

## آینده نگرى تغییرات در مناطق مورفوکلیماتیک استان البرز بر پایه سناریو های تغییر اقلیم

مرضیه آقاعلیخانی\* - دانش اموخته دکتری رشته ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی.  
امیر کرم- دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی.  
سیاوش شایان- دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت مدرس.  
مهری اکبری- دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۱۸      تأیید نهایی: ۱۴۰۰/۰۳/۱۱

### چکیده

آینده نگرى مناطق مورفوکلیماتیک بر پایه سناریو های تغییر اقلیم و اثرات آن می تواند نقشی کلیدی در برنامه ریزی برای سازگاری با شرایط پیش رو، داشته باشد. درک تاثیر تغییرات اقلیمی بر شرایط محیطی سطح زمین یکی از موضوعات ضروری است که نتایج آن می تواند در سایر حیطه های پژوهشی مفید باشد. هدف این تحقیق بررسی اثرات تغییر اقلیم در سال های ۲۰۳۰-۲۰۵۰ و ۲۱۰۰-۲۰۸۰ بر تغییر مرز نواحی مورفوکلیماتیک و شرایط مورفولوژیک در استان البرز است. برای این منظور از داده های هواشناسی ۸ ایستگاه سینوپتیک در اطراف استان البرز و نقشه ها و تصاویر ماهواره ای استفاده شده است. روش انجام این تحقیق استدلال استقرایی می باشد و برای این منظور ابتدا بر اساس روش پلتیر منطقه بندی مورفوکلیماتیک کنونی استان البرز انجام شده است و سپس از ریز مقیاس نمایی گردش عمومی جو CanESM2 تحت سه سناریوی RCP 2.6، RCP 8.5 و RCP 4.5 بوسیله مدل SDSM برای بازسازی ارزش های دما و بارندگی آینده، استفاده گردید و در نهایت بر مبنای روش پلتیر، مناطق مورفوکلیماتیک ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ بر اساس سه سناریو خوش بینانه، میانه و بد بینانه، بدست آمد. نتایج این تحلیل نشان می دهد که تا سال ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ مناطق مورفوکلیماتیک مجاور یخچالی و معتدل به نفع گسترش مناطق نیمه خشک و خشک، کاهش خواهند یافت که میزان این تغییرات بر اساس سناریو های مختلف، متفاوت است. با توجه به نتایج بدست آمده، پیشنهاد می شود در برنامه ریزی فعالیت های انسانی، سازگاری ها و برنامه ریزی های لازم صورت گیرد.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، مناطق مورفوکلیماتیک، مدل SDSM، استان البرز.

## مقدمه

ژئومورفولوژی اقلیمی اثرات اقلیم را بر فرایندها و فرم‌های سطح زمین بررسی و تحلیل می‌کند. شکل‌های کنونی سطح زمین تحت تاثیر فرآیندهای متفاوتی شکل گرفته‌اند که موجب شکل‌گیری عوارض متنوعی در سطح زمین شده‌اند (کوان<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۰: ۱۰۴۲۶۰). فرآیندهای درونی اسکلت کلی و اولیه ناهمواری‌ها را می‌سازند (ژئومورفولوژی ساختمانی) و فرآیندهای بیرونی تحت تاثیر شرایط اقلیمی هر منطقه موجب تحول در اشکال اولیه به صورت برداشت، حمل و تراکم می‌شوند و شکل‌های خاصی را پدید می‌آورند (ژئومورفولوژی اقلیمی). مناطق مورفوکلیماتیک پهنه‌هایی از سطح سیاره زمین هستند که با توجه به نوع اقلیم آنها، شکل‌زایی‌های خاصی در آنها صورت گرفته و نمونه‌های خاصی در آنها به وجود آمده‌است (اوگوچی<sup>۲</sup>، ۲۰۱۹: ۲۶). لازم به ذکر است که اکثر فعالیت‌های انسانی وابسته به شرایط این مناطق مورفوکلیماتیک بوده و تغییرات این مناطق می‌تواند موجب ناکارآمدی و یا تخریب برخی فعالیت‌ها شده و اثراتی را در محیط زیست منطقه داشته باشد (ارم<sup>۳</sup>، ۲۰۱۴). همچنین جابجایی مرز مناطق مورفوکلیماتیک می‌تواند منجر به تغییرات کاربری زمین، بروز مخاطرات طبیعی و همچنین مشکلات زیست‌محیطی شود (هوک<sup>۴</sup>، ۲۰۱۹: ۱۲۶). با توجه به وابستگی مناطق مورفوکلیماتیک به شرایط اقلیمی، تغییر در شرایط اقلیمی می‌تواند منجر به از بین بردن تعادل در محیط‌ها و مناطق مورفوکلیماتیک گردد. بنابراین تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی رخ داده در دهه‌های اخیر می‌تواند منجر به ایجاد آشوب‌هایی در مناطق مورفوکلیماتیک در جهان گردد. آنچه امروزه به عنوان تغییر اقلیم مطرح است در واقع گرمایش جهانی و افزایش دمای میانگین کره زمین می‌باشد که ناشی از فعالیت‌های بشر بویژه استفاده بیش از حد سوخت‌های فسیلی می‌باشد (وود<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۹: ۱۱۸). در دهه‌های اخیر برخی فعالیت‌های انسانی موجب افزایش تراکم و غلظت گازهای با اثر گلخانه‌ای در جو شده‌است (برونگاردت<sup>۶</sup>، ۲۰۱۹: ۱۹۶). افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌تواند منجر به تغییرات شدید در شرایط اقلیمی گردد. بر اساس تعریف سازمان جهانی هواشناسی (WMO)<sup>۷</sup> تغییر اقلیم عبارت است از تغییرات رفتار آب و هوایی یک منطقه نسبت به رفتاری که در طول یک افق زمانی بلند مدت از اطلاعات ثبت شده در آن منطقه مورد انتظار است (مدرسی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۳۶۵).

بطور کلی در طی قرن بیستم دمای کره زمین ۰/۶ درجه افزایش یافته و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۱۰۰ این مقدار بین ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سانتیگراد افزایش یابد (بابائیان و همکاران، ۱۳۹۱: ۹۶۰). رخداد تغییر اقلیم در هر منطقه‌ای می‌تواند با آثار پیش‌بینی نشده و غیرمنتظره‌ای همراه باشد (ژانگ<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۲۰: ۱۰). این روندها می‌تواند منجر به تغییراتی در پهنه‌های مورفوکلیماتیک از جمله مناطق یخچالی، مجاور یخچالی، معتدل، خشک، و نیمه خشک شود (متیو<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۸: ۲۴۰). لذا شناسایی تاثیر تغییر اقلیم بر فرآیندهای مورفولوژیک جهت کاربرد آنها در برنامه‌ریزی‌های کلان و بلندمدت و آمایش سرزمین ضروری است (شیباو<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۱۹: ۱۳۹۱).

در ۲۲-۲۳ سپتامبر سال ۱۹۲۶، توریک<sup>۱۱</sup> بر اولین نشست در زمینه ژئومورفولوژی اقلیمی، در دیسلدورف<sup>۱۲</sup> در آلمان، ریاست داشت که در آن پایه‌های طبقه‌بندی مورفوکلیماتیک ایجاد شد. نتایج این نشست اولین روش ساده و جامع را در

1. Quan

2. Oguchi

3. Orme

4. Hooke

5. Wood

6. Braungardt

7. World Meteorological Organization

8. Zhang

9. Matthew

10. Shiba

11. Thorbecke

12. Dtsisseldorf

ژئومورفولوژی اقلیمی تشکیل می داد. با این حال، روش های برخی از شرکت کنندگان با مشکل فرمول بندی برای مناطق اقلیمی خاص همراه بودند، در واقع فاقد یک روش مورفوکلیماتیک واقعی بودند. سپس این مطالعات بوسیله بیودل<sup>۱</sup>، ویلسون<sup>۲</sup>، چورلی<sup>۳</sup> و پلتیر<sup>۴</sup> و ... توسعه یافت. بخش مهمی از مطالعات مربوط به تاثیر اقلیم در تعیین فرایندهای ژئومورفیک و اشکال مورفولوژیک بوسیله پلتیر صورت گرفته است، وی مطالعات خود در زمینه تاثیر اقلیم بر هوازدهی را در همایش سالانه انجمن جغرافییدانان آمریکا در سال ۱۹۵۰ ارائه داده است (خوش اخلاق و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۳). پلتیر در مدل خود به ارائه روشی برای تعیین مناطق هفت گانه هوازدهی شامل مناطق هوازدهی شیمیایی، تاثیر یخبندان و انجماد، هوازدهی ترکیبی، فرسایش جریانی (فلویال)، حرکات توده ای، تاثیر باد و ناحیه های مورفوژنتیک پرداخته و برای این منظور دو متغیر اقلیمی متوسط دمای سالانه و متوسط بارش سالانه را بکار برد و از آن پس مطالعات بسیاری در این زمینه صورت گرفته است (فرانسوا<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۹: ۱۰۵۸۷۹). اما ایده نقش جو در تعیین آب و هوای غالب زمین اولین بار توسط جان تیندال<sup>۶</sup> مطرح گردید. پس از آن نیز اکتشافات آگسیز<sup>۷</sup> و زمین شناسان اسکاندیناوی و بویژه گرهارد دو ژر<sup>۸</sup> موجب توسعه ایده ها و نظرات وی در این زمینه گردید (بولین<sup>۹</sup>، ۲۰۰۷: ۳). سپس به رهبری آرنیوس<sup>۱۰</sup> مباحث و تجزیه و تحلیل های قابل توجهی آغاز شد. در اوایل بیستم قرن بیستم دو فیزیكدان بزرگ فرانسوی فوریه و پویه<sup>۱۱</sup> نظریه عملکرد گلخانه ای جو در برابر اشعه خورشید را که ناشی از دی اکسید کربن و بخار آب جو است را مطرح کردند (بولین، ۲۰۰۷: ۵). بنابراین ارزیابی تغییر اقلیم به عنوان یک تهدید اولین بار در دهه ۱۹۷۰-۱۹۸۰ در آمریکا آغاز شد که منجر به شکل گیری مدل جهانی آب و هوا گردید و بتدریج در اواخر دهه ۱۹۸۰ تغییر اقلیم به نگرانی جهانی تبدیل شد. بدین ترتیب هیئت بین دول تغییر اقلیم (IPCC<sup>۱۲</sup>) در سال ۱۹۸۸ میلادی توسط سازمان هواشناسی جهانی (WMO) و برنامه محیط زیست سازمان ملل تاسیس شد که مأموریت اصلی آن ارزیابی تهدید تغییرات اقلیمی می باشد و در حال حاضر ۱۸۵ کشور عضو این سازمان هستند (بولین، ۲۰۰۷: ۴۱). مطالعات انجام شده در زمینه تاثیر تغییر اقلیم بر ژئومورفولوژی بسیار محدود و جوان است. یکی از اولین مطالعات انجام شده در این زمینه مربوط به برآورد رواناب در ۳۹ حوضه انگلستان و ولز می باشد. که نتایج نشان دهنده کاهش شدید جریان های کم در حوضه های مرکزی و شرقی انگلستان و افزایش در جریان های سیلابی در شمال و غرب انگلستان می باشد (سفتون<sup>۱۳</sup> و همکاران، ۱۹۹۷: ۳۹). اختر<sup>۱۴</sup> و همکاران (۲۰۰۸: ۱۵۸) به برآورد تغییر رواناب و منابع آب در سه حوضه رودخانه منطقه هندوکش- قره قوم- هیمالیا پرداخته اند. زنگ<sup>۱۵</sup> و همکاران (۲۰۱۲: ۱۱۶) نیز از سه سناریو انتشار مدل جهانی اقلیم ECHAM5/MPPI-OM و شبکه عصبی مصنوعی برای پیش بینی دبی رودخانه یانگ تسه استفاده نموده اند. نتایج نشان دهنده تغییرات کوچک دبی در مقیاس دهه ای می باشد درحالیکه دبی فصلی دارای روند متفاوتی برای سالهای ۲۰۱۱ تا ۲۰۵۰ می باشد. چن<sup>۱۶</sup> و همکاران (۲۰۱۴: ۶۰۲) برای بدست آوردن تاثیر

