخیر جدا از ایجاد آلودگی‌های محیط‌زیستی باعث گرمایش کره زمین شده است (Parry و همکاران، ۲۰۰۷) به طوری که در قرن بیستم، میانگین دمای جهانی حدود ۰/۶ درجه سانتیگراد افزایش یافته است (Christopher و همکاران، ۲۰۱۴) و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۱۰۰ این مقدار بین ۴/۱ تا ۸/۵ درجه سانتیگراد دیگر نیز افزایش یابد (Stocker و همکاران، ۲۰۱۳). این گرمایش جهانی باعث به وجود آمدن مشکلاتی از جمله ذوب شدن یخ‌های قطبی، یخ رودها و یخچال‌های طبیعی (Barrett، ۲۰۱۴)، تشدید وقوع بلایای طبیعی از جمله سیل، طوفان و خشکسالی (Haden و همکاران، ۲۰۱۲)، نوسانات دمای سطح آب دریا و اقیانوس‌ها (Solomon و همکاران، ۲۰۰۹)، تغییر در زنجیره غذایی اکوسیستم‌های طبیعی و تهدید امنیت غذایی (IFAD، ۲۰۱۵؛ Parry و همکاران، ۲۰۰۷) خواهد شد که ادامه این وضعیت بدون شک باعث انهدام آینده بشری و محیط‌زیست خواهد شد (Christopher و همکاران، ۲۰۱۴). امروزه مبحث تغییر اقلیم به دلیل اثرات مستقیم و غیرمستقیم آن بر روی اکوسیستم‌های طبیعی و زراعی از یک طرف (Wang، ۲۰۱۲) و سیستم‌های اجتماعی انسانی از طرف دیگر مورد توجه

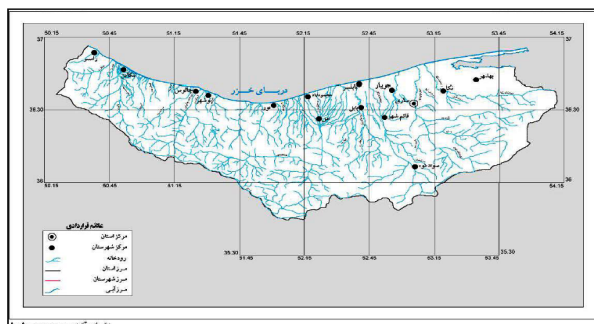
می‌باشد. Hashemi و همکاران (۲۰۱۰) توانایی هر دو مدل LARS-WG و SDSM برای شبیه‌سازی فراوانی بارش‌های حداکثر حاصل از شرایط فعلی حوضه کلوتا در جنوب نیوزیلند را ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند هر دو مدل توانایی قابل قبولی برای شبیه‌سازی اقلیم دارند.

