نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال ششم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸
صفحات ۱۱۱ تا ۱۳۸

برآورد تغییرات آب و هوایی آینده در ساحل جنوبی دریای خزر با استفاده از مدل آب و هوایی منطقه ای

فردین صابری لویه : دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی ، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران.
بهلول علیجانی [۱] استاد اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
شهریار خالدی : استاد اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی ، دانشکده علوم زمین ، دانشگاه شهید بهشتی ، تهران، ایران.

دریافت مقاله : ۱۳۹۶/۰۸/۱۸ پذیرش نهایی:۱۳۹۷/۱۰/۰۱

چکیده

افزایش سطح دریا یکی از قوی ترین شاخص تغییرات آب و هوایی است. پیش بینی دقیق سطح دریای خزر برای آینده غیر ممکن است، اما مدل های کامپیوتری می توانند پیش بینی احتمالی تغییرات آینده را ارائه دهند. این مشکل با استفاده از یک سیستم مدل یکپارچه به نام SIMCLIM با دقت مکانی ۰/۱ درجه در۰/۱ درجه در خوشبینانه ترین حالت یعنی RCP 4.5 و بدبینانه ترین حالت یعنی RCP ۸,۵ در محدوده ۹۰ درصد (صدک ۵ تا ۹۵) مورد بررسی قرار گرفته است. رویداد های فرین ناشی از تغییرات آب و هوایی در پیش بینی تراز سطح دریا اهمیت زیادی دارند. در منطقه مورد مطالعه، در آینده فراوانی و شدت رویدادهای فرین دما و بارش افزایش خواهند یافت. نمایه های فرین، نشان دهنده تغییر مقادیر فرین دما و بارش نسبت به دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۸۱ است. ضریب تغیرات بارش و دما برای کل حوضه خزر مثبت است و در ناحیه جنوبی الگوی نامنظمی بر آستانه های بارش حاکم است. پیش بینی های انجام شده نشان می دهد، سطح دریا به آرامی تا سال ۲۱۰۰ افزایش می یابد. منحنی های تغییرات سالانه با دوره پایه ۲۰۱۵-۱۹۹۵ سطح آب دریای خزر راست آزمایی گردید که نشان می دهند در دو دهه گذشته فرکانس نفوذ آب به خشکی از یک افزایش آهسته و یکنواخت به یک رخداد تشدید شونده عبور کرده است. اگر افزایش حداکثر پیش بینی شده رخ دهد، خط ساحلی آسیب پذیرترین جابجایی را تجربه خواهد کرد.

واژه های کلیدی: افزایش سطح دریا، رویداد های فرین، سواحل جنوبی دریای خزر، ضریب تغییرات، خط ساحلی.

[۱] . مسئول مقاله: Email:bralijani@gmail.com

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-17]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.7]

مقدمه

گروه بین المللی تغییرات آب و هوایی در پنجمین ارزیابی خود سناریو های متعددی را بر اساس انتشار گاز های گلخانه ای مطرح کرد که RCP 8.5 بالاترین سناریوی انتشار و گرم شدن زمین است که در طول قرن ۲۱ همچنان غلظت گازهای گلخانه ای افزایش می یابد و در RCP 4.5 خوش بینانه ترین سناریوی انتشار گاز های گلخانه ای بطور عمده از ۲۰۴۰ شروع می شود . انتشار گاز های گلخانه ای همچنان رو به افزایش است و در حال حاضر هیچ راهکار روشن، مبنی بر خروج از یک زیر ساخت مبتنی بر کربن وجود ندارد. (Park et al, 2017) ارزیابی های اخیر در مورد تولید انرژی و جمعیت جهانی نتیجه گیری می کند که سناریو ی انتشار RCP 4.5 غیر قابل دسترس است و عدم اطمینان قابل توجهی در مورد اینکه سناریوی RCP 6.0 می تواند تحقق یابد وجود دارد (Jones & Warner, 2016). گرمایش جهانی پدیده ای است که سبب افزایش میانگین دمای سطح زمین و اقیانوس ها شده است. دمای کره زمین در حدود ۰/۷۴ درجه سیلسیوس در یک قرن گذشته افزایش داشته است (دیبایی و بیرگانی. ۱۳۸۹) در دهه های پایانی قرن بیستم شاهد گرم ترین سال های ۴۰۰ سال اخیر بوده ایم.که ۱۰ مورد از گرمترین سالها به گزارش[۲]IPCC در دو دهه آخر قرن بیستم به ثبت رسیده است که در ۱۵۰ سال گذشته بی سابقه بوده است. سرعت گرمایش زمین از ۰/۰۵ درجه به ۰/۱۵ درجه در هر دهه رسیده است. (IPCC, 2013) در حال حاضر، دمای جهان به مقدار ۱/۵ درجه نسبت به قبل از صنعتی شدن افزایش داشته است. (Lissner & Fischer, 2016). دلایل این فرآیند روشن نیست و می تواند عوامل متعددی را در بر گیرد که همه آنها می توانند بر تغییرات آب وهوایی زمین اثر بگذارند.

فاصله زمانی وقوع مخاطرات طبیعی که نتیجه دخالت انسان در نظم حاکم بر فضاست (علیجانی ، ۱۳۹۳)، در سالهای آینده در ایران و دیگر نقاط جهان کوتاه تر از گذشته خواهد بود. این بی نظمی از مشخصه های بارز تغییر اقلیم به شمار می رود. با گرم شدن زمین، الگوی بارش تغییر خواهد کرد. براساس شبیه سازی الگو های مدل های اقلیمی انتظار می رود تا سال ۲۱۰۰ در برخی نقاط با افزایش بارش و در بعضی نقاط برعکس خشکسالی تشدید شود. افزایش سطح آب دریا سبب فراوانی سالانه دامنه سرعت در حال رشد سیل های جزر و مدی می شود (Sweet et al, 2014, 8). مسئله اصلی در این نواحی نقل و انتقال و تامین نیازهای مردمی هست که در آنجا زندگی می کنند. افزایش و یا کاهش سطح تغییرات، مدتها به همان اندازه باقی خواهد ماند و در مدت خیلی کوتاه کاهش و یا افزایش نخواهد یافت. از این رو سرمایه گذاری برای نجات انسانها از پیامدهای ناگوار مخاطرات طبیعی در کنار حفظ محیط زیست بایستی جایگاه ویژه داشته باشد و در مدیریت شهرها دست اندرکاران باید برنامه های خود را متناسب و همآهنگ با تغییرات اقلیمی طرح ریزی کنند(Atalay,2014،۱۱۸) . وقوع فاجعه ای طبیعی در آینده محدود به حوزه جغرافیایی خاصی نیست و می تواند در هر زمان و هر مکانی رخ دهد. وقوع سیلاب غیر منتظره و فرسایش ساحلی شدید تر خواهد شد و مداخله انسان هم بیشتر می شود.(Vitousek et al, 2017) متاسفانه کشورهای در حال توسعه بدلیل اختصاصی، منابع کمتری برای مقابله و سازگاری با شرایط در حال تغییر، بیشترین تاثیرات نامطلوب را خواهند داشت.

[۲]- Inter Governmental Panel on Climate Change

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-17]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.7]

دریاچه خزر بزرگترین بدنه آبی محصور جهان با وسعتی معادل۳۷۱هزار کیلومتر مربع(Ollivier et al, ۲۰۱۶) است. هر گونه تغییرات آب و هوایی باعث تغییر در بودجه آب این دریاچه خواهد شد. از طرف دیگر سواحل خزر سال هاست با شرایط اقلیمی ویژه خود سازگاری یافته و تمام فعالیتهای زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی بر پایه آن شکل گرفته است. آسیبپذیری در بخش ساحلی دریای خزر به طور خاص با تغییرات آب و هوایی تعریف می شود. عدم آگاهی در برابر تغییرات آب و هوایی، سناریو های تاثیر گذار و فرآیندهای سازگاری محیط ساحلی با تغییرات بسیار زیانبخش خواهد بود و لذا ضرورت دارد با اعتماد به نفس بیشتری در مورد آسیب پذیری و تغییرات آب و هوایی بلند مدت در ناحیه مورد مطالعه پرداخته گردد. علاوه بر تغییرات اقلیمی، می بایست برای پیش بینی تراز آب دریا به تحول زمین شناختی دریای خزر هم اشاره داشت. کف چاله جنوبی دریای خزر از مواد سنگین وزن با چگالی ۳ تا ۳/۳۳ ساخته شده است (علایی طالقانی، ۱۳۸۱، ۳۲۷). این مسئله همراه با فشاری که پلاتفرم عربستان و توران به سرزمین ایران می آورد سبب فرونشینی کف گودال خزر در مقابل دیواره کوهستانی جنوبی آن شده است (جداری عیوضی، ۱۳۷۴، ۷). به هر روی تغییر سطح آب دریای خزر اثر مهمی در روند فعالیت های انسانی و طبیعی آن می گذارد. بنابراین، بایستی توجه داشت که نوسانات آب حوضه به دلیل بسته بودن در زمان کوتاه تری نسبت به اقیانوسها و دریای آزاد بروز می کند و تغییر در مکان های جغرافیایی توسط انسان سبب بروز شدیدتر تغییرات خواهد شد. داشتن اطلاعات سازمان یافته و به روز شده و قابل دسترس برای تصمیم گیری درست تصمیم گیرندگان جهت مقابله با این چالش ها ضروری است. شناخت شرایط محیطی دریای خزر و همچنین علل و اثرات تغییرات در این شرایط یک پیش شرط ضروری برای توسعه و اقدام برای حفظ منابع طبیعی آن است.