1. Budel

2. Wilson

3. Chorley

4. Peltier

5. Francois

6. John Tyndall

7. Agassiz

8. Gerhard De Geer

9. Bolin

10. Arrhenius

11. Fourier and Pouillet

12. Intergovernmental Panel On Climate Change

13. Sefton

14. Akhtar

15. Zeng

16. Chen

اقلیم بر رواناب در حوضه های موسمی شرقی چین دو شاخص کشش اقلیمی فو<sup>۱</sup> را بازنگری و بوسیله تابع گاردنر<sup>۲</sup> ارتقا دادند که نتایج نشان دهنده واکنش متفاوت حوضه ها به سناریو های مشابه بدلیل شرایط متفاوت حوضه ها می باشد. همچنین در حوضه آبریز لوسی در شمال شرق اسکاتلند یک مدل بارش تصادفی برای ارزیابی بارش- رواناب مورد استفاده قرار گرفته است (TOPMODEL). که بزرگی سیلاب تحت تاثیر حالت تغییر اقلیم بوده در حالیکه مقدار و جهت تغییر وابسته به انتخاب سناریو است (کامرون<sup>۳</sup>، ۲۰۰۶: ۲۱۹). مرادخانی<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۰: ۲۷۱) به بررسی فاکتور های اکوهیدرولوژیکی شامل الگوی پوشش گیاهی، رخداد بارش های متغیر، کاهش بازده سیستم بدلیل تغییر جریان آب، افزایش سیلاب، تغییر ویژگی های سیلاب دشت های موجود بر اثر تغییر اقلیم در حوضه توالین<sup>۵</sup> شمال غربی اقیانوس آرام پرداخته اند. ویلایین<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۰: ۳۴۲) تغییرات کلی رخداد سیلاب ناشی از تغییر اقلیم در فنلاند را برای دوره های ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ و ۲۰۷۰ تا ۲۰۹۹ مورد ارزیابی قرار داده اند و با استفاده از مدل هیدرولوژیکی مفهومی و سناریو های تغییر اقلیم، سیلاب های با دوره بازگشت ۱۰۰ سال را برآورد کرده اند. نتایج این پژوهش نشان می دهد که اثر تغییر اقلیم به علت تفاوت های منطقه ای و ویژگی های حوضه، غیر یکنواخت است. گرین<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۱۱: ۵۵۲) به بررسی کلی و ترکیبی جنبه های هیدرولوژیکی زیر سطحی در ارتباط با تغییر اقلیم پرداخته اند. نتایج کار آنها نشان می دهد که لازمه انطباق با تغییر اقلیم مدیریت محتاطانه آب های زیر زمینی است و همچنین این تغییرات بر روی تنوع زیستی تاثیر گذار می باشد (کلاو<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۴). در ایران نیز در سال های اخیر مطالعات بسیار زیادی در زمینه اثرات تغییر اقلیم، انجام شده است. این مطالعات عمدتاً با استفاده از روش رگرسیونی و آماری داده های مدل CGCM2 و سناریو های A2 و B2 ریز گردانی<sup>۹</sup> (آذرانفر، ۱۳۸۵: ۶۷)، مدل گردش عمومی جو CGCM2 (سید قاسمی، ۱۳۸۵: ۸۲)، مدل HadCM2 و تحت سناریو A2 برای بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر فراوانی و شدت سیلاب های آینده (سادات آشفته و همکاران، ۱۳۸۶: ۸۵)، مدل گردش عمومی جو CGCM2 و سناریو های SRES (حسینی، ۱۳۸۷: ۹۲)، و بوسیله چهار سناریو SRES و مدل های CGCM2 و CGCM3 (بیگی، ۱۳۸۸: ۶۹)، انجام شد. بررسی مطالعات انجام شده در زمینه تاثیر تغییر اقلیم بر پدیده های ژئومورفیک نشان دهنده این امر است که در این زمینه هنوز نه در سطح جهان و نه در سطح ایران مطالعات جامع و کاملی صورت نگرفته است. بطور کلی می توان گفت که در زمینه ژئومورفولوژی اقلیمی و منطقه بندی مورفوکلیماتیک در ایران هنوز مطالعه جامعی صورت نگرفته است و حتی نقشه منطقه بندی مورفوکلیماتیک برای ایران تهیه نشده است، که این امر نشان دهنده ضرورت و لزوم این مطالعه می باشد. این مطالعه در استان البرز صورت گرفته است، زیرا این استان به لحاظ طبیعی و همچنین شرایط اجتماعی و اقتصادی از اهمیت بالایی برخوردار است. از نظر طبیعی در دامنه های یال جنوبی البرز غربی واقع شده است و از تنوع مورفولوژیکی بالایی برخوردار می باشد و در حال حاضر می توان اغلب مناطق مورفوکلیماتیک را در آن مشاهده نمود و حتی علم کوه تنها یخچال طبیعی ایران نیز در شمال این استان واقع شده است. که موجب تنوع محیط طبیعی و فرآیند های ژئومورفیک فعال در منطقه گردیده است. به لحاظ اجتماعی-اقتصادی نیز بدلیل نزدیکی به تهران از اهمیت بسیاری برخوردار است. نزدیکی آن به تهران موجب نرخ رشد بالا جمعیت این استان بدلیل مهاجرت بالا گردیده است. از دیگر مسایل حائز اهمیت در این استان تغییرات شدید کاربری زمین

1. Fu

2. Gardner

3. Cameron

4. Moradkhani

5. Tualatin

6. Veijalainen

7. Green

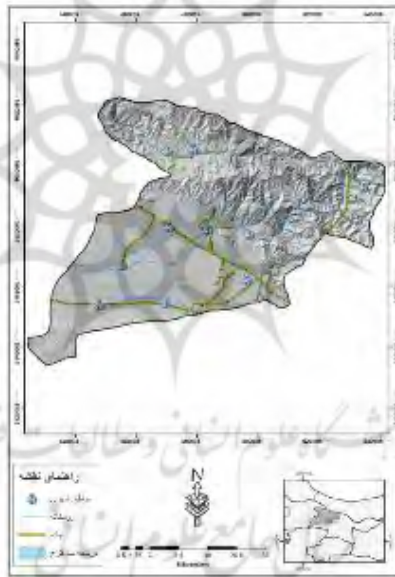
8. Klove

9. Downscale

به دلیل رشد بالا شهرنشینی در استان و توسعه توریسم و گردشگری در مناطق بیابانی آن می باشد که موجب از بین رفتن پوشش طبیعی بسیاری از نواحی و همچنین تجاوز به حریم سواحل رودخانه های استان نظیر طالقان رود، کردان و کرج در بسیاری از نقاط گردیده است. بنابراین با توجه به موارد مذکور در فوق چنانچه تغییر در شرایط اقلیمی منطقه رخ دهد همراه با چنین تغییرات شدیدی که در محیط که بوسیله انسان رخ می دهد، می تواند اثرات قابل توجهی را داشته باشد. لذا با توجه به موقعیت نسبی استان البرز و تنوع طبیعی آن، ارزیابی و مدلسازی تغییرات ناشی از رخداد تغییر اقلیم بر روی شرایط مورفولوژیکی منطقه بخصوص مخاطرات محیطی را ضروری می نماید.

بنابراین، فرض این پژوهش این است که شرایط مورفولوژیکی و فرآیند های ژئومورفیک حاکم بر منطقه مورد مطالعه تا سال های ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ بر اثر تغییر اقلیم سبب تغییر مرز نواحی مورفوکلیماتیک می گردد که این تغییر به نفع مناطق مورفوکلیماتیک خشک و نیمه خشک در برابر مناطق مورفوکلیماتیک مجاور یخچالی و معتدل خواهد بود. با توجه به ضرورت های بررسی اثرات تغییر اقلیم بر دگرگونی های مناطق مورفوکلیماتیک در منطقه مورد مطالعه و نیز با در نظر گرفتن مطالعات پیشین، هدف این پژوهش تعیین و برآورد اثرات ناشی از تغییر اقلیم در سه سناریو بدبینانه، میانه، و خوشبینانه بر مناطق مورفوکلیماتیک برای سال ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ استان البرز است.

#### منطقه مورد مطالعه



شکل ۱: موقعیت استان البرز

استان البرز در دامنه جنوبی رشته کوه البرز واقع شده است و آب و هوای آن در ارتفاعات معتدل و نیمه مرطوب و در نیمه جنوبی استان خشک و نیمه خشک است (اداره کل هواشناسی استان البرز). میانگین سالیانه دمای هوا ۱۵ درجه سانتیگراد و حداکثر و حداقل مطلق آن به ترتیب ۲۰ و ۴- درجه سانتیگراد در ایستگاه هواشناسی کرج می باشد (سازمان هواشناسی، داده های سینوپتیک). همچنین بخش قابل توجهی از این استان در مناطق کوهستانی و ۴۱ درصد از آن در بخش هموار واقع شده است (سازمان نقشه برداری، ۱۳۸۵). محدوده طبیعی منطقه مورد مطالعه عمدتاً دارای سازندهای زمین شناسی شیل، آسار، کرج، سنگ آهک روتنه، شمشک، میلا، کهر، کلمرد، سری مراد، لار، قرمز بالایی، درود، زیارت، ییکا، تیز کوه و سلطانیه می باشد و در دشت ها از مخروط افکنه های کواترنری پوشیده شده است (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۶۵).