مواد و روش‌ها

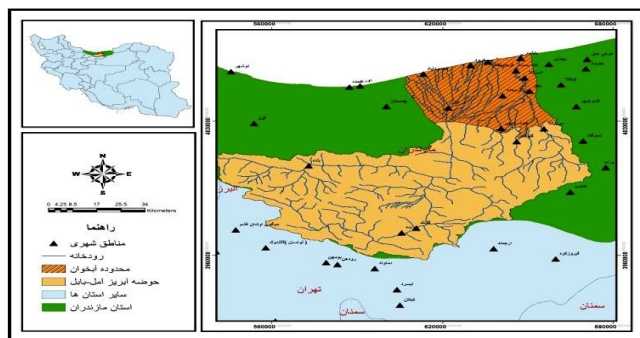
منطقه مورد مطالعه

استان مازندران را براساس خصوصیات دما و بارش و توپوگرافی منطقه می‌توان به دو نوع آب‌وهوای معتدل خزری و آب‌وهوای کوهستانی تقسیم کرد. آب‌وهوای کوهستانی خود بر دو نوع معتدل کوهستانی و سرد کوهستانی می‌باشد. ۱- آب‌وهوای معتدل خزری: این نوع اقلیم جلگه‌های غربی و مرکزی استان تا کوهپایه‌های شمال البرز را شامل می‌شود. در این نواحی به دلیل فاصله کوتاه کوهستان و دریا، رطوبت تجمع می‌یابد، که پیامد آن را می‌توان بارش‌های قابل ملاحظه و دمای معتدل بیان کرد و ۲- آب‌وهوای معتدل کوهستانی: با افزایش تدریجی ارتفاع از اراضی جلگه‌های دامنه‌های شمالی ارتفاعات البرز و فاصله دریا، تغییرات خاصی در آب‌وهوای استان پدیدار می‌شود. در نوار ارتفاعی ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر شرایط آب‌وهوایی کوهستانی حاکم است که از ویژگی‌های این محدوده می‌توان کاهش میزان بارندگی سالیانه و همچنین کاهش متوسط درجه حرارت نسبت به بخش جلگه‌ای را بیان کرد. موقعیت جغرافیایی ویژه استان مازندران به‌عنوان یکی از استان‌های ساحلی دریای خزر سبب شده است در طول سال از اثرات آب‌وهوایی همسایگانی چون سرزمین پهناور سیریر، دریای مدیترانه و دریای خزر و فلات مرکزی ایران بهره‌مند شود. دشت آمل-بابل در بخش مرکزی مازندران بین طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۴۵ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۴۵ درجه ۳۶ دقیقه شمالی قرار دارد. وسعت آن ۶۸۰۴ کیلومترمربع است که در حدود ۱۴۸۰ کیلومترمربع آن را دشت مورد مطالعه و بقیه را دشت‌های پراکنده در ارتفاعات شامل می‌شود. در سطح دشت حداکثر ارتفاع ۲۵۰ متر و حداقل آن زیر سطح دریای آزاد قرار دارد و ارتفاع متوسط دشت از سطح دریا ۱۶ متر می‌باشد. حوضه آبریز رودخانه‌های ساحلی، بخش میانی حوضه آبریز دریای مازندران را تشکیل می‌دهد. دشت آمل بابل اکثراً به وسیله تشکیلات کواترنری^۲ پوشیده شده است و قسمت کوچکی از آن متعلق به سازندهای میوسن و پلیوسن است (گزارش فیزیوگرافی حوضه آبخیز بابل - آمل، ۱۳۹۱). شکل (۱) موقعیت رودخانه‌ها و حوضه‌های آبخیز مازندران و شکل (۲) موقعیت جغرافیایی دشت

آمل- بابل بر روی عکس هوایی را نشان می‌دهد. در جدول (۱) نیز مشخصات جغرافیایی ایستگاه سینوپتیک بابلس آورده شده است.



شکل ۱- موقعیت رودخانه‌ها و حوضه‌های آبخیز مازندران



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی دشت آمل-بابل بر روی عکس هوایی

جدول ۱- موقعیت ایستگاه سینوپتیک بابلس

طول جغرافیایی: ۳۹' و ۵۲°	عرض جغرافیایی: ۴۳' و ۳۶°
ارتفاع از سطح دریای آزاد: ۲۱- متر	تاریخ تاسیس: ۱۳۳۰

• معرفی مدل LARS-WG

مدل LARS-WG یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا می‌باشد که برای تولید مقادیر بارش، تابش، درجه حرارت‌های بیشینه و کمینه روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به‌کار می‌رود. اولین نسخه آن در بوداپست طی سال ۱۹۹۰ به‌عنوان ابزاری برای ریز مقیاس نمایی آماری در کشور مجارستان ابداع شد. شایان ذکر است این مدل برای مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی، توزیع‌های آماری پیچیده‌ای را به‌کار می‌برد. خروجی‌های این مدل شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و تابش می‌باشند (Downing و همکاران، ۲۰۰۰). آخرین مدل این نرم‌افزار عبارت است از LARS-WG5 که در تولید داده‌های تصادفی هواشناسی در دوره زمانی طولانی توسعه زیادی یافته و کاملاً پیشرفته است. این مدل به‌منظور مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی توزیع‌های

آماري پيچيده‌اي را به‌کار مي‌برد. مبناي اين مدل براي مدل‌سازي طول دوره‌هاي خشك و تر، بارش روزانه و سري‌هاي تابش توزيع نيمه تجربي مي‌باشد. شبیه‌سازي بارندگي براساس روزهاي تر و خشك مدل‌سازي مي‌شود، درحالي‌که روزهاي تر به روزي اطلاق مي‌شود که بارندگي بيشتر از صفر ميلي‌متر باشد. طول هر سري به طور اتفاقي در هر ماه انتخاب مي‌شوند. براي محاسبه روزهاي خشك، ميزان بارندگي از توزيع نيمه تجربي بارندگي براي ماه خاصي که به سري‌هاي تر يا به ميزان بارندگي در روزقبل بستگي ندارد، ايجاد مي‌شود (Harmel و همکاران، ۲۰۲۲). ورودی‌هاي اين مدل آمار روزانه اقليمي شامل ميزان بارندگي، دما و تابش است و خروجی‌هاي اين مدل شامل دماي کمينه، دماي بيشينه، ميزانگين دماي ماهانه و سالانه، مقادير بارش و تابش مي‌باشند. توليد داده توسط مدل در سه مرحله کالبره کردن، ارزيابي و ايجاد داده‌هاي هواشناسي انجام مي‌شود در اين مدل داده‌هاي مدل گردش عمومي جو شامل بارش، دماي کمينه، دماي بيشينه و تابش HADCM3 به‌صورت روزانه استخراج شده و براي هر شبكه از مدل گردش عمومي جو يك سناريوي خاص مدل تدوين مي‌شود. براي تدوين اين سناريو داده‌هاي شبكه‌اي مدل HAD-CM3 در دوره ارزيابي بايد با دوره پايه مقايسه شود. در اين جا دوره پايه ۳۰ ساله محدوده زماني ۱۹۸۵-۲۰۱۴ و دوره‌هاي ۲۰ ساله ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ باتوجه‌به تعريف محدوده‌هاي زماني در مدل در نظر گرفته شده است. براي اجرائي مدل علاوه‌بر سناريوي تدوين شده براي هر شبكه محاسبه شده آينده، نياز به فايل مشخصه رفتار اقليم گذشته ايستگاه‌هاي واقع در داخل آن شبكه نيز وجود دارد. سازوکار عمل مدل به اين صورت است که آن در ابتدا با استفاده از سناريوي توليد داده ماهانه که در برگيرنده رفتار اقليم پايه مي‌باشد، تمام داده‌هاي ماهانه براساس رابطه (۱) محاسبه مي‌شود:

$$F_{fut} = F_{obs} + (F_{GCM}^{fut} - F_{GCM}^{base}) \quad (1)$$

در اين فرمول‌ها: fut: آينده، obs: گذشته مي‌باشد و با حفظ ميزانگين، انحراف معيار آن‌ها را مطابق رابطه (۲) تغيير مي‌دهد:

$$STD_{fut} = \frac{STD_{OBS}}{STD_{base}^{GCM}} \times STD_{fut}^{GCM} \quad (2)$$

خروجی‌هاي اين مدل شامل دماي کمينه، دماي بيشينه، بارش و تابش مي‌باشد (Barrow و Semenov، ۲۰۰۲). ارزيابي اين مدل از طريق مقايسه داده‌هاي دوره آماری و داده‌هاي توليد شده توسط مدل با استفاده از آزمون‌هاي آماری و نمودارهاي مقايسه‌اي انجام مي‌پذيرد. براي اين کار يك سناريوي حالت پايه براي دوره آماری مورد استفاده تهيه و مدل براي دوره پايه مذکور اجرا مي‌شود. براي ارزيابي خروجی‌هاي مدل داده‌هاي ديده‌باني و مدل شده براي ۴ متغير دماي کمينه، بيشينه، بارش و تابش و همچنين خصوصيات آماری آن‌ها شامل ميزانگين ماهانه انحراف معيار و غيره تهيه

مي‌شوند و توانمندی مدل براي ايجاد اقليم گذشته ايستگاه‌هاي مورد بررسی تجزيه و تحليل قرار مي‌شود. به‌منظور مقايسه داده‌هاي ديده‌باني و توليد شده توسط مدل از آزمون‌هاي آماری استفاده مي‌شود. مقايسه آماری اين داده‌ها براي ۴ متغير مذکور و خصوصيات آماری آن‌ها شامل ميزانگين ماهانه انحراف معيار، خطاهای نسبی مقادير متوسط، خطاهای نسبی انحراف معيار و ميزان همبستگي و ديگر آزمون‌ها (T-test) و غيره تهيه مي‌شوند. پژوهش‌ها نشان دهنده توانمندی مدل در مدل‌سازي دماي کمينه و بيشينه، بارش و تابش دوره مي‌باشد.

نتايج و بحث

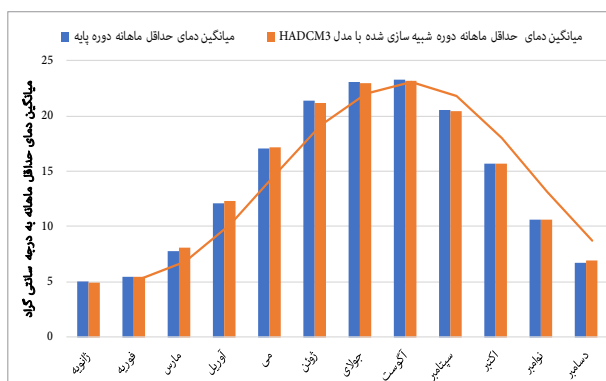
جهت انجام اين پژوهش باتوجه‌به دوره پايه در نظر گرفته شده ۱۹۸۵-۲۰۱۴ به مدت ۳۰ سال مربوط به نزديکترين ايستگاه سينوپتيک منطقه (ايستگاه سينوپتيک بابلسر)، ميزانگين بارش و دماي ماهانه دوره پايه براي ماه‌هاي مختلف سال از آمار اين ايستگاه استخراج شد و سپس ميزانگين بارش و دماي ماهانه براي دوره‌هاي آينده با استفاده از مدل LARS-WG5 شبیه‌سازي شد. همچنين دماي کمينه (حداقل) و دماي بيشينه (حداکثر) براي دوره‌هاي آينده توسط مدل محاسبه شد. باتوجه‌به اين موارد، اختلاف براي دما و نسبت براي بارندگي جهت ريز مقايس نفايي براي اين حوزه محاسبه شد. جدول (۲) محاسبه نسبت‌هاي ذکر شده براي اين محدوده را نشان مي‌دهد. لازم به ذکر است باتوجه‌به اينکه مجموعه‌اي از عمليات آماری توسط اين مدل انجام مي‌شود، تنها مواردی که در اهداف اين پژوهش در نظر گرفته شده بود استفاده و ارزيابي شدند. ورودی‌هاي اين مدل به‌صورت آمار روزانه اقليمي شامل ميزان بارندگي، دما و تابش به مدل داده شد. همچنين دماي کمينه (حداقل) و دماي بيشينه (حداکثر) براي دوره‌هاي آينده نيز توسط مدل محاسبه شد. باتوجه‌به اين موارد، مقدار اختلاف براي دما و نسبت براي بارندگي جهت ريز مقايس نفايي براي اين حوزه محاسبه شد.