مدیریت آب های ساحلی در طول دو دهه گذشته با توجه به تغییرات آب و هوایی پیچیده تر شده است. (Treuer and Galen, ۲۰۱۷) برای کشف حقیقت مدل های مختلف طراحی شده است تا بتوانند حقایق مبهمی که در مورد افزایش دمای زمین وجود دارد را آشکار سازند. مدل ها بر پایه قوانین فیزیکی توسط قوانین ریاضی ارئه می شود (Bao ,2015) که به نام مدل های گردش عمومی جو GCM شناخته می شوند. شبیه سازی با مدل های GCM بر اساس مبادلات انرژی و مبادلات بین خشکی و اقیانوس – اتمسفر می باشد. این مدل ها در مقیاس زمانی کوتاه مدت شبیه سازی متناسبی ندارند ولی در بازه بالای ۱۰ سال شبیه سازی قابل قبولی ارائه می دهند (Loski,2015,107). مدل های گردش عمومی GCM علی رغم اهمیت فراوان آن، قادر به پیش بینی در مقیاس کوچک را ندارند. برای این منظور، مدل های آماری و دینامیکی برای شبیه سازی و تبدیل به مقیاس کوچک ابداع شده اند. لذا برای شبیه سازی متغییرهای اقلیمی و اثر متقابل فرآیندهای بزرگ مقیاس سیاره ای بر ساحل جنوبی دریای خزر نیاز به شبیه سازی متغییرهای اقلیمی در مقیاس کوچک و اثر متقابل آن متغییرها بر نوسانات سطحی آب دریای خزر می باشد. بدین منظور از یک سیستم مدل یکپارچه به نام SimClim استفاده شده است که می تواند سناریوهای فضایی را به عنوان عضو یک گروه در چند مدل هدایت کند و با وضوح یک کیلومتر در یک کیلومتر نشان دهد. SimClim به منظور ارائه تصویر آتی متغییر های اقلیمی از روش خطی برای ریزگردانی و درون یابی مقادیر مذکور برای بهبود مقیاس مکانی استفاده می کند، همچنین به صورت افزونه ای در محیط نرم افزار GIS قابل اجراست. این نرم افزار عمدتا برای مدیریت داده ها، آنالیز و نمایش خروجی ریزگردانی شده مدل ها و برآورد تغییرات آتی به روش خطی است که

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-17]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.7]

البته امکان محاسبه میانگین گروهی خروجی مدل های مختلف را نیز میسر می سازد. این تحقیق ارزیابی آسیب پذیری های ساحلی از منظر گزینه های روش شناختی، شواهد مشاهدات و پیش بینی آینده را مورد توجه قرار داده است.

در ارتباط با افزایش سطح آب دریا با استفاده از افزونه SimClim مطالعات کاربردی فراوان در مناطق مختلف جهان صورت گرفته است. جیراوات و موکبول (Jirawat and Mokbul)به آسیب پذیری ماهیگیران ساحلی تایلند از تغییرات سطح دریا استفاده از این مدل پرداخته است. پنپنگ (Panpeng, J,2017) به افزایش آب دریا و آسیب پذیری بالقوه ماهیگیران ساحل پرداخته است. تغییرات خط ساحلی ناشی از افزایش سطح آب دریا و امواج در سناریو های آب و هوایی ، کاربرد در جزایر بالئاریک مدیترانه غربی توسط آلجاندرا و انریکوز (Alejandra and Enríquez, 2017) مورد بررسی قرار گرفته است. سالم خان (Saleem khan et al,2017) به تغییرات اقلیمی ناشی از افزایش آب سطح دریا و تهدید جدی آن بر اکوسیستم ارزشمند ساحلی در ایالت تامیل نادو هند پرداخته است.تامورا و همکاران (Tamura et al. 2015) غلظت یخ دریا را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و تا سال ۲۱۰۰ تا حد زیادی می تواند سطح دریا در قصل سرد بدون پوشش یخ باشد. بائو و همکاران (Bao et al,2015) به پیش بینی تغییرات آب و هوایی بر عملکرد تولید سویا در ایلات متحده با استفاده از مدل SimCLIM پرداخته است. مکلئود و همکاران (Mcleod et al,2010) با استفاده از این مدل، خطر تغییرات آب و هوایی در سیستم مخازن آب خانگی در کوئینزلند جنوبی استرالیا را مورد بررسی قرار داده است.اسلانگن و همکاران (Slangen et al, 2۰۱۴) یک مجموعه از ۲۱ مدل گردش عمومی اتمسفر- اقیانوس (AOGCMs) را از بایگانی پروژه (CMIP5) همگام سازی مدل همپوشانی استفاده کرده است.

مطالعات زیادی با روش ها و اهداف مختلف در باره تغییرات سطح آب دریای خزر صورت گرفته است که بسیار با اهمیت هستند. آنتونیولی و همکاران (Antonioli et al, 2017) به افزایش سطح دریا و غرق شدن جلگه های ساحلی ایتالیا پرداخته اند. ارزیابی علمی و فنی از طرف سازمان محیط زیست کشور آذربایجان به همراه چند نهاد بین الملل صورت گرفته و مسائل زیست محیطی و تاثیر آن در زمینه های اجتماعی، اقتصادی، قانونی و سیاسی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است(UNDP,2002,50). شبیه سازی واکنش سطح دریای خزر نسبت به تغییرات اقلیمی طی دوره آماری ۱۹۹۰-۱۹۴۸ با استفاده از مدل[۳]Regcm توسط الگیونی و گیورگی (Elguindi & Giorgi, 2006) انجام شده است و این نتیجه حاصل گردید که ضریب همبستگی بین تغییرات واقعی سطح آب دریای خزر با مقادیر مدل شده وجود دارد. پانین (panin, 2007) به بررسی نوسانات دریای خزر به عنوان یک نتیجه از تغییرات اقلیمی منطقه چنین اشاره داشته است که، سطح آب دریای خزر از سال ۱۹۳۰ تا ۱۹۷۷ حدود ۳ متر کاهش یافته است و این روند در سال ۱۹۷۷ متوقف گردیده است. به همین ترتیب شرایط پیش از آن مجددا جایگزین شده اند. تحقیقی دیگر تحت عنوان، مدل سازی نوسانات سطح آب دریای خزر تحت سناریوهای مختلف توسط روشن و همکاران (Roshan et al, 2012) انجام شده است و افزایش غلظت دی اکسید کربن اتمسفر با استفاده از نرم افزار مدل MAGIC SCENGEN نسخه ۵۰۲ محاسبه گردیده و نتایج نشان داده است که دمای منطقه در حدود ۰/۱۷ درجه در هر دهه افزایش یافته و بارندگی در حدود ۰/۱۰ (۱۸۲ میلی متر) و در ناحیه شمالی تر حوضه، رودخانه ولگا ۰/۱۲ تا سال ۲۱۰۰ افزایش خواهد یافت. آرپ و همکاران (Arpe et al. 2014) به بررسی بودجه هیدرو لوژیک دریای خزر با هدف پیش

[۳]- Regional Climate Model

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-17]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.7]

بینی سطح دریای خزر پرداخته اند. نیکولز و فارلی (Nicholls & Farley, 2013) به دنبال مدل سازی اقیانوس-جو زمین با استفاده از آخرین نسل از مدل ها بوده است. حوضه آزمایشی این مطالعه دریای خزر است که در آن پیش بینی تغییرات سطح آب روند تاریخی تا ۱۵ سانتیمتر در سال دیده می شود. کرونبرگ و همکاران(Krooneberg et al. 2008) در مورد تغییرات سطح دریا در پنج مقیاس زمانی مختلف، با توجه خاص به ریشه های احتمالی در هر مورد بحث کرده است.. در تحقیق دیگر مارووِیچ و همکاران (Markovic et al, 2013) مدل سازی را با استفاده از مدل ECHAM5 انجام دادند . در بررسی مقایسه تغییرات دمایی نشان داد که خشک شدن هر دو دریای آرال و دریای خزر باعث افزایش متوسط دمای ماهانه هوا در تابستان و کاهش متوسط دما در زمستان خواهد شد. مقدار آن در حدود ۷ تا ۸ درجه سانتی گراد در هر فصل است، در حالیکه تغییرات روزانه بسیار زیاد می شود. اقتصادی و زاهدی (اقتصادی و زاهدی. ۱۳۹۰) در تحقیق خود تغییرات تبخیر و بارش در ۵ ایستگاه ساحل جنوبی دریای خزر برای سال های ۲۰۰۸ - ۱۹۹۳ مورد مطالعه قرار گرفته و عوامل مؤثر بر بارش، تبخیر و دما در این دوره زمانی تعیین گردیده است. آرپ و لروی (Arpe & Leroy. 2007) به تغییرات بارش در حوضه ولگا و اثر آن بر تراز آب دریای خزر پرداحته اند.

عمده مطالعات بر روی دریای خزر، ایجاد مدلی بر اساس داده سنجی تاریخی یک فاکتور آب و هوایی (باد ، کربن دی اکسید و تبخیر) بوده است . SimCLIM یک سیستم مدل سازی مبتنی بر کامپیوتر برای بررسی اثرات تغییرات اقلیمی در طول زمان و فضا است. این نرم افزار امکان بررسی خروجی مقادیر ریزگردانی شده تمام فاکتورهای موثر در تراز آب دریای خزر (دما، بارش، تبخیر، تشعشع خورشیدی، کربن دی اکسید، تغییرات زمین ساختی و فرسایش ساحلی) را بصورت گروهی و مجزا در منطقه دارد و از این نظر کم نظیر هست. اگرچه مدل SimCLIM با وضوح بیشتری عمل میکند، با این حال به عنوان یک چهارچوب مبتنی بر یک سیستم مفهومی در علم آب و هوا، نتایج روش های مختلف ارزیابی باید به نتایج قابل مقایسه با کیفیت منجر شود. در این تحقیق، پیش بینی تغییرات سطح دریای خزر و تغییرات آب و هوایی منطقه بر اساس روش آماری، دینامیکی و ترکیبی از این دو صورت پذیرفته است. و مهم اینکه در پیش بینی، جنبش عمودی زمین[۴]VLM نیز لحاظ شده است.