## مواد و روش‌ها

### الف) داده‌ها

پارامترهای هواشناسی بارش و دمای روزانه: در این پژوهش از داده‌های هواشناسی ۸ ایستگاه سینوپتیک چیتگر، ژئوفیزیک، کرج، مهر آباد، قزوین، ساوه، شمیران و سیاه‌بیشه در اطراف استان البرز بعنوان منطقه مورد مطالعه اخذ شده است که برای بازسازی این پارامترها در سناریوهای مختلف استفاده شده‌اند. در بین ایستگاه‌های فوق به جز سیاه‌بیشه که دارای دوره آماری بین و ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۵ و چیتگر که دارای دوره آماری ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۵ است سایر ایستگاه‌ها دارای دوره آماری بیش از ۳۰ سال می‌باشند. سایر اطلاعات و نقشه‌ها از نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره ای ETM، مدل ارتفاعی رقومی (DEM ASTER ۳۰ متر) منطقه مطالعه استخراج و در نرم افزار ArcGIS 10.1 آماده سازی شده‌اند. برای تهیه لایه‌های دما و بارش استان البرز، ابتدا همبستگی بین پارامترهای دما و بارش با ارتفاع در ایستگاه‌های فوق بدست آمده و سپس با اعمال رابطه رگرسیونی بدست آمده بر DEM استان البرز لایه‌های دما و بارش بدست آمده است.

### ب) روش

منطقه بندی مورفوکلیماتیک براساس روش پلتیر با استفاده از میانگین دما و بارندگی سالانه انجام شده است (مقصودی و همکاران، ۱۳۸۹: ۴۰). طبق این مدل یک منطقه می‌تواند دارای مناطق مورفوکلیماتیک یخچالی، مجاور یخچالی، ساوانا، معتدله، دریایی، نیمه خشک، و خشک باشد (شکل ۲). در این مطالعه، علاوه بر منطقه بندی مورفوکلیماتیک بر اساس وضع موجود، برای سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ نیز منطقه بندی مورفوکلیماتیک صورت گرفته است. دوره‌های مورد نظر، با توجه به بررسی نتایج حاصل از مطالعات قبلی و انجام مدلسازی داده‌های دما و بارش در مدل SDSM و تغییرات محدود این پارامترها انتخاب و از دو دوره میان مدت ۲۰۳۰-۲۰۵۰ و بلند مدت ۲۰۸۰-۲۱۰۰ برای مدلسازی تغییرات استفاده شده است. بویژه با توجه به اینکه تغییرات در سیستم‌های ژئومورفیک به مفهوم پیچیده زمان وابسته است. به این معنی که هرگاه در میزان ورودی یک سیستم ژئومورفیک تغییری جدی حاصل شود بدون تردید سیستم بیدرنگ به تغییر حادث شده، واکنش نشان نمیدهد و برای نشان دادن واکنش، مدت زمان خاصی طول میکشد. این مدت را اصطلاحاً، زمان واکنش می‌نامند و با پایان گرفتن زمان واکنش، سیستم تغییراتی را به صورت واکنش از خود نشان میدهد. مدتی را که سیستم در پاسخ به این تغییر مجبور به واکنش بوده است را اصطلاحاً Time Relaxation می‌گویند. در اینجا مجموع زمان Time Reaction و Time Relaxation را با عنوان Time Response می‌شناسند (رامشت، ۱۳۸۲: ۲۲).

$$\text{Response Time} = \text{Reaction Time} + \text{Relaxation Time}$$

برای بازسازی مناطق مورفوکلیماتیک برای سال‌های مورد نظر بعد از تهیه اطلاعات آماری مربوط، با کمک مدل CanESM2، این اطلاعات براساس روابط همبستگی با مدل رقومی ارتفاع به صورت لایه رستری بازسازی شده است. پهنه‌های مورفوکلیماتیک مطابق مدل پلتیر با استفاده از لایه‌های رستری میانگین دما و بارندگی سالانه با کمک کدنویسی Python بر مبنای شرط‌های فضایی در نرم افزار ArcGIS 10.7.1 مشخص شده است.

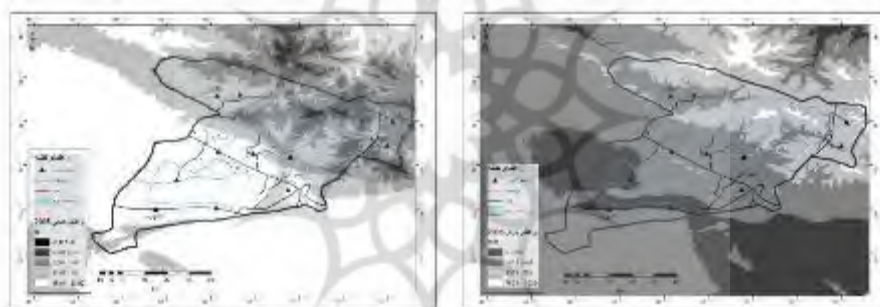


زمانی ۲۰۳۰ تا ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰ تهیه شد و بر اساس این داده‌ها نقشه منطقه بندی مورفوکلیماتیک برای سال ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ تهیه گردید.

### یافته‌های پژوهش

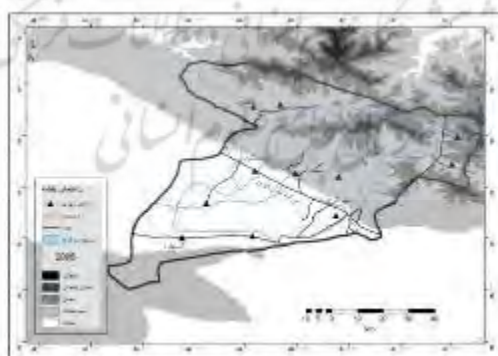
#### الف) منطقه بندی مورفوکلیماتیک در شرایط کنونی

در این مطالعه ابتدا با کمک نقشه‌های مجموع بارش سالانه (شکل ۳) و میانگین دمای سالانه (شکل ۴) مناطق مورفوکلیماتیک وضع موجود تهیه شده است. بر اساس نقشه بدست آمده، در استان البرز چهار منطقه مورفوکلیماتیک مجاور یخچالی، معتدل، نیمه خشک و خشک به ترتیب از شمال به جنوب استان حکمفرماست، همچنین در شمال استان البرز منطقه مورفوکلیماتیک یخچالی علم کوه وجود دارد. مساحت این نواحی به ترتیب ۱۵۲، ۵۸۳، ۲۲۶۰ و ۲۱۲۸ کیلومتر مربع و مساحت منطقه یخچالی شمالی استان البرز ۴۲ کیلومتر مربع می‌باشد. پس از تهیه نقشه منطقه بندی مورفوکلیماتیک وضع موجود با کمک بازدیدهای میدانی و همچنین بررسی تصاویر ماهواره‌ای نتایج بدست آمده مورد ارزیابی و اعتبار سنجی قرار گرفت که این بررسی‌ها در نهایت نتایج بدست آمده بوسیله مدل همخوانی دارد (شکل ۶). همچنین نتایج بدست آمده با نتایج بدست آمده از مطالعات شایان و همکاران (۱۳۹۶: ۸) مورد تایید قرار گرفته است. علاوه بر این در این زمینه مطالعاتی در محدوده استان البرز و تهران بوسیله عمادالدین و همکاران (۱۳۹۳: ۷۲) صورت گرفته که با نتایج مطابقت دارد.



شکل ۴: نقشه میانگین دمای سالانه (c)

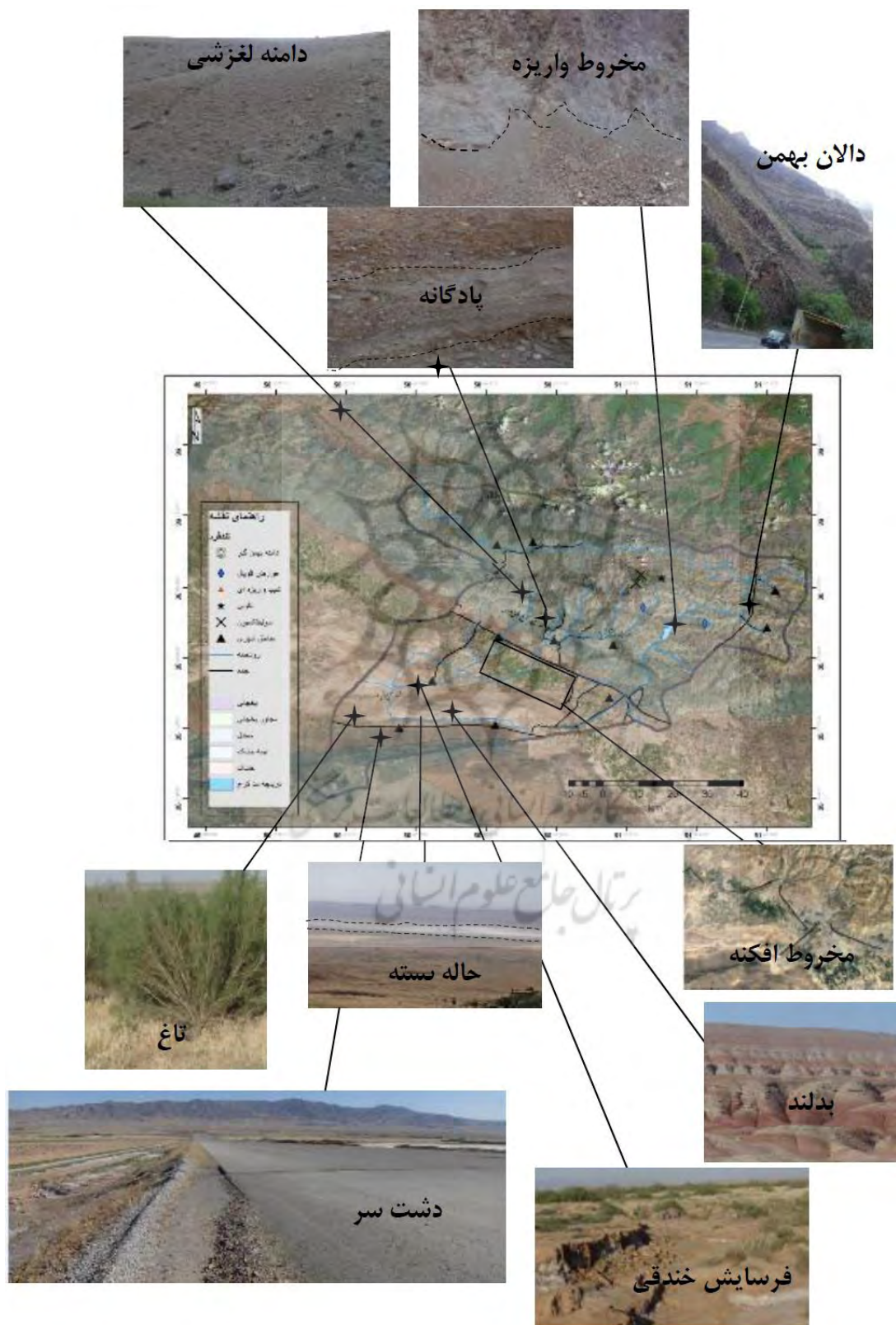
شکل ۳: نقشه مجموع بارش سالانه (mm)