شکل (۳) مقايسه ميزانگين بارش ماهانه دوره پايه و دوره شبیه‌سازي شده با مدل HADCM3 براي ماه‌هاي مختلف سال و شکل (۴) مقايسه ميزانگين دماي ماهانه دوره پايه و دوره شبیه‌سازي شده براي محدوده مطالعاتی را نشان مي‌دهد. دماي کمينه (حداقل) ماهانه شبیه‌سازي شده و دماي بيشينه (حداکثر) ماهانه شبیه‌سازي شده در مقايسه با دوره پايه در شکل‌هاي (۵ و ۶) نشان داده شده است. شکل (۷) سناريوهای محاسبه شده تغيير اقليم بارش ماهانه از مدل HADCM3 و شکل (۸) سناريوهای محاسبه شده تغيير اقليم دماي ماهانه از مدل HADCM3 براي محدوده مطالعاتی را نشان مي‌دهد.

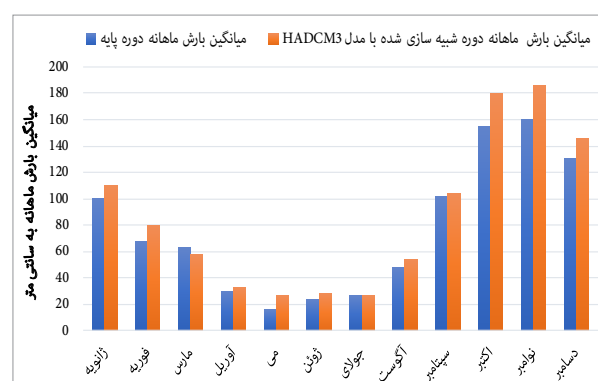
جدول ۲- محاسبه نسبت برای بارندگی و اختلاف برای دما در محدوده مطالعاتی

ماه‌های سال	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
ژانویه	۱۰۰/۱	۱۰۹/۵	۵/۰۲	۱۲/۱۹	۸/۶۹	۴/۹۳	۱۲/۰۵۱	۸/۴۹	۰/۲	۱/۰۹
فوریه	۶۷/۵	۷۹/۲۷	۵/۴۲	۱۱/۸۳	۸/۶۳	۵/۴۷	۱۱/۴۲	۸/۴۵	۰/۱۸	۱/۱۸
مارس	۶۲/۵	۵۷/۰۹	۷/۸۱	۱۳/۸۱	۱۰/۸۱	۸/۱۴	۱۳/۴۴	۱۰/۴۹	۰/۳۲	۰/۹۱
آوریل	۲۹/۹۳	۳۲/۴۳	۱۲/۱۴	۱۸/۶۷	۱۵/۴۱	۱۲/۲۸	۱۸/۷	۱۵/۴۹	۰/۰۸	۱/۰۸
می	۱۵/۸	۲۶/۶۸	۱۷/۰۸	۲۳/۶۶	۲۰/۳۷	۱۷/۲	۲۳/۶۱	۲۰/۴۱	۰/۰۴	۱/۶۹
ژوئن	۲۳/۴۱	۲۸/۱۱	۲۱/۳۵	۲۸/۵۲	۲۴/۹۴	۲۱/۱۵	۲۸/۱۸	۲۴/۶۷	۰/۲۷	۱/۲
جولای	۲۶/۱۳	۲۶/۶۵	۲۳/۰۴	۳۰/۷۱	۲۶/۸۸	۲۲/۹۸	۳۰/۵۷	۲۶/۷۸	۰/۱	۱/۰۲
آگوست	۴۷/۹۷	۵۳/۷۹	۲۳/۳۱	۳۱/۱۷	۲۷/۲۴	۲۳/۱۴۴	۳۰/۹۵	۲۷/۰۵	۰/۱۹	۱/۱۲
سپتامبر	۱۰۱/۵۳	۱۰۳/۹۲	۲۰/۵۷	۲۸/۲۶	۲۴/۴۲	۲۰/۴۴	۲۸/۰۹	۲۴/۲۷	۰/۱۵	۱/۰۲
اکتبر	۱۵۴/۸۷	۱۸۰/۱۶	۱۵/۷۲	۲۳/۶۷	۱۹/۷	۱۵/۶۷	۲۳/۵۴	۱۹/۶۱	۰/۱۱	۱,۱۶
نوامبر	۱۶۰/۲۳	۱۸۶/۲۴	۱۰/۶	۱۸/۳۸	۱۴/۴۹	۱۰/۶۱	۱۸/۵۵	۱۴/۵۸	۰/۰۹	۱,۱۶
دسامبر	۱۳۰/۳۳	۱۴۵/۱۵	۶/۷۱	۱۴/۰۸	۱۰/۴	۶/۹۳	۱۳/۷۷	۱۰/۳۵	۰/۰۵	۱/۱۱