پیش بینی احتمال تغییرات اقلیمی ناحیه ساحلی جنوب خزر با تمرکز خاص به رویداد های شدید هواشناسی و آب و هوا شناسی به طور مستقیم با استفاده ازمدل وتعیین مقدار سطح نوسان آب دریا به منظور برنامه ریزی دقیق در بخشهای مختلف برای تصمیم گیرندگان سیاسی ، اقتصادی و ذینفعان محلی و همچنین تدوین راهبرد های مؤثردر تلفیق یافته های مدل اقلیم منطقه ای با داده های ماهواره ای و ارتفاع سنجی از جمله هدف های این مطالعه هست. و اینکه آیا پیش بینی سطح آب دریای خزر تحت سناریو های مختلف RCP ریز مقیاس شده توسط مدل SimCLIM رابطه معنا داری با واقعیت آینده دارد ؟

[۴]- Vertical Land Movement

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-17]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.7]

داده ها و روش کار

قلمرو محدوده مورد مطالعه، ساحل دریای خزر است. تحلیل و برآورد تغییرات اقلیم در ناحیه ساحلی دریای خزر، از طرفی بر مبنای پارامتر های اقلیمی و جریانات آبی آن درغالب مدل آماری اقلیم منطقه ای برای شبیه سازی وپیش بینی استفاده گردید و از طرف دیگر، بررسی تغییرات زمانی شیب ساحل دریای خزر با داده های ارتفاع سنجی ماهواره ای به منظور اندازه گیری نوسانات ارتفاع سطح دریا[۵](SSH) مورد بررسی گرفت. اساس ارتفاع سنجی بر پایه اندازه گیری فاصله از آنتن فرستنده ماهواره تا سطح لحظه‌ای آب است. بدین صورت می‌توان سطح لحظه‌ای آب (SSH) را به صورت تفاضل ارتفاع ژئودتیک ماهواره تا بیضوی(مداری) و فاصله اندازه‌گیری شده بدست آورد. اندازه گیری های موجود درقالب فایل های MGDR[۶] در آدرس های اینترنتی سازمان های NASA[۷] و NOAA[۸] موجود است. داده های اصلی جمع آوری SimCLIM با استفاده از روش شناسی جهانی پایه متغیرهای مختلف از مرکز تجزیه و تحلیل اطلاعات محیط زیست انگلستان CEDA[۹]، داده های بازنگری شده ناسا NASA و اداره ملی اقیانوس و جو ایالات متحده NOAA به دست آمده است. منابع داده ها بر اساس بهترین اطلاعات درباره کیفیت داده ها انتخاب شد. درون یابی متغیر مورد نیاز جهت بالا بردن وضوح آنها از طریق قابلیت نهادینه شده در افزونه مذکور، با استفاده از داده‌های شبکه‌بندی‌شده جهانی (بر اساس داده‌های دیدبانی ایستگاهی) و خروجی مدل‌های گردش عمومی، صورت می‌گیرد. بر خلاف داده های مکانی، داده های سایت بر اساس مناطق مدیریت نمی شود. همه داده های سایت براساس مختصات فضایی (طول و عرض جغرافیایی) بر روی دامنه جهانی تجسم می یابند. داده های سایت SimCLIM بر اساس مجموعه داده های روزانه از شبکه جهانی آب و هوای تاریخی GHCN[۱۰] ساخته شده است. این مجموعه داده در مرکز داده های اقیانوس اطلس ملی NCDC[۱۱] اداره ملی اقیانوس و جو زمین نگهداری می شود. از ۱۲ مدل گردش عمومی جو جهت پیش بینی تغییرات دما و بارش برای سال های ۲۰۳۰، ۲۰۶۰ و ۲۱۰۰ مدل سازی گردید. و در نهایت متغییرهای اقلیمی تولیدی، شامل حداکثر و حداقل دمای ماهانه و بارش ماهانه تحت سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 با سه مدل گردش عمومی ACCESS1 و BNU.ESM و INMCM4 از بین ۱۲ مدل که با واقیعت محاسبات دوره پایه۲۰۱۰-۱۹۸۱ همبستگی بهتری داشت برای پیش بینی تا سال ۲۱۰۰ مدل سازی شد.

همچنین از بین ۲۸ مدل گردش عمومی موجود با متغییر های افزایش سطح دریا در CMIP5، سه مدل CSIRO-MK36, CanESM2 و BCC-CSM1-1 در نرم افزار SIMCLIM جهت بررسی افزایش سطح دریای خزر تا سال ۲۱۰۰ استفاده شد. جهت بررسی توانایی و قابلیت مدل در پیش بینی، نتایج واقعی دوره ۲۰ ساله ۲۰۱۵-۱۹۹۵ با یافته های تحقیق مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت . نتایج مقایسه بدست آمده در مدل های اجرا شده با دقت متفاوت همبستگی معنی داری در سطح ۹۵ درصد حاصل شد. که نشان از واقعی بودن نتایج دارد. نتایج این مدل تنها تغییرات بالقوه سطح دریا را بیان می کندکه با توجه

[۵]- Sea Surface Height
[۶]- Merged Geophysical Data Records
[۷]- The National Aeronautics and Space Administration
[۸]- National Oceanic and Atmospheric Administration
[۹]- Center for Environmental Data Analysis
[۱۰]- Global Historical Climatology Network
[۱۱]- National Climatic Data Centre

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-17]
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.7]

به روند انتشار گاز های گلخانه ای در RCP4.5 و RCP8.5 تا سال ۲۱۰۰ بدست می آید تحقق یابد. اطلاعات بدست آمده توسط برنامه نباید تنها سناریو برای آینده منطقه باشد، بلکه یکی از متعدد مدل های است که می تواند تکامل یابد. آینده ممکن است بهتر یا بدتر از ارزیابی این دو سناریو باشد.

مطالعه حاضر از نرم افزار شبیه ساز آب و هوایی از شرکت climsystems است که اساسا بر مبنای روش لایه لایه بندی الگو انجام شده و شامل الگو های استاندارد (نرمال شده) و الگو های فضایی تغییرات علمی از مدل های بسیار دشوار و پیچیده ای که نیاز محاسباتی به مدل های سه بعدی اقلیم جهانی(GCM) با پیش بینی ها را دارد. طرح جهانی افزایش سطح آب دریا[۱۲](SLR) از ژنراتور سناریو های انتشار قابل پردازش است، با این حال پیش بینی های محلی SLR با استفاده از چند مدل گروه ساخته شده بر مبنای مدل گردش عمومی جهانی برای منطقه مورد مطالعه انجام شد. طرح ریزی SLR در منطقه مورد مطالعه برای ۲۰۳۰ و ۲۰۶۰ و ۲۱۰۰ برنامه ریزی شده است. تغییرات صفحات یخ فطبی و جریان های دریایی که تنها ۱٪ احتمال وقوع در شرایط فعلی محسوب می شود (DeConto & pollard, 2016) در این مطالعه لحاظ نشده است. مولفه حرکت عمودی زمین (VLM) همراه با انواع دیگر عوامل محلی در پیش بینی سطح آب دریا لحاظ شده است.

نرم افزار SimCLIM با توجه به هر یک از سناریو های انتشار (در مطالعه حاضر RCP4.5 و RCP8.5) پیش بینی های آینده را با استفاده از معادلات زیر محاسبه می نمایند (Bao,2015,84) :

GMTC[۱۳] * مقادیر استاندارد شده + حداکثر دمای پایه = حداکثر دمای آینده

GMTC * مقادیر استاندارد شده + حداقل دمای پایه = حداقل دمای آینده

(GMTC * مقادیر استاندارد * ۱) * بارش پایه = بارش آینده

با توجه به روش الگو ی مقیاس سازی[۱۴]برای یک مدل GCM داده شده باید الگوی تغییر پاسخ خطی یک متغییر آب و هوا به تغییرات درجه حرارت میانگین جهانی ارائه شده GCM از هر یک از خروجی های شبیه سازی انتشار گازهای گلخانه ای به دست آید. روشی که SimCLIM برای ریزگردانی متغیرهای اقلیمی استفاده می‌کند روشی تحت عنوان pattern scaling است که یک روش خطی آماری برای تعمیم ویژگی‌های دوره‌پایه برای برآورد تغییرات احتمالی آن در آینده است. (yin,2013)

$$\Delta V^{*}_{yij} = \Delta T_y \,.\, \Delta V'_{ij} \qquad \text{شماره (۱)}$$

$$\Delta V'_{ij} = \frac{\sum_{y=1}^{m} \Delta T_y . \Delta V_{yij}}{\sum_{y=1}^{m} (\Delta T_y)^2} \qquad \text{شماره (۲)}$$

Y = سال یا دوره

j = ماه

I = برای یک شبکه خاص در سلول

[۱۲] Sea level rise
[۱۳] Global Mean Temperature Change
[۱۴] pattern scaling

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-17]
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.7]

V= متغییر آب و هوا

ΔT = تغییر دمای میانگین سالانه جهانی

Δ Vij = مقدار الگوی محلی تغییر

ΔV = آنومالی متغیر مورد نظر است که به صورت میانگین انحراف دوره مورد بررسی نسبت به میانگین دوره پایه محاسبه می‌شود.

Δ Vyi = ناهنجاری شبیه ساز GCM یا انحراف شبیه ساز GCM با استفاده از رگرسیون خطی حداقل مربعات برازش شده است.

m = تعداد دوره استفاده شده از ۲۱۰۰ - ۲۰۱۰ است که در مجموع ۱۸ دوره و میانگین ۵ ساله یک دوره می باشد.

نرم افزار از ابزارهای مفیدی برای نمایش توزیع آماری پدیده ها در فضا و خوشه های متمرکز بر اساس شاخص های آماری موران محلی و آماره گتیس – ارد جی استفاده می کند .

شاخص انسلین موران محلی[۱۵] نشان می دهد که کجا مقادیر زیاد یا کم در فضا به طور خوشه ای توزیع شده اند و همچنین مناطقی که تداوم فضایی ندارند یا ناخوشه ها را هم مشخص می کند (عسگری ، ۱۳۹۰، ۵۲).

$$I = \frac{(x_i - \bar{x})}{s_i^2} \sum_{j=1 \; j \neq i}^{n} w_{i,j}(x_i - \bar{X}) \qquad (۳)$$

در فرمول بالا، X_i خصیصه عارضه، $\bar{x}$ میانگین خصیصه عارضه کل منطقه، w_{ij} وزن فضایی بین هر سلول I و سلول همسایه اش j ، اندازه واریانس منطقه s_i است.