شکل ۵: مناطق مورفوکلیماتیک (وضع موجود)

همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌گردد بدلیل دور از دسترس بودن مناطق مورفوکلیماتیک یخچالی و مجاور یخچالی با کمک تصاویر ماهواره‌ای لندفرم‌های مربوطه استخراج گردید و لندفرم‌های مناطق مورفوکلیماتیک معتدل، نیمه خشک و خشک نیز با بررسی‌های میدانی استخراج شدند. در شمال استان البرز و در محدوده استان مازندران یک پهنه یخچالی (یخچال علم کوه) وجود دارد که در منطقه بندی مورفوکلیماتیک این پهنه بدست آمده هست.





شکل ۶: تصویر ماهواره ای و ارزیابی های میدانی منطقه مورد مطالعه

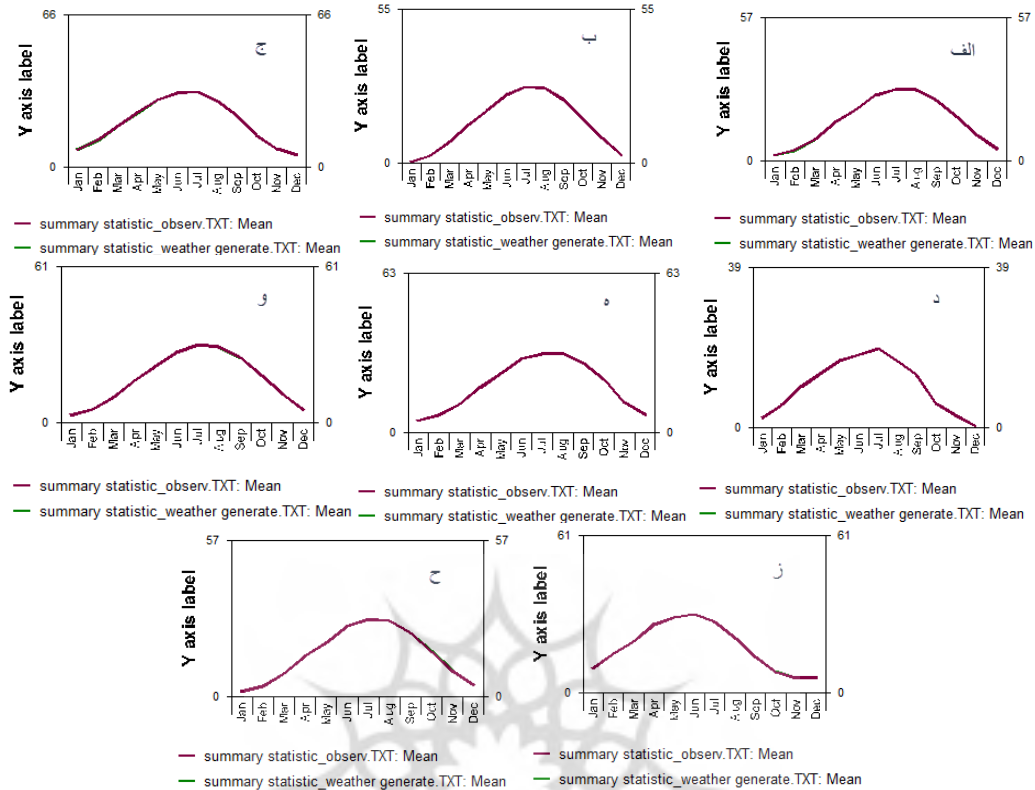
همین طور در محدوده مجاور یخچالی که در ناحیه کوهستانی شمال استان البرز واقع شده است، پدیده ها و لندفرم هایی نظیر تالوس، شیب واریزه ای، دامنه های بهمن گیر، سولیفلاکسیون مشاهده می گردد. در طبقه زیرین منطقه مجاور یخچالی، منطقه مورفوکلیماتیک معتدل وجود دارد که دارای وسعت محدودی می باشد. در این بخش تسلط با پدیده های جریانی مانند فرسایش رودخانه ای می باشد. بخش قابل توجهی از مساحت استان البرز در مناطق موفوکلیماتیک خشک و نیمه خشک واقع شده است، و چشم انداز غالب بویژه در بخش های جنوبی استان را بوجود می آورد. در منطقه موفوکلیماتیک نیمه خشک استان البرز لندفرم هایی مانند مخروط واریزه ای، پادگانه های رودخانه ای و دامنه های لغزشی در بخش شمالی و دشت سر در بخش جنوبی مشاهده می گردند. مخروط های واریزه ای به دلیل وجود اختلاف دمای شدید در منطقه کوهستانی در پای دامنه کوه ها شکل گرفته اند. پدیده دشت سر در پای توده کوهستانی که در جنوبی ترین قسمت استان البرز وجود دارد شکل گرفته است. فرایند های شکل زایی در این دشت سر فعال بوده و می توان در سطح آن آثار و شواهد مربوط به فرایند های شستشوی صفحه ای و شستشوی خطی را مشاهده نمود (شکل ۵). در شمال دشت سر یک پهنه کوچک کویری و نمکی وجود دارد که در منطقه موفوکلیماتیک خشک استان البرز واقع شده است. که در مرکز آن برونزد سازند قرمز بالایی مشاهده می گردد که با توجه به اقلیم خشک منطقه موجب شکل گیری بدلدن در این رسوبات شده است. علاوه بر این در جنوب غرب استان البرز در مسیر جاده اشتهارد به بویین زهرا فرایند های بادی فعال می باشند، که وجود رسوبات ریز دانه در منطقه منجر به ایجاد اختلالاتی در این مسیر و همچنین تولید ریز گرد ها شده است. برای مقابله با این مشکل در منطقه تاغ کاری های وسیعی به عمل آمده است (شکل ۶).

**ب) پیش بینی دما و بارش برای دوره های ۲۰۳۰ - ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ - ۲۱۰۰ بر اساس سناریو های تغییر اقلیم**  
برای بدست آوردن تغییرات مناطق مورفوکلیماتیک برای سال های ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ نیاز به استفاده از داده های مدل سازی شده بوسیله SDSM می باشد، بنابراین ضروری است تا نتایج این مدل نیز برای اطمینان از صحت آن مورد ارزیابی قرار گیرد.

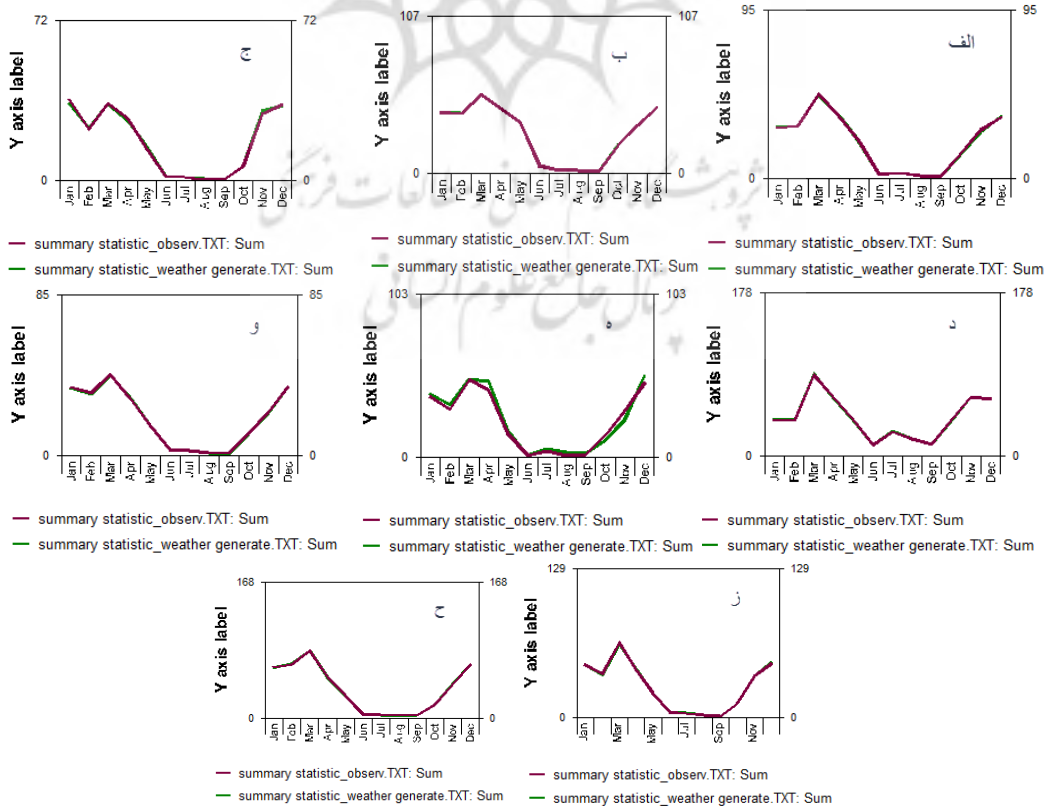
**جدول ۱: متغیرهای پیش بینی کننده برای پیش بینی مولفه های محلی بارش و دما در ایستگاه های مورد مطالعه**