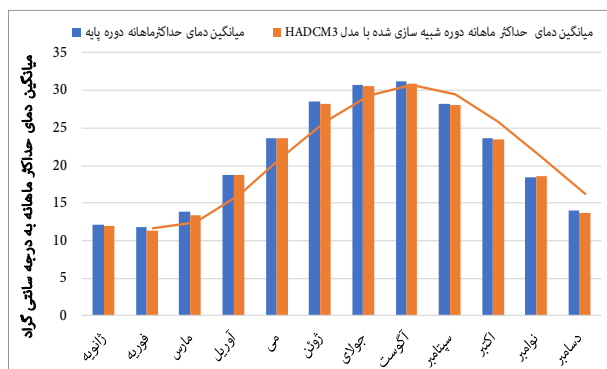
C: میانگین دمای حداقل ماهانه دوره پایه، B: میانگین بارش ماهانه دوره شبیه‌سازی شده، A: میانگین بارش ماهانه دوره پایه،
 F: میانگین دمای حداقل ماهانه دوره شبیه‌سازی شده، E: میانگین دمای ماهانه دوره پایه، D: میانگین دمای حداکثر ماهانه دوره پایه،
 I: سناریوهای تغییر اقلیم دمای ماهانه، H: میانگین دمای ماهانه دوره شبیه‌سازی شده، G: میانگین دمای حداکثر ماهانه دوره شبیه‌سازی شده،
 J: سناریوهای تغییر اقلیم بارش ماهانه. (واحد دما درجه سانتی‌گراد و واحد بارش سانتی‌متر است).



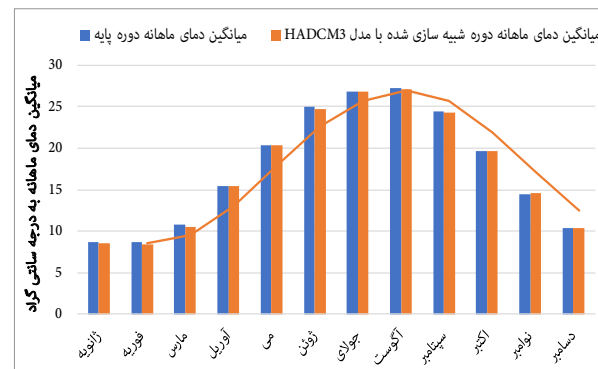
شکل ۵- مقایسه میانگین دمای حداقل ماهانه دوره پایه و شبیه‌سازی شده با مدل HADCM3 در دشت آمل- بابل



شکل ۳- مقایسه میانگین بارش ماهانه دوره پایه و شبیه‌سازی شده با مدل HADCM3 در دشت آمل- بابل



شکل ۶- مقایسه میانگین دمای حداکثر ماهانه دوره پایه و شبیه‌سازی شده با مدل HADCM3 در دشت آمل- بابل

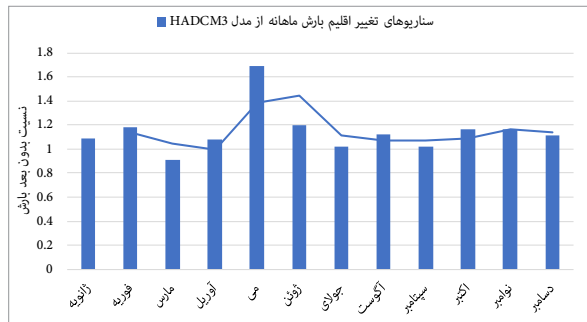


شکل ۴- مقایسه میانگین دمای ماهانه دوره پایه و شبیه‌سازی شده با مدل HADCM3 در دشت آمل- بابل