آماره گتیس ارد جی[۱۶]تداوم فضایی خوشه ها را محاسبه می کند. نشان می دهد که در کجای داده ها مقادیر زیاد یا کم خوشه بندی شده اند. به هر عارضه در چها چوب عوارضی که در همسایگی اش قرار دارند نگاه می کند و گسترش فضایی و پیوستگی خوشه ها ی متمرکز شناسایی می کند (عسگری ،۱۳۹۰، ۷۵) .

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^{n} w_{i,j}x_j - \bar{x} \;\; \sum_{j=1}^{n} w_{i,j}}{s\sqrt{\frac{[n\sum_{j=1}^{n} w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^{n} w_{i,j})^2]}{n-1}}} \qquad (۴)$$

سناریو های افزایش سطح جهانی آب دریا به آسانی در دسترس هستند و به طور منظم توسط IPCC به روز می شوند. تا به امروز، اکثر ارزیابی ها، تاثیر گذاری و سازگاری ساحلی، تغییرات منطقه ای در سناریو های سطح دریا را نادیده گرفته اند. ارزیابی الگو های منطقه ای توسعه حرارتی در SRES[۱۷] با استفاده از روش الگوی مقیاس سازی با فرمول زیر استاندارد شده با تقسیم الگوی فضایی متوسط تغییر برای یک دوره مشخص در آینده با میانگین جهانی گسترش حرارت برای همان دوره

[۱۵] Anselin local moran
[۱۶] Getis Ord Gi
[۱۷] Special Report on Emissions Scenarios

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-17]
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.7]

است. بنابر این الگوی سطح استاندارد شده در سطح دریا برابر هر واحد میانگین گرمای جهانی هست. معادله زیر، جهت محاسبه الگو های صعودی سطح دریا به سانتی متر به کار می رود.(Yin,2013)

$$DZOS_{ij} = \{(ZOS_{ij} - ZOS_{ij\ ۱۹۸۱}) + \Delta GSLR\}/\Delta GSLR \quad (۵)$$

$$\Delta GSLR = ZOSTOGA_{۲۱۰۰} - ZOSTOGA_{۱۹۸۱} \quad (۶)$$

ΔGSLR میانگین جهانی سالانه تغییرات سطح دریا به دلیل گسترش حرارتی

ZOSTOGA میانگین جهانی تغییرات دما در سطح دریا است.

ZOS ارتفاع سطح دریا

i , j موقعیت عرض و طول جغرافیایی

در تحقیق حاضر، طول و عرض جغرافیای ناحیه مورد مطالعه ۰/۱ × ۰/۱ درجه تعیین گردید. تغییر در ارتفاع آب دریا در هر ماه با تغییر در میانگین جهانی گرمایش سطح دریا بر پایه روش الگوی مقیاس سازی می باشد. ارتفاع سطح دریا ها از GCM ها شامل، تغییرات منطقه ای به علت تغییرات جرم و جنبش آب، گردش حرارتی آب و گردش باد است. اما تاثیرات جزر و مدی را شامل نمی گردد. مقدار تغییرات افزایش سطح دریا یک سانتی متر در سال است و هنگامی که SLR محلی باشد و مقدار آن بیشتر از مقدار جهانی باشد ۱ ‹ X و اگر کمتر از مقدار جهانی باشد ۱ › X است. یک عنصر مهم در محاسبه افزایش سطح دریا برای پیش بینی، بررسی تغییرات در طول سالها است که می تواند تحت تاثیر تغییرات آب و هوایی قرار گیرد و با مقایسه آن ماه با بالاترین سطح فعلی و با بالاترین سطح آینده در نظر گرفته شده است.

نرم افزار SimCLIM پارامتر ورودی برای شبیه سازی موقعیت ساحلی آینده را دارا می باشد و تحت عنوان Coastal Erosion مطرح می باشد. لازم به ذکر است که در دریای خزر فاکتور جزر و مد لحاظ نشده است. برآورد سطح دریا و موقعیت ساحلی تحت سناریوی RCP 8.5و RCP4.5 با استفاده از سه مدل گردش عمومی CSIRO-MK36 ، CanESM2 و BCC-CSM1-۱ برای منطقه مورد مطالعه انجام شده است.

در مدیریت ساحلی، شاید بهترین قاعده شناخته شده، قانون برون (Bruun) است. این قانون میزان پسرفت خط ساحلی در نتیجه افزایش سطح آب دریا را نشان می دهد. شبیه سازی تغییرات خط ساحلی در سیستم های ساحلی بر مبنای قانون برون استفاده شده است. (Clim systems, 2017, 192)

$$Ceq = ZI / (h + d)$$

قانون برون با کمی اصلاح برای نشان دادن زمان پاسخ و فاکتور های تصادفی در مدل به صورت زیر ارائه شده است.

$$dc / df = (Ceq – C) / \tau + s$$

برای راه اندازی مدل ساحلی مقادیر زیر بر اساس ویژگی های سواحل خزر در لینک پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی (INIO, 2015) تعیین گردید.

Ceq تغییر تعادل در موقعیت خطوط ساحلی

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-17]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.7]

τ زمان پاسخ خط ساحلی: تغییر سالانه در خط ساحلی وجود دارد که بر روی ۵ تنظیم شد. یعنی تغییرات در خط ساحلی یک پنجم از تغییرات پتانسیل در وضعیت تعادل است.

l فاصله: فاصله متوسط ژرفای که درآن رسوبات دریایی به طور موثر تا ساحل وجود دارد. ۱۵۰۰ متر (شکل ۱)

h عمق مبادله مواد: اثر موجهای بالا در عمق ۱۰ متر

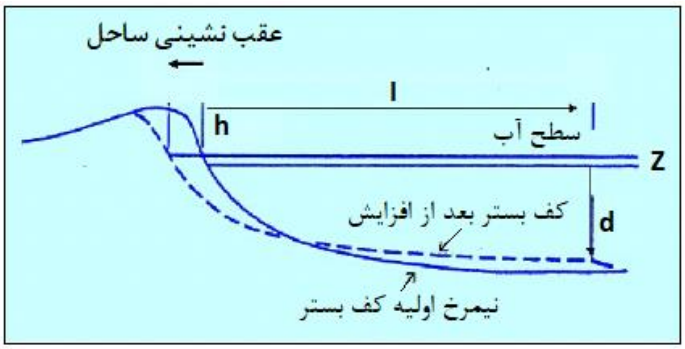
d ارتفاع تپه: ارتفاع تپه جلوی از سطح متوسط دریا ۲ متر

t زمان (سال)

C موقعیت ساحلی به متر نسبت به t = 0

S فاکتور فرسایش که به طور تصادفی تولید شده است.

جنبش عمودی زمین: روند بلند مدت داشته و ناشی از عرضه مواد و انتقال رسوب به دلیل فرسایش می باشد. روند جنبش عمودی خزر از نرم افزار esri اسخراج شد که مقدار ۲ میلی متر در سال فرو نشینی است



شکل۱: پایه مدل تاثیر ساحلی Bruun

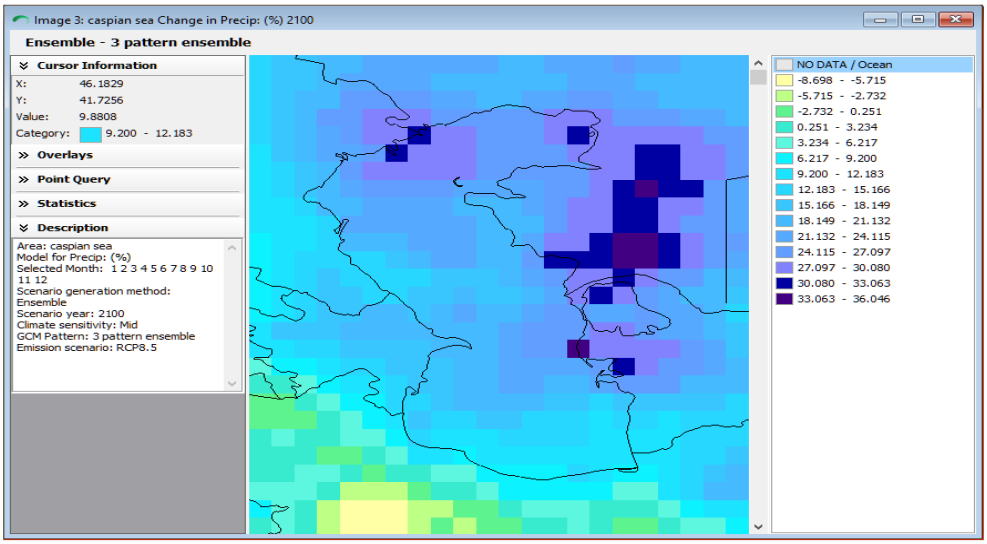
شرح و تفسیر نتایج

داده های دما و بارش برای بررسی سطح دریای خزر و ساحل آن در سه مدل گردش عمومی ACCESS1 و BNU.ESM و INMCM4 که با واقیعت محاسبات دوره پایه همبستگی بهتری داشت انتخاب گردیده است. این محاسبات برای منطقه مورد مطالعه با قدرت تفکیک ۰/۱ درجه جغرافیایی و دوره آماری ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ میلادی به عنوان دوره اقلیمی پایه لحاظ شده است و داده های آن مطابق قدرت تفکیک نرم افزار مورد نظر برای ناحیه خزر در دسترس است. پیش بینی بارش برای حوضه آبگیر دریای خزر تحت دو سناریوی RCP4.5 که تاکید بر انرژی پاک و کارآمد دارد و در این سناریو گرمایش همچنان ادامه داشته متوسط ۲/۵ درصد که حالت خوشبینانه آن است و در سناریوی RCP8.5 ناهنجاری هایی دمایی با متوسط ۶/۵ درصد تا سال ۲۱۰۰ را نشان می دهد (شکل ۴) و این حالت بدبینانه ترین حالت در بین سناریو ها را نشان می دهد. شکل ۲ پیش بینی درصد تغییرات بارش نسبت به میانگین پایه طی سال های ۲۱۰۰ – ۱۹۸۱ را نشان می دهد. مقدارمیانگین بارش پیش بینی شده برای سه دوره ۲۰۳۰، ۲۰۶۰ و ۲۱۰۰ و درصد افزایش یا کاهش نسبت به میانگین دوره پایه ۲۱۰۰-۱۹۸۱ در هر سه دوره روند افزایشی خواهد داشت. بیشترین درصد تغییرات بارش برای سال های ۲۰۳۰، ۲۰۶۰ و ۲۱۰۰به ترتیب ۸/۴ ، ۱۸/۸ و ۳۶ درصد است، که نشان از افزایش آستانه های بارش در هر سه دوره را دارد. در شکل ۲ تغییرات بارش پیش بینی