ردیف	ایستگاه	مولفه های پیش بینی کننده	
		دما	بارش
۱	کرج	ارتفاع ژئوتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال، مؤلفه سرعت مداری در سطح ارتفاع ژئوتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، رطوبت ویژه سطحی، میانگین دما در ارتفاع ۲ متر از سطح زمین	ارتفاع ژئوتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال، میانگین دما در ارتفاع ۲ متر از سطح زمین
۲	قزوین	سرعت مداری نزدیک سطح، ارتفاع ژئوتانسیل در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، رطوبت ویژه سطحی، میانگین دما در ارتفاع ۲ متر از سطح زمین	سرعت نصف النهاری در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال، رطوبت ویژه در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال
۳	ساوه	مؤلف سرعت مداری در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، تاوایی در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال	میانگین فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوتانسیل در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال
۴	سیاه بیشه	سرعت نصف النهاری در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال، مؤلف سرعت مداری در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، میانگین دما در ارتفاع ۲ متر از سطح زمین	سرعت نصف النهاری در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال، میانگین فشار سطح دریا، سرعت مداری سطحی، سرعت نصف النهاری در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال
۵	چیتگر	رطوبت ویژه سطحی، میانگین دما در ارتفاع ۲ متر از سطح زمین	سرعت نصف النهاری سطحی، جهت باد سطحی، واگرایی ۸۰۰ هکتوپاسکال
۶	مهرآباد	ارتفاع ژئوتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال، رطوبت ویژه سطحی، میانگین دما در ارتفاع ۲ متر از سطح زمین	سرعت نصف النهاری در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال، ارتفاع ژئوتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال، رطوبت ویژه در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال
۷	ژئوفیزیک	مؤلفه سرعت مداری در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، رطوبت ویژه سطحی، میانگین دما در ارتفاع ۲ متر از سطح زمین	قدرت جریان هوا در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال، سرعت مداری در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال، تاوایی در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال
۸	شمیران	سرعت نصف النهاری در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال، مؤلفه سرعت مداری در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، میانگین دما در ارتفاع ۲ متر از سطح زمین	ارتفاع ژئوتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال

جدول ۱ مولفه های پیش بینی کننده مدل سازی داده های اقلیمی را نشان می دهد. این مولفه ها قوی ترین ارتباط را با داده های دیده بانی شده یا پیش بینی شونده داشته اند.



شکل ۷: مقایسه داده های دما مدل سازی شده با مشاهده ای در ایستگاه های مطالعاتی الف(کرج، ب(قزوین، ج(ساوه، د)سیاه بیشه، ه)چیتگر، و امهرآباد، ز(ژنوفیزیک، ح)شمیران



شکل ۸: مقایسه داده های بارش مدل سازی شده با مشاهده ای در ایستگاه های مطالعاتی الف(کرج، ب(قزوین، ج(ساوه، د)سیاه بیشه، ه)چیتگر، و امهرآباد، ز(ژنوفیزیک، ح)شمیران

همچنین برای ارزیابی صحت نتایج بدست آمده بوسیله مدل، داده‌های مشاهده‌ای هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه با نتایج حاصل از مدلسازی انجام شده برای دوره پایه مورد مقایسه قرار گرفته است (شکل ۷ و ۸). همانطور که در شکل ۷ و ۸ مشاهده می‌گردد در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه داده‌های بدست آمده با مدلسازی انطباق خوبی با داده‌های مشاهده‌ای داشته است و این نشان دهنده قابلیت اطمینان مدل برای پیش‌بینی داده‌های اقلیمی دما و بارش برای آینده می‌باشد. علاوه بر این خطای داده‌های مدلسازی شده با استفاده از چهار روش  $MAD$ ،  $MSE$ ،  $RMSE$  و  $MAPE$  مورد ارزیابی قرار گرفته است، که نتایج آن در جدول ۲ آمده است. با توجه به نتایج بدست آمده میزان خطای بین داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های مدلسازی شده برای دوره پایه قابل قبول بوده و نشان دهنده دقت مدل در مدلسازی داده‌های آینده می‌باشد.

جدول ۲: نتایج ارزیابی داده‌های مدلسازی شده

ردیف	ایستگاه	دما				بارش			
		$MAPE$	$RMSE$	$MSE$	$MAD$	$MAPE$	$RMSE$	$MSE$	$MAD$
۱	کرج	-/۰.۲۵	-/۰.۰۱	-/۰.۲۹	-/۰.۳۴۸	-/۰.۱۱	-/۰.۰۰۰	-/۰.۱۵	۲/۷۸۶
۲	قزوین	-/۰.۱۹	-/۰.۰۱	-/۰.۲۲	-/۰.۹۲۱	-/۰.۰۶	-/۰.۰۰۰	-/۰.۰۸	۱/۶۷۷
۳	ساوه	-/۰.۳۱	-/۰.۰۲	-/۰.۳۴	-/۰.۲۴۰	-/۰.۱۸	-/۰.۰۱	-/۰.۲۴	۳/۱۹۷
۴	سیاه‌بیشه	-/۰.۴۳	-/۰.۰۳	-/۰.۵۸	۱/۱۳۸	-/۰.۱۶	-/۰.۰۰۰	-/۰.۲۰	۱/۱۷۱
۵	چیتگر	-/۰.۱۰	-/۰.۰۰	-/۰.۱۱	-/۰.۹۷	-/۰.۸۲	-/۰.۱۰	-/۰.۱۰	۳/۵۹۴
۶	مهرآباد	-/۰.۱۷	-/۰.۰۰	-/۰.۲۰	-/۰.۱۳۴	-/۰.۰۷	-/۰.۰۰۰	-/۰.۰۸	۲/۴۸۸
۷	ژئوفیزیک	-/۰.۳۷	-/۰.۰۲	-/۰.۴۵	-/۰.۲۸۹	-/۰.۱۷	-/۰.۰۱	-/۰.۲۳	۳/۱۵۸
۸	شمیران	-/۰.۳۰	-/۰.۰۱	-/۰.۳۸	-/۰.۴۰۷	-/۰.۱۱	-/۰.۰۰۰	-/۰.۱۵	۱/۸۴۱

بنابراین هم نتایج بدست آمده در مرحله اعتبار‌سنجی مدل  $SDSM$  و هم ارزیابی نتایج حاصل از برآورد خطای داده‌های مدلسازی شده نشان دهنده صحت نتایج بدست آمده بوسیله مدل  $SDSM$  می‌باشد، علاوه بر این نتایج حاصل از مطالعات دیگر نیز تایید کننده قابلیت‌های مدل  $SDSM$  در ارزیابی داده‌های اقلیمی آینده می‌باشد (سبحانی و همکاران، ۱۳۹۶: ۳۱۵).

جدول ۳: تغییرات میانگین دما برای دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۵۰ و ۲۰۸۰-۲۱۰۰ بر اساس سناریوهای مختلف

ردیف	ایستگاه	وضع موجود	۲۰۳۰-۲۰۵۰			۲۰۸۰-۲۱۰۰		
			RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
۱	کرج	۱۵/۰۸	۱۵/۷۴	۱۵/۶۲	۱۵/۶۳	۱۵/۶۹	۱۵/۶۹	
۲	قزوین	۱۴/۲۲	۱۴/۲۸	۱۴/۶۶	۱۴/۶۹	۱۴/۸۷	۱۴/۸۸	
۳	ساوه	۱۸/۳۴	۱۹/۲۶	۱۹/۲۰	۱۹/۲۲	۲۱/۰۹	۱۹/۲۷	
۴	سیاه‌بیشه	۱۰/۸۷	۱۰/۸۷	۱۰/۸۸	۱۰/۹۲	۱۱/۱۸	۱۱/۲۰	
۵	چیتگر	۱۷/۴۳	۱۸/۰۲	۱۸/۱۲	۱۸/۱۵	۱۸/۲۹	۱۸/۲۳	
۶	مهرآباد	۱۷/۶۹	۱۷/۵۸	۱۷/۶۴	۱۷/۵۹	۱۷/۸۲	۱۷/۸۲	
۷	ژئوفیزیک	۱۷/۸۹	۱۷/۶۹	۱۷/۵۱	۱۷/۶۵	۱۷/۷۶	۱۷/۷۴	
۸	شمیران	۱۵/۰۶	۱۶/۱۲	۱۶/۱۴	۱۶/۱۳	۱۶/۳۱	۱۶/۳۲	

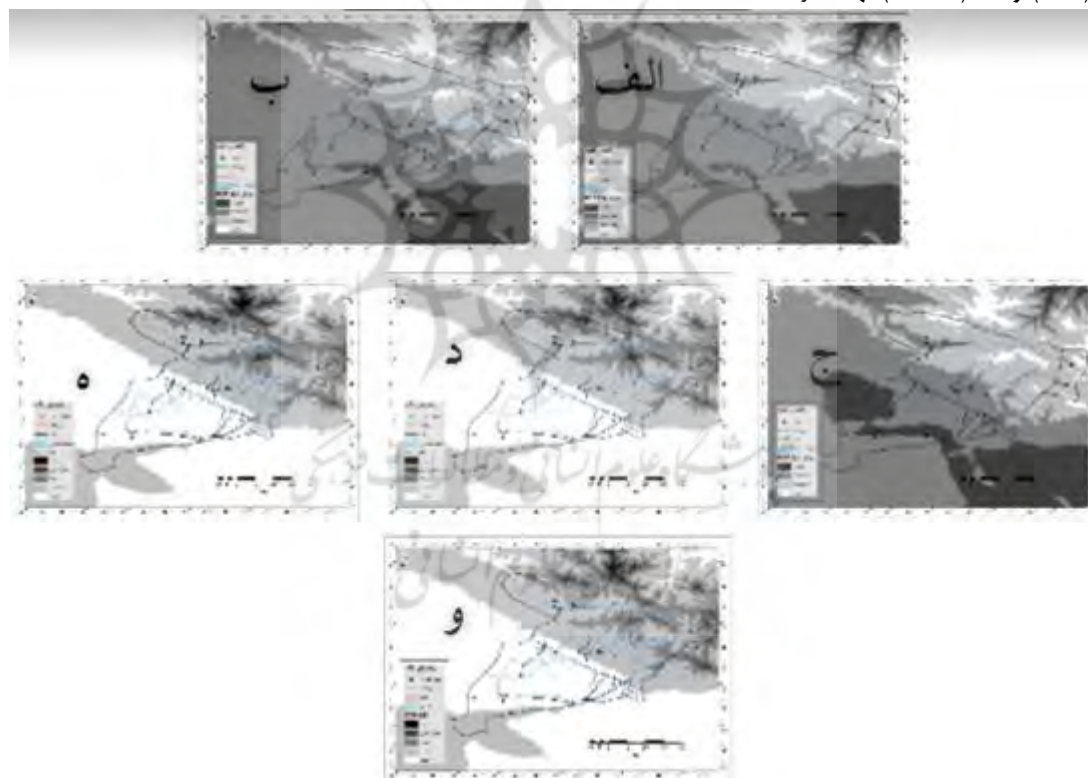
با توجه به تایید اعتبار‌سنجی داده‌های اقلیمی مدلسازی شده، پیش‌بینی مناطق مورفوکلیماتیک برای استان البرز در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ انجام گردید. ابتدا داده‌های مربوط به دما و بارش با کمک نرم‌افزار  $SDSM$  بازسازی گردید. در جدول ۳ تغییرات دما و جدول ۴ تغییرات بارش برای دوره‌های ۲۰۳۰ تا ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰ نشان داده شده است. بطور کلی روند تغییرات دما در همه ایستگاه‌ها در هر دو دوره مورد پیش‌بینی افزایشی می‌باشد. این روند افزایش دما برای سال‌های ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰ شدیدتر بوده و بطور کلی با افزایش دما بالاتری مواجه هستیم. روند تغییرات بارش نیز در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره‌های فوق‌کاهشی بوده و این کاهش بارش برای دوره پیش‌بینی ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰ بیشتر می‌باشد. بطور کلی با افزایش دما و کاهش بارش در منطقه مواجه هستیم، این تغییرات می‌تواند به خشکی بیشتر در شرایط اقلیمی استان منجر گردد.