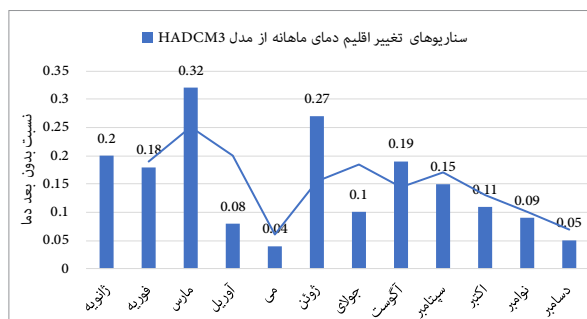
ژوئن و ژانویه می‌باشد که نشان‌دهنده گرمتر شدن اوایل بهار، اوایل تابستان و اوایل زمستان در دوره‌های آینده می‌باشد. این شرایط ایجاد شده ناشی از تغییر اقلیم بر روی زمان گل‌دهی گیاهان، ایجاد تنش آبی در این فصول تاثیر قابل توجهی خواهد گذاشت. شکل (۴) مقایسه میانگین دمای ماهانه دوره پایه و شبیه‌سازی شده با مدل HADCM3 در محدوده مطالعاتی دشت آمل-بابل را نشان می‌دهد. از بررسی این نمودار مشخص می‌شود که ماه‌های آوریل، می، ژوئن و نوامبر با افزایش درجه حرارت در دوره‌های آینده همراه خواهد بود و در بقیه ماه‌های سال‌های آینده دما کمتر می‌شود که از جنبه‌های گوناگون قابل بررسی می‌باشد. مقایسه میانگین دماهای حداکثر (بیشینه) و حداقل (کمینه) در دوره پایه و شبیه‌سازی شده با مدل HADCM3 در حوزه دشت آمل-بابل که جز مناطق مستعد کشت برنج می‌باشد (شکل‌های ۵ و ۶) نشان‌دهنده بی‌نظمی‌های اقلیمی و تأیید ایجاد تغییرات اقلیمی در محدوده مذکور را دارد که از لحاظ برنامه‌ریزی کشت این محصول باید مد نظر قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج این پژوهش آشکار می‌شود از اول ماه ژانویه تا اول ماه مارس میانگین بارش ماهانه در دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد، در ماه مارس کاهش و در بقیه ماه‌های سال افزایش نسبی در مقدار بارش را شاهد خواهیم بود که این موضوع در ماه اکتبر و نوامبر مشهودتر است. کم شدن بارش ماه‌های مارس آبی باتوجه‌به شروع دوره رویش گیاهی و نیاز آبی گیاهان زراعی و همچنین خزان زود هنگام مراتع در اثر تنش خشکی نقش موثری در تغییر فرایندهای هیدرولوژیکی و طبعاً بر سایر مولفه‌های محیط‌زیستی دارد. در مورد وضعیت دمایی حال و آینده باتوجه‌به سناریوهای تغییر اقلیم دمای ماهانه از مدل HADCM3 برای ماه‌های مختلف سال نشان‌دهنده بیشترین تغییرات دمایی به ترتیب در ماه‌های مارس، ژوئن و ژانویه می‌باشد که نشان‌دهنده گرمتر شدن اوایل بهار، اوایل تابستان و اوایل زمستان در دوره‌های آینده می‌باشد که این پدیده‌ها نیز بر روی زمان گل‌دهی گیاهان، ایجاد تنش آبی در این فصول تاثیر قابل توجهی خواهد گذاشت. بخش کشاورزی به واسطه ماهیت خود نسبت به سایر بخش‌های اقتصادی بیشتر تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم است. از طرفی اثرات تغییر اقلیم بر تولید محصولات کشاورزی، معیشت جوامع روستایی را نیز با چالش جدی مواجه کرده و زمینه‌ساز افزایش فقر، کاهش فرصت‌های اشتغال و افزایش مهاجرت به سمت شهرها خواهد شد (Amiri و Eslamian, ۲۰۱۰). کشاورزان نیز به واسطه ماهیت فعالیت تولیدی خود بیشتر از سایر اقشار تحت تأثیر اثرات این پدیده قرار دارند. شدت این اثر وقتی افزایش پیدا می‌کند که



شکل ۷- سناریوهای تغییر اقلیم بارش ماهانه (نسبت بدون بعد) از مدل HADCM3



شکل ۸- سناریوهای تغییر اقلیم دمای ماهانه (نسبت بدون بعد) از مدل HADCM3

یکی از مواردی که در جدول (۲) و در شکل (۳) مشاهده می‌شود این است که در ماه‌های مختلف سال اختلاف‌های زیادی بین بارش‌های ماهانه مشاهده شده و شبیه‌سازی توسط مدل وجود دارد. تغییرات میانگین‌های بارش ماهانه به این صورت است که از اول ماه ژانویه تا اول ماه مارس میانگین بارش ماهانه در دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد، در ماه مارس کاهش و در بقیه ماه‌های سال افزایش نسبی در مقدار بارش را شاهد خواهیم بود که این موضوع در ماه اکتبر و نوامبر مشهودتر است. کاهش باران ماه‌های مارس آینده باتوجه‌به شروع دوره رویش گیاهی و نیاز آبی گیاهان زراعی و همچنین خزان زود هنگام مراتع در اثر تنش خشکی نقش موثری در تغییر فرایندهای هیدرولوژیکی و طبعاً تأثیر آن بر سایر مولفه‌های محیط‌زیست دارد. شکل (۷) سناریوی ایجاد شده تغییر اقلیم بارش ماهانه از مدل HADCM3 را نشان می‌دهد. باتوجه‌به این نمودار مشخص می‌شود به ترتیب ماه‌های می، فوریه، اکتبر و نوامبر بیشترین تغییرات بارش در دوره‌های آینده را دارد. پیامدهای این تغییرات می‌تواند در وقوع سیلاب‌های فصلی در حوزه مورد مطالعه تاثیر شایان توجهی داشته باشد. در مورد وضعیت دمایی حال و آینده باتوجه‌به شکل (۸) محاسبه سناریوهای تغییر اقلیم دمای ماهانه از مدل HADCM3 برای ماه‌های مختلف سال نیز نشان‌دهنده بیشترین تغییرات دمایی به ترتیب در ماه‌های مارس،