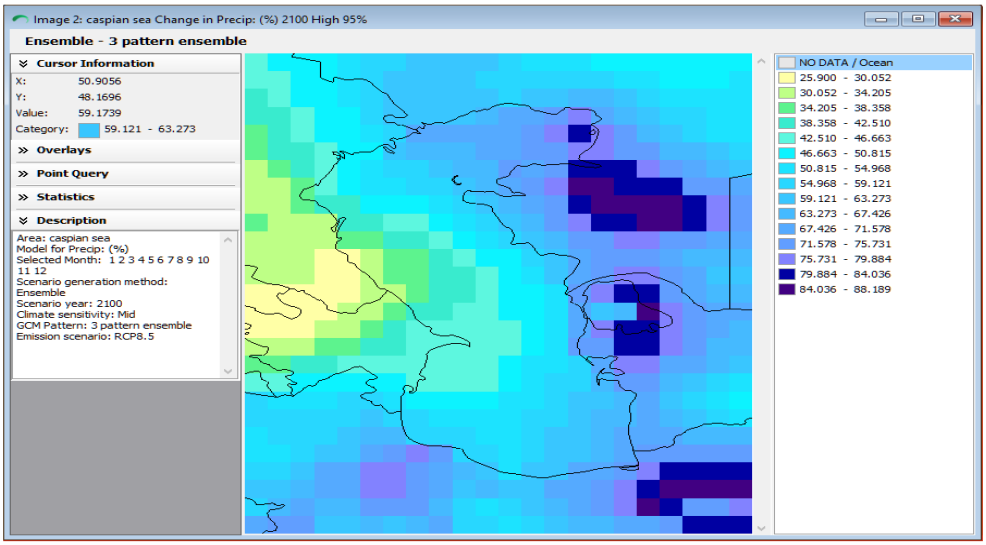
[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-17]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.7]

شده برای سال ۲۱۰۰ و درصد افزایش یا کاهش میانگین بارش نسبت به مقدار آن در دوره پایه در RCP8.5 ارائه شده است. بخش جنوبی حوضه با تغییرات ۲- تا ۲۲ درصد مواجه خواهند شد. با استفاده از نرم افزار، آستانه های فرین[۱۸]محاسبه گردید. آستانه های فرین در این مطالعه نشان دهنده درصد تغییر مقادیر فرین نسبت به دوره پایه ۲۱۰۰-۱۹۸۱ می باشند، که نشان دهنده درصد مجموع بارش سال های با میزان بارش صدک ۹۵ دوره پایه می باشد. سهم ضریب تغییرات بارش ها ی صدک ۹۵ جهت تحلیل و بررسی آستانه ها در شکل پیش بینی شده است.



شکل ۲: پیش بینی توزیع مکانی درصد تغییرات بارش نسبت به میانگین پایه (۲۱۰۰-۱۹۸۱) RCP8.5



شکل ۳ : پیش بینی ضریب تغییرات بارش حوضه دریای خزر(۲۱۰۰-۱۹۸۱) RCP 8.5

[۱۸]- Extreme Event

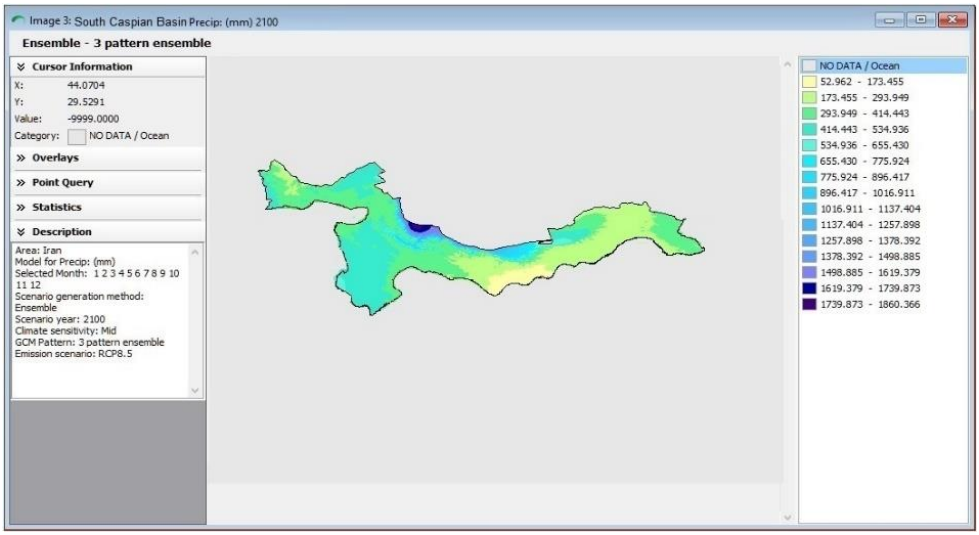
[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-17]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.7]

برای داده های آینده از سه الگوی اقلیمی از پروژه CMIP5 با RCP8.5 ضریب تغییرات بارش با آستانه صدک ۹۵ درصد برای سال ۲۰۳۰ بین ۶ درصد تا ۲۰/۶ درصد و برای ۲۰۶۰ بین ۱۳/۴ درصد تا ۴۵/۹ درصد پیش بینی شد. برای سال ۲۱۰۰ نرخ تغییرات بارش برای کل حوضه آبگیر خزر با احتمال ۹۵ درصد مثبت است (شکل ۳) و مقدار آن از ۲۵ درصد تا ۸۸ درصد متغییر است. با توجه به شکل ۲و ۳ در ناحیه شمال شرق و شرق درصد تغییرات بارش نسبت به میانگین پایه بین ۲۱ تا ۳۶ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. ضریب تغییرات۷۱/۲۵ تا ۸۸/۲ درصد بیانگر توزیع زمانی بارش با تراکم نامنظم و اختلاف مکانی بیشتر بارش در این ناحیه نسبت به دیگر نواحی است. در ناحیه شمال، شمال غرب، یعنی حوضه رودخانه ولگا و اطراف کوههای اورال، درصد تغییرات بارش بین ۲۱ تا ۳۰ درصد افزایش و متوسط ضریب تغییرات در این ناحیه بین۴۲/۵ تا ۶۷ درصد پیش بینی شد. این دو منطقه بیشترین درصد افزایش بارش را خواهند داشت. دلیل افزایش بارش در ناحیه شمال شرق، شمال و شمال غرب افزایش نوع گردش C براساس طبقه بندی Vangengeim- Gris است این نوع گردش حرکت عمودی یا نصف النهاری دارد و از طرف دریا های روسیه و اروپا منشاء می گیرد و منجر به چرخه سیکلونی در حوضه رودخانه ولگا، بارش زیاد و دمای پایین می شود. (Sidorenkov et al., 2007,553). ناحیه کوهستانی قفقاز در غرب با بارش ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ میلی متر تا سال ۲۱۰۰ بین ۶/۲ تا ۲۱ درصد افزایش بارش پیدا خواهد کرد و متوسط ضریب تغییرات این ناحیه ۲۵/۹ تا۳۸/۵ درصد پیش بینی شد. این ناحیه کمترین ضریب تغییرات را دارد که ناشی از پراکندگی نسبتا مناسب بارش در طول سال است. کمترین درصد افزایش بارش مربوط به منطقه جنوبی حوضه آبخیز خزر است. این منطقه به سه ناحیه کرانه ساحلی، نواحی شمال غرب و البرز میانی و ناحیه شمال شرق تقسیم می شود. تا سال۲۱۰۰ در کرانه ساحل بین ۹ تا ۱۵ درصد افزایش خواهد داشت و ضریب تغییرات این ناحیه ۵۰ تا ۶۷ درصد پیش بینی را نشان می دهد. در بخش های از حوضه آبگیر ارس و سفیدرود بارش نسبت به دوره پایه افزایش ناچیز و در بخش های دیگر بارش کاهش پیدا خواهد کرد و بین ۰/۵ تا ۸/۷- درصد و ضریب تغییرات ۵۰ تا ۸۰ درصد خواهد بود. ناحیه شمال شرق ایران بیشترین درصد افزایش باران در حوضه جنوبی خزر با ۱۸ تا ۲۱ درصد افزایش به همراه بیشترین ضریب تغییرات یعنی ۷۰ تا ۸۸ درصد را خواهد داشت. در این ناحیه، الگوی ناهنجار و نامنظمی بر آستانه های بارش حاکم خواهد شد و خطر وقوع سیلاب ها در منطقه بیشتر خواهد گردید. در شکل۴ درصد تغییرات به بارش سالانه تبدیل شده است. برای داده های دمای آینده منطقه خزر، از سه الگوی اقلیمی ACCESS1 و BNU.ESM و INMCM4 از پروژه CMIP5 با RCP8.5 یعنی درصد تغییرات امواج گرمایی در بیشترین شرایط انتشار گازهای گلخانه ای و گرمایش ناشی از آن استفاده شد. افزایش دما برای ۲۰۳۰ بین ۰/۹ تا ۱/۴درصد و برای ۲۰۶۰ بین ۲/۲ تا ۳/۱ درصد پیش بینی گردید.