جدول ۴: تغییرات میانگین بارش برای دوره های ۲۰۳۰-۲۰۵۰ و ۲۰۸۰-۲۱۰۰ بر اساس سناریو های مختلف

ردیف	ایستگاه	وضع موجود	۲۰۵۰-۲۰۳۰			۲۱۰۰-۲۰۸۰		
			RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 2.6	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 2.6
۱	کرج	۲۴۴	۲۴۴	۲۴۴	۲۴۳	۲۴۲	۲۴۰	
۲	قزوین	۳۲۰	۳۱۶	۳۱۴	۳۱۴	۳۲۳	۳۲۱	
۳	ساوه	۲۱۰	۲۱۰	۲۰۹	۲۰۷	۲۰۸	۲۰۸	
۴	سیاه بیشه	۴۹۸	۴۹۶	۴۹۵	۴۹۷	۴۹۷	۴۹۵	
۵	چیتگر	۲۷۰	۲۷۰	۲۷۱	۲۷۲	۲۷۴	۲۷۴	
۶	مهرآباد	۲۳۶	۲۳۴	۲۳۲	۲۳۵	۲۳۹	۲۳۱	
۷	ژئوفیزیک	۳۱۰	۳۰۷	۳۰۵	۳۰۴	۳۰۵	۳۰۹	
۸	شمیران	۴۲۹	۴۲۱	۴۲۰	۴۱۹	۴۱۵	۴۲۳	

ج) پیش بینی منطقه بندی مورفوکلیماتیک برای سال ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰

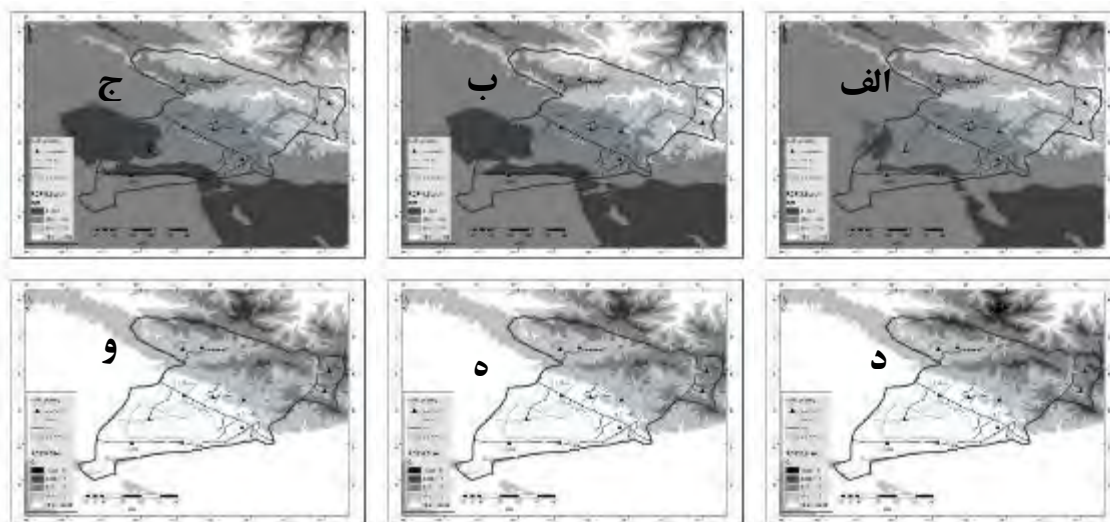
نقشه های پراکندگی مجموع بارش سالانه و میانگین دمای سالانه بر اساس داده های اقلیمی باز سازی شده فوق در مدل SDSM برای سال های ۲۰۳۰-۲۰۵۰ (شکل ۹) و ۲۰۸۰-۲۱۰۰ (شکل ۱۰) و بر اساس سه سناریو ۲/۶ (خوشبینانه)، ۴/۵ (میانه) و ۸/۵ (بدبینانه) تهیه گردید.



شکل ۹: نقشه مجموع بارش سالانه و میانگین دمای سالانه ۲۰۳۰-۲۰۵۰

- الف) مجموع بارش سالانه RCP2.6
- ب) مجموع بارش سالانه RCP4.5
- ج) مجموع بارش سالانه RCP8.5
- د) میانگین دمای سالانه RCP2.6
- ه) میانگین دمای سالانه RCP4.5
- و) میانگین دمای سالانه RCP8.5





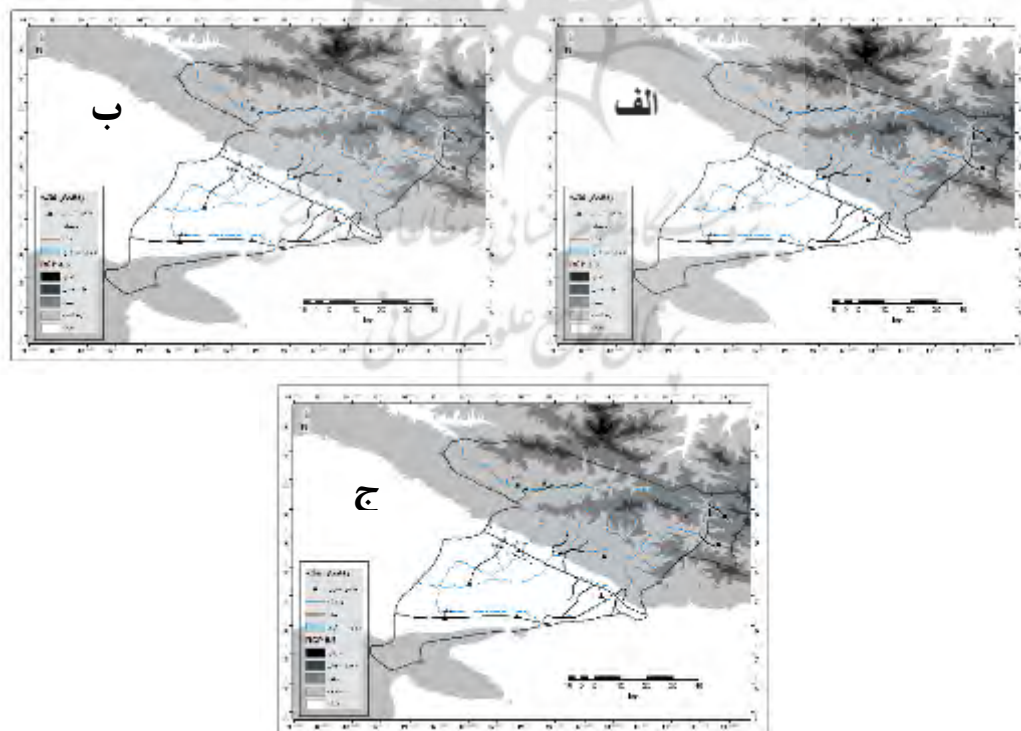
شکل ۱۰: نقشه مجموع بارش سالانه و میانگین دمای سالانه ۲۰۸۰-۲۱۰۰

الف) مجموع بارش سالانه RCP2.6      ب) مجموع بارش سالانه RCP4.5

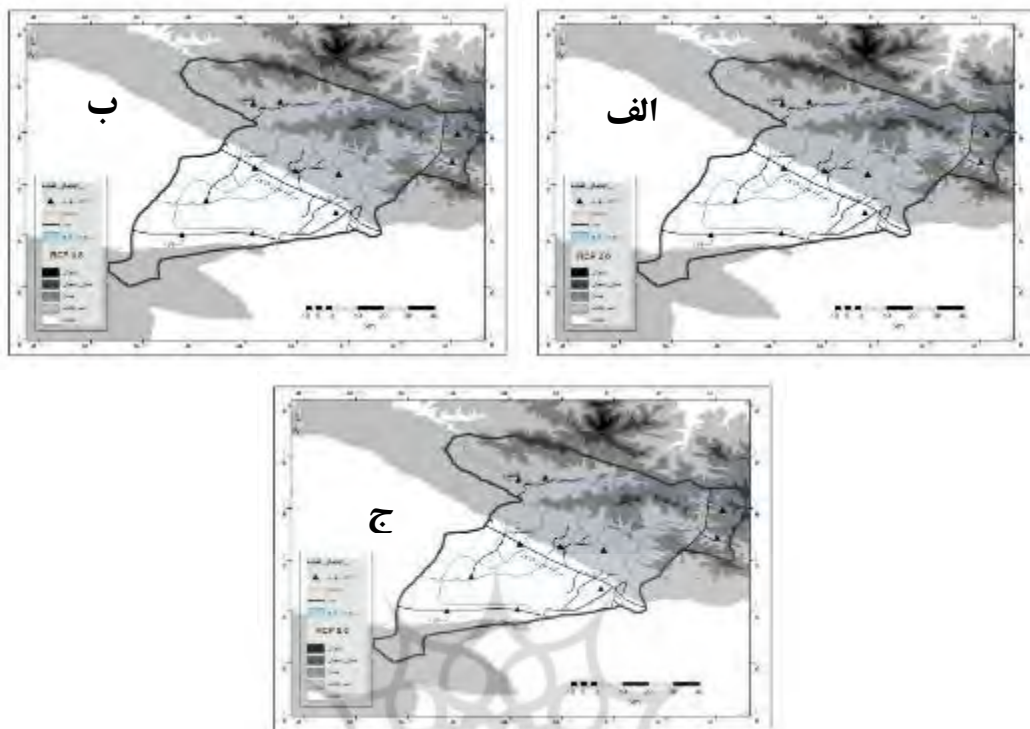
ج) مجموع بارش سالانه RCP8.5      د) میانگین دمای سالانه RCP2.6

ه) میانگین دمای سالانه RCP4.5      و) میانگین دمای سالانه RCP8.5

در داده‌های بازسازی شده و نقشه‌های بدست آمده بر اساس سناریوهای فوق و برای سال‌های ۲۰۳۰-۲۰۵۰ و ۲۰۸۰-۲۱۰۰ نشان می‌دهد که در هر یک از سناریوها با تغییر در مقادیر بارش و دما در سطح ایستگاه‌های سینوپتیکی استان و نواحی مجاور مواجه هستیم. بطوریکه هر سه سناریو افزایش مقادیر دما و کاهش مقادیر بارش را داریم.