- Amiri, M., & Eslamian, S. (2010). Investigation of climate change in Iran. *Journal of Environmental Science and Technology*, 3(4), 208-216. DOI: [10.3923/jest.2010.208.216](https://doi.org/10.3923/jest.2010.208.216)
- Barrett, K.N. (2014). Assessing the determinants facilitating local vulnerabilities and adaptive capacities to climate change impacts in high mountain areas: A case study of Northern Ladakh. Graduate Student Theses, Dissertations, & Professional Paper, University of Montana, Missoula, Montana.
- Christopher, B.f., Vicente, R.b., Dokken, D.j., Katharine, J.m. & Mastrandrea, M.d. (2014). Impacts, Adaptation, and Vulnerability Part A: Global and Sectoral Aspects. . Volume 1. Cambridge University Press. Cambridge, England.
- Downing, T.E., Harrison, P.A., Butterfield, R.E., & Lonsdale, K.G. (2000). Climate Change Climatic Variability and Agriculture in Europe, An integrated assessment. Environmental Change Institute/ University of Oxford. Oxford, United United Kingdom.
- Ewert, F., Rounsevell, M.D.A., Reginster, I., Metzger, M.G., & Leemans, R. (2005). Future scenarios of European agricultural land use. I. Estimating changes in crop productivity. *Agricultura Ecosystem Environmental*, 107, 101–116. DOI: [10.1016/j.agee.2004.12.003](https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.12.003)
- Feola, G., Lerner, A.M., Jain, M., Montefrio, M. J.F., & Nicholas, K. A. (2015). Researching farmer behaviour in climate change adaptation and sustainable agriculture: Lessons learned from five case studies. *Journal of Rural Studies*, 39, 74-84. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jrurstud.2015.03.009>
- Haden, V.R., Niles, M.T., Lubell, M., Perlman, J., & Jackson, L.E. (2012). Global and local concerns: What attitudes and beliefs motivate farmers to mitigate and adapt to climate change. *PloS one*, 7(12), e52882. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0052882>
- Harmel, R. D. & Richardson, C.W. (2002). Evaluating the Adequacy of Simulating Maximum and Minimum Daily Air Temperature With the Normal Distribution, Canadian Society for engineering , *Journal of Applied Meteorology* 41(7), 26. DOI: [10.1175/1520-0450\(2002\)041<0744:ETAOSM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2002)041<0744:ETAOSM>2.0.CO;2)

آسیب‌پذیری کشاورزان نسبت به تغییر اقلیم زیاد بوده و توانایی سازگاری با آن نیز محدود باشد. از طرفی دیگر باتوجه به کاهش منابع آب در دسترس، مدیریت و برنامه‌ریزی دقیق منابع آبی اهمیت بسیار زیادی دارد. بخش کشاورزی بزرگترین مصرف کننده آب می‌باشد. بنابراین برآورد دقیق از میزان آب مورد نیاز این بخش به مدیریت منابع آب بسیار کمک خواهد کرد. تغییرات آب‌وهوایی باعث تغییر پارامترهای اقلیمی، تبخیر- تعرق گیاهان، تغییر نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی می‌شود. نتایج پژوهش‌های متعددی در خصوص تغییرات اقلیمی و با روش‌های علمی گوناگون که در این پژوهش به نمونه‌هایی از آنها اشاره شده است نشان‌دهنده تأثیر این پدیده بر شرایط اقلیمی آینده حوزه‌های آبخیز می‌باشد که در کل شباهت‌های زیادی در اصل موضوع یعنی تأثیر این پدیده بر شرایط آب‌وهوایی آینده و طبعاً تأثیر آن بر سایر بخش‌های وابسته به آن مانند بخش کشاورزی و افزایش سیل‌ها و خشکسالی‌ها به دلیل بی‌نظمی‌های اقلیمی دارد. براین اساس باتوجه به اینکه نتایج این پژوهش می‌تواند جهت پژوهش‌های آینده در محدوده مورد مطالعه و سایر مناطق مورد استفاده قرار گیرد؛ لذا پیشنهادات ذیل می‌تواند در این زمینه راهگشا باشد:

۱- استفاده از مدل و سناریوهای اقلیمی دیگر در دوره‌های آینده در منطقه مطالعاتی آینده برای بررسی بهتر موضوع به منظور کاربرد نتایج آنها برای برنامه‌ریزی دقیق مقابله با شرایط حاد اقلیمی و برنامه‌ریزی جهت برآورده کردن نیاز آبی کشت برنج در این منطقه.