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-17]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.7]

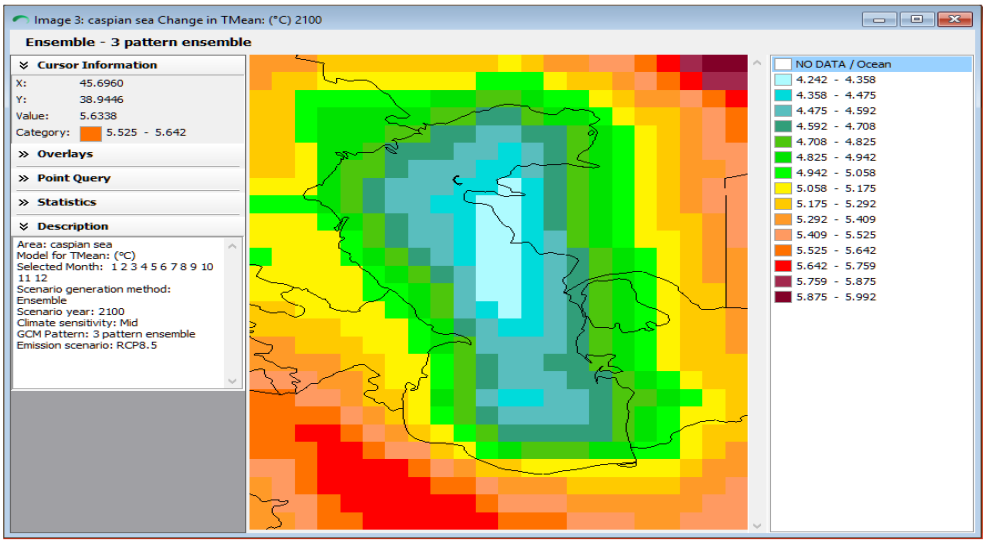


شکل۴ : پیش بینی بارش سالانه حوضه جنوب خزر سال ۲۱۰۰

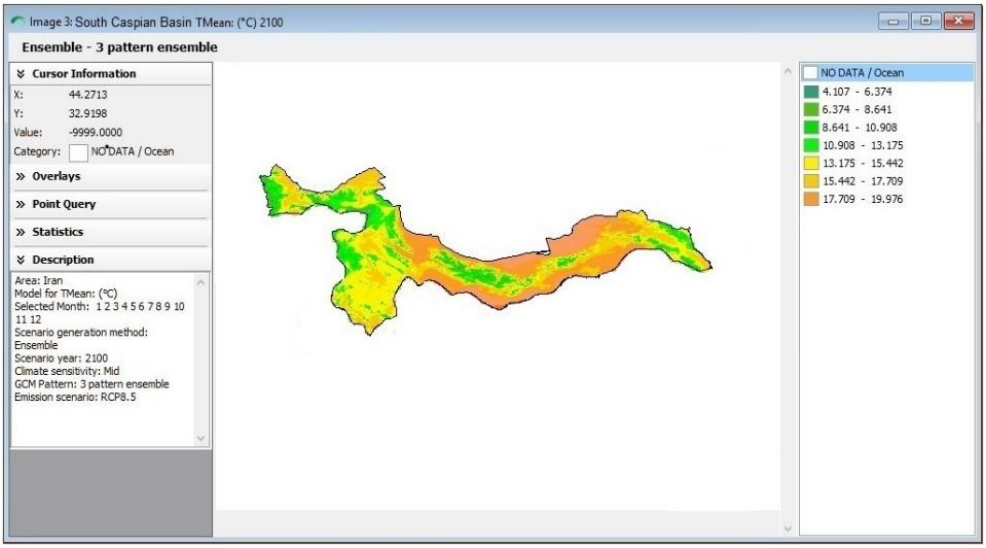
در شکل ۵ نتایج بدست آمده از افزایش دما در سناریوی RCP ۸/۵ برای ۲۱۰۰ برابر ۴/۲ تا ۵/۹ درصد تغییر در الگو های مدل بوده است. حوضه آبگیر جنوب دریای خزر ۵ تا ۵/۷ درصد تغییرات افزایش دارند. به دلیل ماهیت و خواص فیزیکی آب، الگوی تغیرات دما روند منظمی را از دریاچه به سمت اطراف خواهد داشت. کمترین مقدار مربوط به سطح دریاچه و هر چه از دریاچه دور می شویم دما افزایش پیدا خواهد کرد. در شکل ۶ درصد تغییرات در میانگین درجه حرارت سالانه مناطق آمده است. تغییرات با آستانه صدک ۹۵ برای ۲۱۰۰ کل حوضه نرخ تغییرات بین ۵ تا ۷/۱ درصد است. بیشترین مقدار تغییرات مربوط به شمال غرب ایران و شمال قزاقستان است (شکل ۷). میانگین درصد تغییرات دمای هر دوره نسبت به میانگین دوره قبل بیشتر است و بیشترین میانگین مربوط به دوره ۲۰۶۰ تا ۲۱۰۰ است. به عبارت دیگر در سال های آینده رخداد امواج گرمایی بیشتر خواهد بود. با این حال بیشترین ضریب تغییرات در ناحیه جنوب غرب شامل حوضه رودخانه ارس و سفیدرود و ناحیه شمال قزاقستان پیش بینی شد، (حدود ۷ درصد).

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-17]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.7]



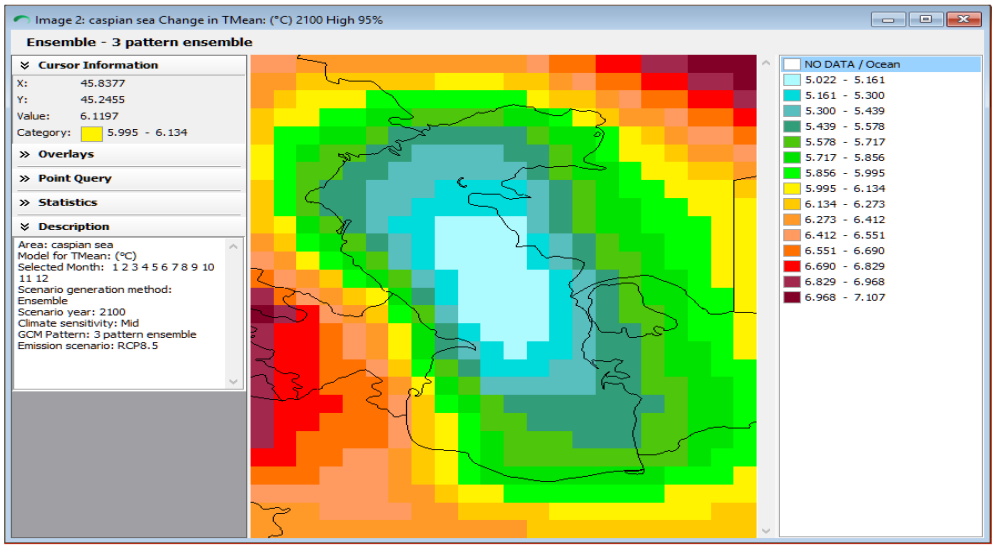
شکل ۵ : پیش بینی توزیع مکانی درصد تغییرات دمایی نسبت به میانگین پایه (۲۱۰۰-۱۹۸۱) RCP8.5



شکل۶ : پیش بینی میانگین دمای حوضه جنوبی دریای خزر سال ۲۱۰۰

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-17]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.7]