شکل ۱۱: مناطق مورفوکلیماتیک ۲۰۵۰، الف) RCP2.6، ب) RCP4.5، ج) RCP8.5



شکل ۱۲: مناطق مورفوکلیماتیک ۲۱۰۰، (الف) RCP2.6، (ب) RCP4.5، (ج) RCP8.5

با توجه به تغییرات رخ داده در مقادیر دما و بارش، نواحی مورفوکلیماتیک استان البرز نیز تحت تاثیر قرار خواهند گرفت. بنابراین با اعمال شرط های فضایی مکانی براساس نمودار پلتیر بر روی لایه های دما و بارش در منطقه، مرز مناطق مورفوکلیماتیک خشک، نیمه خشک، معتدل، مجاور یخچالی و یخچالی برای سال های ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ مشخص گردید. نتایج تحلیل ها نشان می دهد که تغییراتی در مناطق مورفوکلیماتیک در این منطقه تا سال های ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ بر اساس هر یک از سناریو ها رخ خواهد داد، اما این تغییرات در نواحی مرزی هر یک مناطق مورفوکلیماتیک رخ خواهد داد و این به معنی حساسیت بیشتر این بخش ها و لزوم شناسایی و توجه به آنها است. بطور کلی بر اساس جدول ۵ در سال ۲۰۳۰ تا ۲۰۵۰ از مساحت مناطق مورفوکلیماتیک یخچالی، مجاور یخچالی و معتدل کاسته خواهد شد و در مقابل بر مساحت نواحی خشک و نیمه خشک استان افزوده خواهد شد.

جدول ۵: مساحت مناطق مورفوکلیماتیک در سطح استان البرز (وضع موجود و پیش بینی ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰)

مساحت مناطق در سه سناریو ۲۱۰۰			مساحت مناطق در سه سناریو ۲۰۳۰-۲۰۵۰			وضع موجود	مناطق مورفوکلیماتیک
5.RCP 8	5.RCP 4	6.RCP 2	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 2.6		
23.41	27.81	36.43	30.52	33.61	38.32	41.69	* یخچالی (نیواسیون)
77.41	79.44	97.44	115.84	129.48	135.69	151.70	مجاور یخچالی (سولی) فلوکسیون
404.57	439.16	569.28	484.52	523.12	555.23	583.21	معتدل (آب های جاری)
2373.24	2374	2281.28	2331.13	2327.96	2280.98	2259.92	نیمه خشک (پدیما نتاسیون)
2267.91	2230.53	2175.13	2206.81	2175.65	2154.60	2128.30	خشک (بادی)

\* منطقه یخچالی در خارج از محدوده استان البرز واقع گردیده است (علم کوه) منبع: نگارندگان ۱۳۹۹

مطابق جدول ۶ در سال های ۲۰۵۰ در سه سناریوی خوشبینانه (RCP 2.6)، میانه (RCP 4.5) و بدبینانه (RCP 8.5) به ترتیب ۱۲، ۱۷ و ۳۱ درصد از مساحت ناحیه موفوکلیماتیک مجاور یخچالی و ۵، ۱۲ و ۲۰ درصد از مساحت ناحیه موفوکلیماتیک معتدل کاسته خواهد شد و برای سال ۲۱۰۰ این کاهش به ترتیب برای ناحیه موفوکلیماتیک مجاور یخچالی ۳۶، ۴۸ و ۴۹ درصد و برای ناحیه موفوکلیماتیک معتدل ۲، ۲۵ و ۳۱ درصد می باشد. در حالیکه در مقابل بر اساس سناریو ها خوشبینانه (RCP 2.6)، میانه (RCP 4.5) و بدبینانه (RCP 8.5) برای سال ۲۰۵۰ به ترتیب ۱، ۲ و ۳ درصد بر مساحت نواحی نیمه خشک و ۱، ۲ و ۴ درصد بر مساحت نواحی خشک افزوده می شود و این افزایش تا سال ۲۱۰۰ به ترتیب ۱، ۵ و ۵ درصد برای نواحی نیمه خشک و ۲، ۵ و ۷ درصد برای نواحی خشک خواهد بود (جدول ۶). همین طور ما با کاهش محسوس در مساحت پهنه یخچالی علم کوه، که در استان مازندران و در مجاورت مرز های شمالی استان البرز در منطقه طالقان واقع شده است مواجه خواهیم بود به طوری که بر اساس سناریو های فوق این یخچال تا سال ۲۰۵۰ به ترتیب ۹، ۲۴ و ۳۷ درصد از مساحت خود و تا سال ۲۱۰۰ به ترتیب ۱۳، ۳۳ و ۴۴ درصد از مساحت خود را از دست خواهد داد. بنابراین در حالت کلی مساحت مناطق مورفوکلیماتیک یخچالی و مجاور یخچالی و معتدل به نفع مناطق خشک و نیمه خشک کاهش یافته است. طبق این نتایج، بیشترین درصد تغییرات در استان البرز مربوط به کاهش وسعت منطقه مورفوکلیماتیک مجاور یخچالی است که این کاهش عمدتاً با افزایش مناطق خشک و نیمه خشک همراه است.

جدول ۶: درصد تغییرات مناطق مورفوکلیماتیک در سطح استان البرز (وضع موجود و پیش بینی ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰)

مناطق مورفوکلیماتیک	درصد تغییر هر یک از مناطق در ۲۰۵۰			درصد تغییر هر یک از مناطق در ۲۱۰۰		
	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 2	RCP 4	RCP 8
* یخچالی (نیواسیون)	-9%	-24%	-37%	-13%	-33%	-44%
مجاور یخچالی (سولی فلوکسیون)	-12%	-17%	-31%	-36%	-48%	-49%
معتدل (آب های جاری)	-5%	-12%	-20%	-2%	-25%	-31%
نیمه خشک (پدیمان تاسیون)	1%	2%	3%	1%	5%	5%
خشک (بادی)	1%	2%	4%	2%	5%	7%

\* منطقه یخچالی در خارج از محدوده استان البرز واقع گردیده است (علم کوه) منبع: نگارندگان ۱۳۹۹

بنابراین، با توجه به نتایج ارائه شده می توان کاهش مناطق مورفوکلیماتیک مجاور یخچالی و معتدل را به نفع مناطق نیمه خشک و خشک برای زمان مورد نظر، پیش بینی نمود. بویژه با توجه به شرایط موجود و عدم رعایت تعهدات مربوط به کاهش انتشار گاز های گلخانه ای بوسیله چین و آمریکا و خروج رسمی ایالات متحده از پیمان پاریس (COP21) و در نهایت افزایش روز افزون انتشار این گاز ها در جهان به نظر می رسد که رخداد سناریو ۸/۵ بیشتر محتمل می باشد. بنابراین تداوم شرایط موجود می تواند آسیب های زیست محیطی، اجتماعی، اقتصادی و ... زیادی به همراه داشته باشد. این امر در زمینه زیست محیطی می تواند رخداد ها و فرایندهایی نظیر فرسایش خاک، سیلاب، ریز گرد ها، گسترش بیابان زایی، خشک شدن تالاب ها و کاهش منابع آب در منطقه به همراه داشته باشد و در حوزه های اقتصادی و اجتماعی با خسارت های جبران ناپذیری همراه باشد.



## نتیجه گیری

با توجه به نتایج و مباحث ارایه شده می توان بیان داشت که نقطه قوت این پژوهش با توجه به مطالعات قبلی که در زمینه مدل پلتیر انجام شده است تلفیق این مدل با مدل تغییر اقلیم SDSM می باشد که به ما امکان برآورد تغییرات مناطق مورفوکلیماتیک برای سال های ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ را داده است. در این پژوهش با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی مشخص شده است که روندهای دمایی و بارش سالانه براساس داده های ایستگاه های نمونه در سال های آینده به سمت خشکی بیشتر و کاهش بارندگی و تغییر در مناطق مورفوکلیماتیک خواهد بود. براساس هر سه سناریو می توان بیان داشت که مناطق مورفوکلیماتیک مجاور یخچالی و معتدل که عمدتاً در ارتفاعات استان البرز بعنوان منطقه مطالعه این تحقیق قرار دارند، تا سال ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ به نفع مناطق مورفوکلیماتیک خشک و نیمه خشک کاهش خواهند یافت. لذا بطور کلی می توان بیان داشت که در استان البرز مناطق خشک و نیمه خشک در حال افزایش هستند و مناطق مجاور یخچالی و معتدل در حال کاهش هستند. این روند می تواند در آینده با توجه به روند فعلی عوامل موثر، شکل مناطق مورفوکلیماتیک را در این استان تغییر دهد. می توان انتظار داشت که نتیجه این تغییرات بصورت دگرگونی هایی در فعالیت های انسانی از جمله کاربری های اراضی و کارکردشهرها و تحولاتی در اکوسیستم های گیاهی و جانوری این استان شود. یافته های این پژوهش که براساس مدل SDSM از روشهای ریزمقیاس و براساس متغیرهای مستقل پیش بینی کننده بدست آمده است نشان داده است که شرایط اقلیمی محیط طبیعی استان البرز در سال های آینده با گسترش بیشتر مناطق خشک و نیمه خشک همراه خواهد بود. این تغییرات منجر به تغییراتی در شرایط سطحی زمین از جمله شدت و ضعف پوشش گیاهی و فرسایش خواهد شد که خود عاملی برای لزوم تغییر در فعالیت های انسانی در بخش های کشاورزی و صنایع خواهد بود.