۲- تدوین یک استراتژی سازگاری و پیشگیری با اثرات منفی تغییرات اقلیمی باتوجه به نتایج این پژوهش و سایر تحقیقات مرتبط در مناطق مختلف کشور مانند برنامه‌ریزی استفاده از منابع آبی در بخش‌های مختلف مانند بخش کشاورزی در مواقع مختلف سیلابی یا خشکسالی.

پی‌نوشت

- 1- Intergovernmental Panel on Climate Change
- 2- Quaternary

منابع

- گزارش فیزیوگرافی حوزه آبخیز بابل - آمل. (۱۳۹۱). مهندسین مشاور پایداری طبیعت. تهران. ایران.
- Abdo, K.S., Fiseha, B.M., Rientjes, T.H.M., Gieske, A.S.M., & Haile, A.T. (2009). Assessment of climate change impacts on the hydrology of Gilgel Abay catchment in lake Tana Basin. Ethiopia. *Hydrological Processes*, 23(26), 3661-3669. <https://doi.org/10.1002/hyp.7363>

- stein, P. (2009). Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106, 1704-1709. <https://doi.org/10.1073/pnas.0812721106>, [pnas-0812721106](https://doi.org/10.1073/pnas.0812721106)
- Souvignet, M., Gaese, H., Ribbe, L., Kretschmer, N., & Oyarzun, R. (2010). Statistical downscaling of precipitation and temperature in north-central Chile: an assessment of possible climate change impacts in an arid Andean watershed. *Hydrological Sciences Journal*, 55(1), 41-57. <https://doi.org/10.1080/02626660903526045>
- Stocker, T.F., D. Qin, G.-K., Plattner, M., Tignor, S.K., Allen, J., Boschung, A., Nauels, Y., Xia, V., B. & Midgley, P.M. (2013). *Climate change: the physical science basis, Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom.
- Thorlakson, T. & Neufeldt, H. (2012). Reducing subsistence farmers' vulnerability to climate change: Evaluating the potential contributions of agroforestry in western Kenya. *Agriculture & Food Security*, 1(1), 1-13. <https://doi.org/10.1186/2048-7010-1-15>
- Vanuytrechta, E. Raesa D, Willems P b., & Semenovc, M A. (2014). Comparing climate change impacts on cereals based on CMIP3 and EU-ENSEMBLES climate scenarios. *Agricultural and Forest Meteorology*, 195-196, 12-23. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.04.017>
- Walthall, C.L., Hatfield, J., Backlund, P., Lengnick, L., Marshall, E., Walsh, M., & Anderson, C.J. (2012). *climatechange and agriculture in the United States: Effects and adaptation*. USDA (United States Department of Agriculture) technical bulletin 1935. Washington, DC. USA.
- Wang, Wei Wei. (2012). *Three Essays on Climate Change Impacts, Adaptation and Mitigation in Agriculture*. Doctoral dissertation, Texas A & M University. <https://hdl.handle.net/1969.1/ETD-TAMU-2012-08-11485>
- Hashmi, M.Z., Shamseldin, A.Y., & B.W. Melville. (2010). Comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and down scaling of extreme precipitation events in a watershed. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25, 475-484. <https://doi.org/10.1007/s00477-010-0416-x>
- International Fund for Agricultural Development. (2015). *Investing in smallholder family agriculture for global food security and nutrition. IFAD POST-2015 POLICY BRIEF*.
- Janjua, P.Z., Samad, G., & Khan, N. (2014). Climate Change and Wheat Production in Pakistan; autoregressive distributed lag approach, *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 68, 13-19. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2013.11.002>
- Lu, L., Ismaila, D., Chong-Yu, X. , & Frode, S. (2015). Hydrological projections under climate change in the near future by RegCM4 in Southern Africa using a large-scale hydrological model, *Journal of Hydrology*, In press. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2015.05.028](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.028)
- Motha, R. & Baier, W. (2005). Impact of Present and Future Climate Change and Climate Variability on Agriculture in the Temperate Regions: North America. *Climate Change*, 70: 137-164. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-005-5940-1>
- Parry, M. L., Canziani, O., Palutikof, J., Linden, P.v.d., & Hanson, C. (2007). *Climate change 2007-impacts, adaptation and vulnerability: Working group II contribution to the fourth assessment report of the IPCC. Volume 4*. Cambridge University Press. Cambridge, England.
- Pradhan, N.S., Sijapati, S., & Bajracharya, S.R. (2015). Farmers' responses to climate change impact on water availability: insights from the Indrawati Basin in Nepal. *International Journal of Water Resources Development*, 31(2), 269-283. <https://doi.org/10.1080/07900627.2015.1033514>
- Semenov, M.A. & Barrow, E. M. (2002). *LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's manual*, Environment Canada. Version 3. Saskatchewan, Canada.
- Solomon, S., Plattner, G.K., Knutti, R., & Friedling-