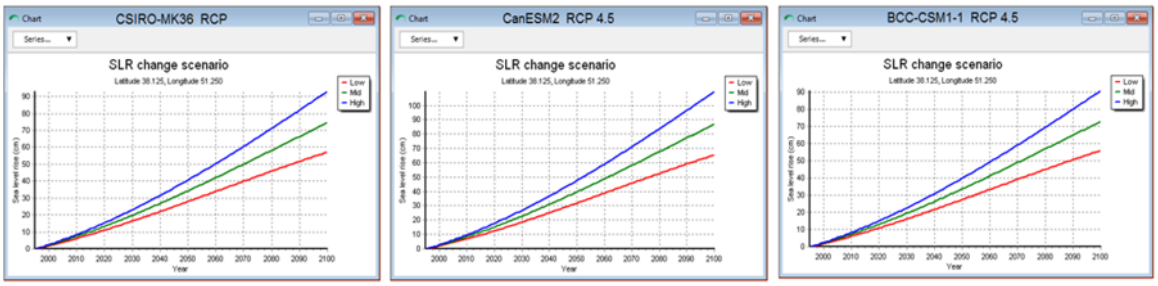


شکل ۷ : پیش بینی ضریب تغییرات دمای حوضه دریای خزر(۱۹۸۱-۲۱۰۰) RCP 8.5

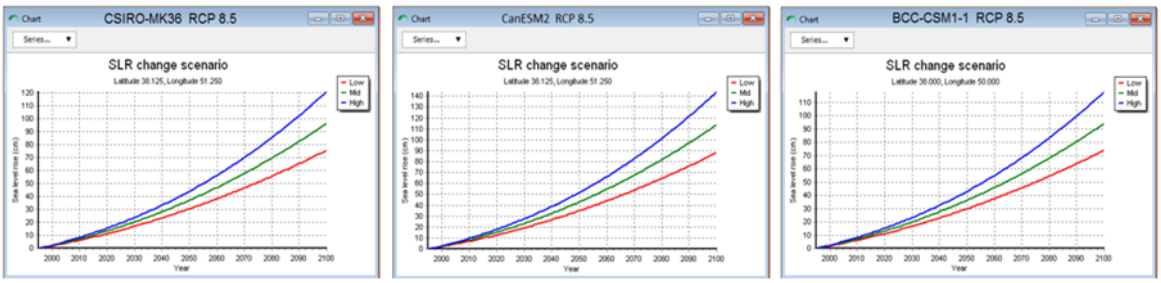
هر سناریوی انتشار و موقعیت جغرافیایی، طیفی از پیش بینی هایی را در بر می گیرد که محدوده احتمالی گستره افزایش دریا را دارند و این محدوده به عنوان احتمال رخداد بیان می شود. احتمال در یک حوضه بزرگ معمولا به عنوان شانس یا احتمال وقوع رخداد در نظر گرفته می شود. در هر سناریو افزایش سطح آب دریا تحت آب و هوای خاص با توجه به داده های قابل مشاهده با احتمال های مختلفی می تواند پیش بینی شود. پیش بینی با احتمال متوسط ۵۰ درصد در وسط پیش بینی هاست، نیمی از پیش بینی ها پائین تر است و نیمی از آنها بالاتر که می توا ند به عنوان سناریوی احتمالی با توجه به وضعیت دانش کنونی شناخته شود. پروسه دیگر صدک بالا صدک ۹۵ است که تنها ۵ درصد احتمال دارد سطح دریا از آن بالاتر رود و در اینجا به عنوان بدترین حالت در نظر گرفته شده است. دیگر پروسه صدک پائین ۵ است که ۹۵ درصد احتمال دارد سطح دریا از آن بالاتر رود. پیش بینی افزایش سطح دریا برای سناریوی RCP 4.5 و RCP 8.5 با احتمال وقوع ۵٪ ، ۵۰٪ و ۹۵٪ در شکل ۸ و ۹ نشان داده شده است. این پیش بینی ها برای راست آزمایی با وضعیت کنونی دریای خزر برای دوره پایه ۱۹۹۵-۲۰۱۵ مطابقت داده شده است و نتیجه در شکل ۱۰ قابل رویت است و نتایج با واقعیت حال حاضر همخوانی دارد. پیش بینی ها با صدک ۵ ، ۵۰ و ۹۵ با عنوان حساسیت کم بارنگ قرمز، حساسیت متوسط با رنگ سبز و حساسیت بالا با رنگ آبی در شکل آمده است. با توجه به عدم قطعیت قابل ملاحظه ای که در تولید پیش بینی ها و پویایی آینده آب و هوا وجود دارد، معقول است که محدوده درصد بالای پیش بینی ها را در نظر بگیریم. در ارزیابی، احتمال صدک ۵۰ بعنوان مرز میانه و احتمال صدک ۹۵ بعنوان مرز بالایی احتمال انتخاب گردیده است. بنا بر این از پیش بینی های واقع شده بین حد میانه و حد بالایی احتمال به ارزیابی خطر برای برنامه ریزی های بسیار آسیب پذیر و خطرناک در نظر گرفته شده است. نتایج حاصل از پیش بینی برای هر سناریو بطور جداگانه در جدول شماره ۲ و ۳ برای سالهای ۲۰۳۰ ، ۲۰۶۰ و ۲۱۰۰ آورده شده است. جدول شماره ۱ تغییرات سطح آب دریا در بهترین سناریوی انتشار گاز های گلخانه ای را نشان می دهد که پیش بینی بالا برای روند کل در سه الگوی GCM برابر با ۹۳/۰۷ ، ۱۰۹/۸۷ و ۹۰/۰۶ سانتی متر ودر جدول شماره ۲ در بیشترین شرایط انتشار گازهای گلخانه ای و گرمایش ناشی از آن به دلیل تغییرات الگوهای بارش حوضه خزر که در بالا به آن اشاره شد روند

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-17]
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.7]

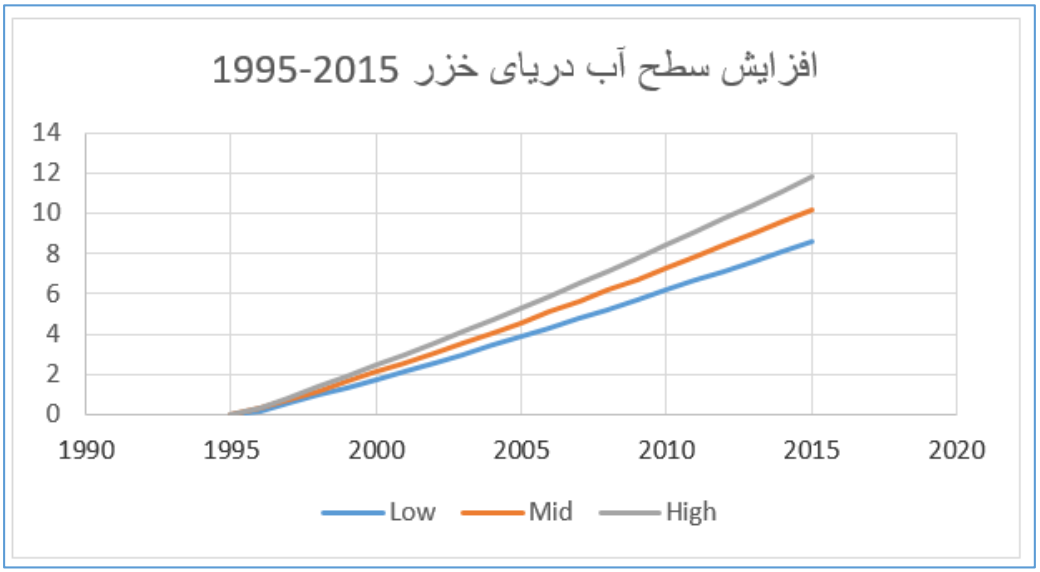
افزایشی سطح دریا در سه الگوی GCM برابر با ۱۲۰/۹۲ ، ۱۴۴/۲۰ و ۱۱۹/۶۷ سانتی متر پیش بینی شد. تغییرات سطح با لحاظ کردن حرکت عمودی زمین با ۲ میلی متر در سال که ناشی از فرو نشینی کف گودال خزر است برای هر دو سناریو بدست آمده است. در کل، میانگین سالانه سطح دریا بدون در نظر گرفتن تغییرات فصلی بطور منظم در حال افزایش



شکل ۸: پیش بینی تغییرات سطح آب دریا در سناریوی RCP4.5



شکل ۹: پیش بینی تغییرات سطح آب دریا در سناریوی RCP8.5



شکل۱۰ : تغییرات سطح دریای خزر ۲۰۱۵-۱۹۹۵

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-17]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.7]

است و مقدار آن با فاصله اطمینان ۹۵ درصد ۱/۲۲ سانتی متر در سال برای روند برآورد بالا در سناریوی RCP 8.5 و ۰/۹۳ سانتی متر در سناریوی RCP 4.5 محاسبه گردید. با توجه به روند نشان داده شده با استفاده از گروه مدل های گردش عمومی جو که پارامترهای تغییرات سطح را نشان می دهند تا سال ۲۱۰۰ دریای خزر در سناریوی RCP4.5 ۰/۹۹ درصد از مقدار جهانی و در حالت سناریوی P8.5۵RC برای سال ۲۱۰۰ تغییرات برابر با ۱/۲۲ درصد از مقدار جهانی افزایش سطح خواهد داشت یعنی ۲۲ درصد بیشتر از میانگین جهانی. نتایج پیش بینی شده سال های ۲۱۰۰-۱۹۸۱ با نتایج واقعی دوره ۲۰ ساله ۱۹۹۵-۲۰۱۵ در SIMCLIM مقایسه گردید. نتایج حاصل از دوره پایه در سه سطح حساسیت کم ، متوسط و بالا ۸/۴ ، ۱۰/۱ و ۱۱/۸ سانتی متر افزایش را نشان می دهد (شکل ۱۰).که از مقایسه آن با نتایج پیش بینی مدل، همبستگی معنی داری در سطح ۹۵ درصد روئیت شد. سطح آب تالاب شبه جزیره سیاهکوه (منقشلاق) در قزاقستان و تالاب قره بغاز در ترکمنستلان از دریای خزر کمتر است . بالا آمدن سطح آب دریای خزر در ابتدا با این تالاب ها سرریز می شود و سپس به اثر خود را در سواحل کناری نشان می دهد. برخلاف نظر عامه این تحقیق افزایش سطح آب دریای خزر را بیان می کند. مشاهدات پیوسته سالانه گوگل مپ ۲۰۱۷-۱۹۸۴ بخوبی افزایش سطح را که به این تالاب ها سرازیر شده است را نشان می دهد و به همین دلیل در سواحل جنوبی مشهود نیست. البته در برخی سواحل پست مانند کناره های جنوب غرب (شهر آستارا) افزایش آب دریا قابل روئیت است (شکل۱۵و۱۶).

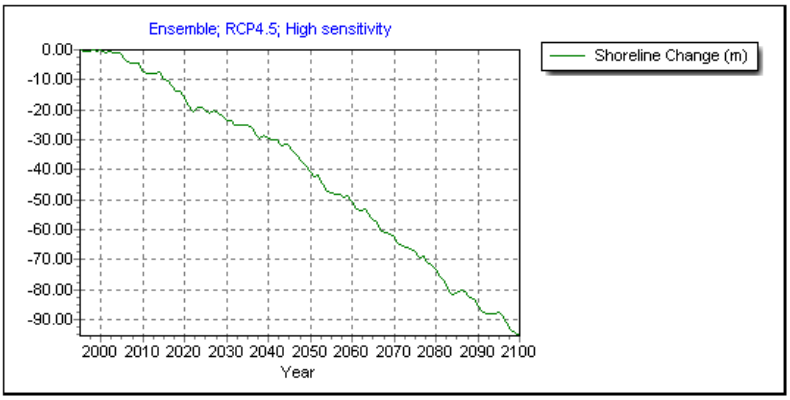
تغییرات ساحلی و سیل گرفتگی در منطقه مطالعه انتظار می رود که پیشروی آب دریا و فروپاشی ساحل ناشی از بالا آمدن و امواج در خط ساحلی افزایش یابد و در نتیجه ناحیه ساحلی را از بین ببرد. در جدول ۳ به بازه زمانی افزایش سطح دریا و پیشروی دریا اشاره گردیده است.همانطور که در شکل ۱۱ ملاحظه می شود، در بهترین حالت که همان سناریوی RCP4.5 می باشددر سال ۲۰۳۰ حدود ۲۳ متر پیشروی در سال ۲۰۶۰ این مقدار به ۵۲ متر پیشروی آب تغییر خواهد کرد. در بد ترین حالتRCP 8.5 ۲۰۳۰ حدود ۲۳ متر از ساحل فعلی کاسته خواهد شد و در سال ۲۰۶۰ مقدار کاهش برابر ۵۳ متر و در سال ۲۱۰۰ این مقدار برابر با ۱۱۷ متر از ساحل فعلی پیشروی به سمت خشکی خواهد داشت. به عنوان نمونه صحت نتایج پیشروی آب دریا با جستجو در گوگل مپ از سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۷ برای آستارا قابل روئیت است (شکل ۱۳و ۱۴). نمودار نشان می دهد تفاوت بین دو سناریو در سال ۲۰۶۰ به۳متر و در ۲۱۰۰به ۱۲متر خواهد رسید. بالطبع ، این مقدار پیشروی در سواحل کم عمق و با ُشیب خیلی کم، بیشتر می باشد. آنچه مسلم است در هر دو سناریو سرتا سر سواحل دریای خزر دچار پیشروی آب و تخریب قرار خواهند گرفت و مطمئنا برخی نواحی در سواحل جنوبی تحت تاثیر بیشتری قرار می گیرند. همانطور که در شکل ۱۱و ۱۲ دیده می شود به دلیل دور بازگشت یخبندان های شدید و پوشش یخ سطح دریاچه و سیلاب های بیشتر و بالعکس نوسان های اندک ۵ تا ۱۰ ساله را در منحنی پیشروی خط ساحلی ایجاد کرده است.