## منابع

- اداره کل هواشناسی استان البرز، نگرشی بر ویژگیهای اقلیمی استان البرز. [http://www.alborz-met.ir/Dorsapax/Data/Sub\\_0/File/pahnehbandy.p%20df.pdf](http://www.alborz-met.ir/Dorsapax/Data/Sub_0/File/pahnehbandy.p%20df.pdf)
- آذرانفر، آ.، ۱۳۸۵. کوچک مقیاس کردن خروجی مدل های اقلیمی با کاربرد روش های آماری. پایان نامه کارشناس ارشد مهندسی آب، استاد راهنما: احمد ابریشم چی، دانشگاه صنعتی شریف.
- بابائیان، ا.؛ کوهی، م.، ۱۳۹۱. ارزیابی شاخص های اقلیم کشاورزی تحت سناریو های تغییر اقلیم در ایستگاه های منتخب خراسان رضوی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، شماره ۳، ۹۵۳-۹۶۷.
- بیگی، ا.، ۱۳۸۸. بررسی تاثیر پدیده تغییر اقلیم و گرم شدن زمین بر تغییرات زمانی و مکانی تغذیه آب زیرزمینی (مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه کرخه). پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، استاد راهنما: احمد ابریشم چی، دانشگاه صنعتی شریف.
- حسینی، ف.، ۱۳۸۷. بررسی اثرات پدیده تغییرات اقلیم در حوضه آبریز کرخه (مطالعه موردی: حوضه آبریز کرخه). کارشناس ارشد مهندسی آب، استاد راهنما: احمد ابریشم چی، دانشگاه صنعتی شریف.
- خوش اخلاق، ف.؛ شمسی پور، ع.؛ مقصودی، م.؛ مرادی مقدم، م.؛ رستمی گهراز، ه.، ۱۳۹۳. پهنه بندی و واکاوی فرایند های هوازدگی در غرب دشت مرکزی- زاگرس. جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱۱، صص ۲۱-۳۹.
- رامشت، م. ح.، ۱۳۸۲. نظریه کیاس در ژئومورفولوژی. مجله جغرافیا و توسعه، ۱: ۱۳-۳۶.
- سادات آشفته، پ.؛ مساح بوانی، ع.، ۱۳۸۶. تأثیر تغییر اقلیم بر شدت و فراوانی سیلاب در دوره های آتی مطالعه موردی، حوضه آیدوغموش، آذربایجان شرقی. گار گاه فنی اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب، ۲۴ بهمن ماه.

- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۶۵. نقشه زمین شناسی
- سازمان نقشه برداری کشور، ۱۳۸۵. نقشه توپوگرافی
- سازمان هواشناسی، داده های سینوپتیکی ایستگاه های چیتگر، ژئوفیزیک، کرج، مهر آباد، قزوین، ساوه، شمیران و سیاه بیشه
- سبحانی، ب.؛ اصلاحی، م.؛ بابائیان، ا.، ۱۳۹۶. مقایسه روش های ریزمقیاس نمایی آماری مدل های تغییر اقلیم در شبیه سازی عناصر اقلیمی در منطقه شمال غرب ایران. پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۴۹(۲): ۳۰۱-۳۲۵.
- سید قاسمی، س.، ۱۳۸۵. پیش بینی تغییرات جریان رودخانه تحت اثر تغییرات اقلیم (مطالعه موردی: حوضه زاینده رود). پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، استاد راهنما: احمد ابریشم چی، دانشگاه صنعتی شریف.
- شایان، س.؛ قلیچی، ع.؛ یمانی، م.، ۱۳۹۶. ارزیابی مخاطرات محیطی و مورفوژن فعال در جاده کرج - چالوس (تا تونل کندوان). جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۲۲، صص ۱-۱۶.
- عزیزآبادی فراهانی، م.؛ بختیاری، ب.؛ قادری، ک.؛ رضاپور، م.، ۱۳۹۵. بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر منحنی های سختی-مدت-فراوانی خشکسالی حوزه آبریز قره سو با استفاده از توابع مفصل. تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)، شماره، صص ۷۴۳-۷۵۴.
- عساکره، ح.، ۱۳۸۶. تغییر اقلیم. انتشارات دانشگاه زنجان.
- عمادالدین، س.؛ محمدی، ش.؛ ولوی، ر.، ۱۳۹۳. پهنه بندی قلمرو هوازدگی سنگها در استان تهران و البرز. دو فصلنامه ی ژئومورفولوژی کاربردی ایران، شماره ۴، صص ۵۹-۷۷.
- مدرسی، ف.؛ عراقی نژاد، ش.؛ ابراهیمی، ک.؛ خلقی، م.، ۱۳۹۰. بررسی اثر تغییر اقلیم بر میزان آبدهی سالانه رودخانه ها (مطالعه موردی: رودخانه گرگانرود). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، شماره ۲۵، صص ۱۳۶۵-۱۳۷۷.
- مقصودی، م.؛ خوش اخلاق، ف.؛ حنفی، ع.؛ روستا، ا.، ۱۳۸۹. پهنه بندی فرایند های هوازدگی سنگ ها براساس مدل های پلتیر در شمال غرب ایران. پژوهش های جغرافیای طبیعی، ۷۴: ۳۵-۴۶.
- Akhtar, MeeAhmad, Na Booij, Mi Jh 2008. The impact of climate change on the water resources of Hindukush- Karakorum- Himalaya region under different glacier coverage scenarios. *Journal of Hydrology*, 355: 148- 163
- Anjum, M. N., Yongjian, D., Donghui, S., 2019. Simulation of the projected climate change impacts on the river flow regimes under CMIP5 RCP scenarios in the westerlies dominated beltanorthern Pakistan, *Atmospheric Research Volume 2271*, 233-248
- Bolin, Berth2007eA history of the science and politics of climate changeRCambridge University Press
- Braungardt S., Jeroen van den BC Tessa Dcc2019i Fossil fuel divestment and climate change: Reviewing contested arguments. *Energy Research & Social Science* 50, 191-200
- Cameron, D., 2006. An application of the UKCIP02 climate change scenarios to flood estimation by continuous simulation for a gauged catchment in the northeast of Scotland, UK (whit uncertainly). *Journal of Hydrology*, 328: 212- 226
- Chen, J., Xia, J., Zhao, C., Zhang, S., Fu, G., Ning, L., 2014. The mechanism and scenarios of how mean annual runoff varies whit climate change in Asian monsoon areas. *Journal of Hydrology*, 517: 595- 606.

- Francois A. E., Marean, C.W., Cowling, R.M., Engelbrecht, C.J., Difford, M., 2019. Down scaling Last Glacial Maximum climate over southern Africa. *Quaternary Science Reviews* 22615
- Hooke J. M., 2019. Changing landscapes: Five decades of applied geomorphology. *Geomorphology* 564
- Jing-Chun F., Qi-Yong L., 2019. Potential impacts of climate change on dengue fever distribution using RCP scenarios in China. *Advances in Climate Change Research* 10, 1-8
- Klove, B., Ala-Aho, P., Bertrand, G., Gurdak, J. J., Kupfersberger, H., Kvaerner, J., Mykra, H., Preda, E., Rossi, P., BertacchiUvo, C., Velasco, E., Pulido- Velazquez, M., 2013. Climate change impacts on groundwater and dependent ecosystems. *Journal of Hydrology*, xxx: 1- 17
- Green, T.R., Taniguchi, M., Kooi, H., Gurdak, J.J., Allen, D.M., Hiscock, K.M., Treidel, H. and Aureli, A., 2011. Beneath the surface of global change: Impacts of climate change on groundwater. *Journal of Hydrology*, 405(3-4), pp.532-560.
- Matthew E. K., Daxuan Z., 2018. the impact of climate change skepticism on adaptation in a market economy. *Research in Economics* 72, 251-262
- Moradkhani, H. Baird, R., G. Wherry, S. A. 2010. Assessment of climate change impact on floodplain and hydrologic ecotones. *Journal of Hydrology*, 395: 264- 278
- Oguchi T., 2019. Geomorphological debates in Japan related to surface processes, tectonics, climate, research principles, and international geomorphology. *Geomorphology* 27,
- Orme A. R., 2014. Tectonism, Climate, and Geomorphology Spatial and Temporal Perspectives. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*
- Peltier, L.C., 1950. The geographic cycle in periglacial regions as it is related to climatic geomorphology. *Ann. Assoc. Am. Geogr.* 40, 214-236. In Gutiérrez, M., 2005. *Climatic Geomorphology, Developments in Earth Surface Processes*, 8. Elsevier.
- Quan Li, W., Jianshe Liang, W., Hongquan Kang, L. C., 2020. Deep-water channels in the lower Congo basin: Evolution of the geomorphology and depositional environment during the Miocene. *Marine and Petroleum Geology* 115
- Sefton, C. E. M. & Boorman, D. B. 1997. A regional investigation of climate change impacts on UK streamflows. *Journal of Hydrology*, 195: 26- 44
- Shibao L., Xiao B., Xiaoling Z., Wei L., Yao T., 2019. The impact of climate change on the sustainable development of regional economy. *Journal of Cleaner Production* 2331, 1387-1395
- Veijalainen, N., Lotsari, E., Alho, P., Vehvilanen, B., Kayhko, J., 2010. National scale assessment of climate change impacts on flooding in Finland. *Journal of Hydrology*, 391: 333- 350
- Wilby, R.L., Dawson, C.W., Murphy, C., Connor, P.O., Hawkins, E., 2014. The statistical DownScaling model-decision centric (SDSM-DC): conceptual basis and applications. *Climate Research*, 61(3), pp.259-276.
- Wood N., Roelich, K., 2019. Tensions, capabilities, and justice in climate change mitigation of fossil fuels. *Energy Research & Social Science* 52, 114-122
- Zeng, X., Kundzewicz, Z. W., Zhou, J., Su, B., 2012. Discharge projection in the Yangtze River basin under different emission scenarios based on the artificial neural networks. *Quaternary International*, 282: 113- 121.
- Zhang L., Yingming Z., Hein-Griggs, D., Tamara J. Ciborowski, J. J. H., 2020. Climate change projections of temperature and precipitation for the great lakes basin using the PRECIS regional climate model. *Journal of Great Lakes Research* .