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-17]

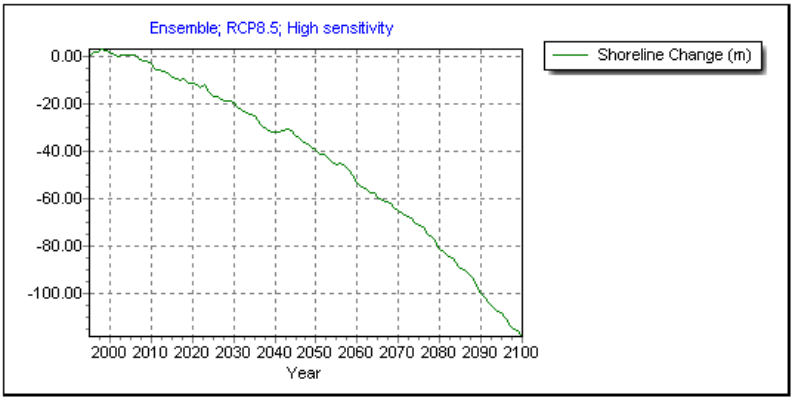
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.7]

جدول شماره ۳ پیشروی خط ساحلی به متر

	سال	افزایش سطح آب دریا از CimCLIM به سانتی متر	خط ساحل به متر
A1FI	۲۰۳۰	۲۶	۲۳
	۲۰۶۰	۵۹	۵۳
	۲۱۰۰	۱۲۸	۱۱۷
B1	۲۰۳۰	۲۵	۲۳
	۲۰۶۰	۵۳	۵۰
	۲۱۰۰	۹۹	۹۵



شکل ۱۱ : کاهش خط ساحلی تحت سناریوی RCP 4.5



شکل ۱۲: کاهش خط ساحلی تحت سناریوی RCP 8.5

با توجه به عدم همخوانی لایه های خط ساحل(منحنی میزان)کرانه با واقعیت ، لایه مذکور در نرم افزار گوگل ارث ایجاد و از طریق نرم افزارglobal mapper به شیب فایل تبدیل شده (جهت استفاده Arcgis) و گام های توپوگرافی هم۰/۱ متر هست یعنی ارتفاع ۰/۱ به ۰/۱ متر اضافه می شود. با توجه به افزایش ارتفاع آب دریا در بازه زمانی تعریف شده و محاسبه آن در نرم افزار ArcMAP منحنی میزان های متناظر با افزایش سطح آب جهت سالهای ۲۰۳۰ و ۲۰۶۰ و ۲۱۰۰ به تفکیک انتخاب ومنحنی های مذکور با توجه به حالت خوشبینانه و بدبینانه بصورت لایه های مجزا ایجاد و خروجی عکس گرفته شد. چون نقشه پیشروی آب دریای کل ناحیه خزر در یک نقشه کوچک مقیاس نمی تواند جزئیات را بخوبی نشان دهد چهار ناحیه آستارا ، کیاشهر ، بابلسر و تالاب گمیشان

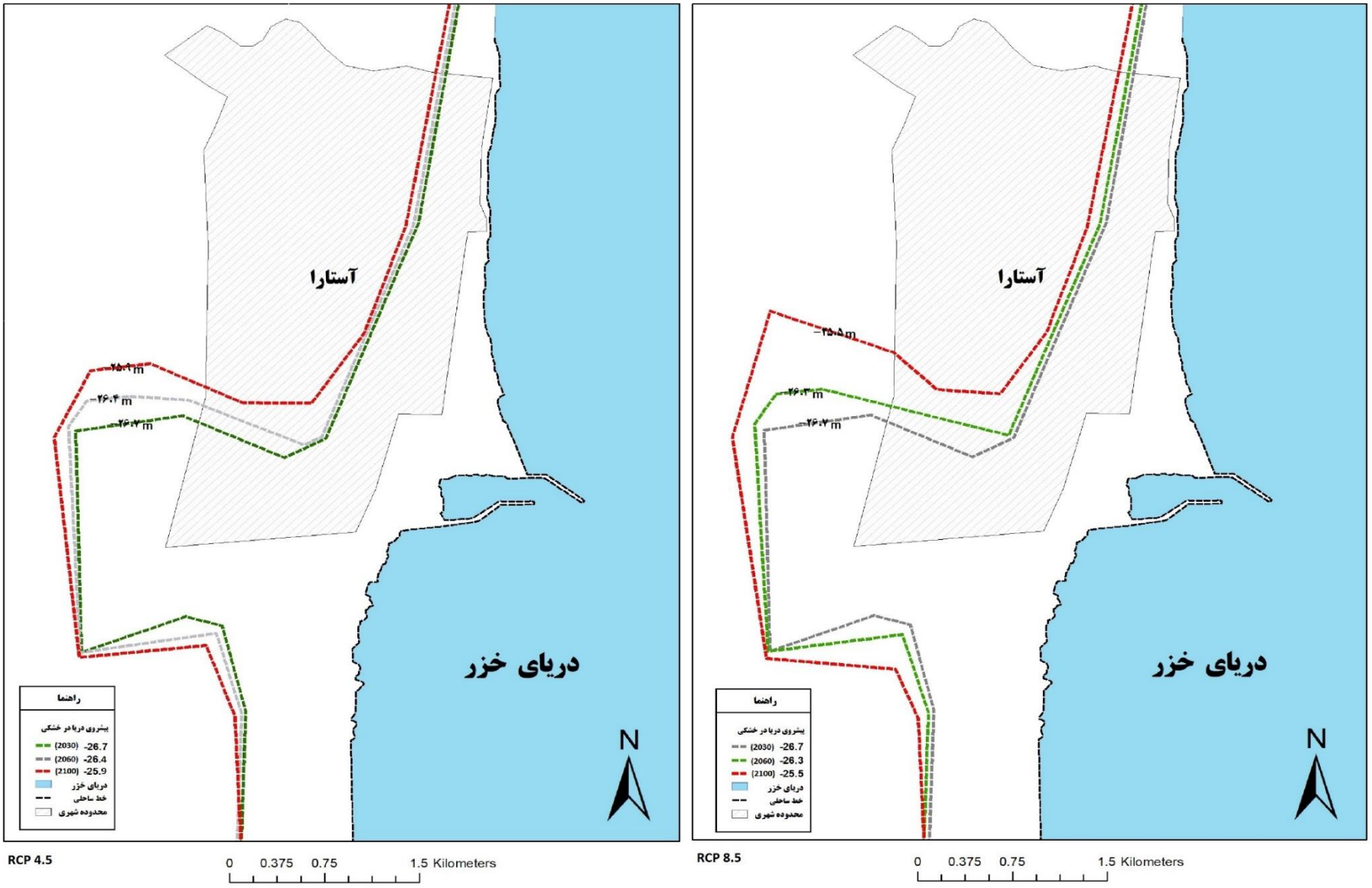
[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-17]
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.7]

نمونه انتخاب شد . شکل های ۱۴ و ۱۷ و۱۸و ۱۹ نمایش بصری از رویدادهای فرکانس غوطه وری آب پیش بینی شده در زمان های مختلف و شدت سناریو را نشان می دهند. مقدار تخمینی مسافت پیشروی آب دریا در نواحی مشخص شده در دو سناریوی RCP8.5 و RCP4.5 مشخص گردید. از محدوده ۶/۴ کیلو متر مربعی شهر آستارا و حومه در سال ۲۰۳۰ و ۲۰۶۰ و ۲۱۰۰ حدود ۸ و ۲۴ و ۴۴ درصد در خوشبینانه ترین حالت در سناریوی RCP4.5 و۸ و ۲۵ و ۴۷ درصد برای سناریوی RCP8.5 در بد بینانه ترین سناریو به زیر آب خواهند رفت . این مقدار برای بابلسر از محدوده ۴/۴ کیلو متر مربعی حدود ۱۸ درصد برای سال ۲۱۰۰خواهد بود شکل ۱۹ در محدوده ۱۵۵ کیلومتر مربعی تالاب گمیشان را نشان می دهد .به دلیل شیب ۰/۰۲ درصدی پیشروی آنچنانی ندارد و فقط تالاب پر خواهد شد. این تالاب در حال حاضر با بستن مسیر ورودی و زهکشی خشک شده است مسدود شدن ورودی شمالی تالاب از دریا به علت ایجاد کانال تغذیه سایت پرورش میگو نقش مهمی در خشک شدن تالاب داشته است.

شکل ۱۳ پیش بینی محدوده پیشروی آب دریا در آستارا

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-17]

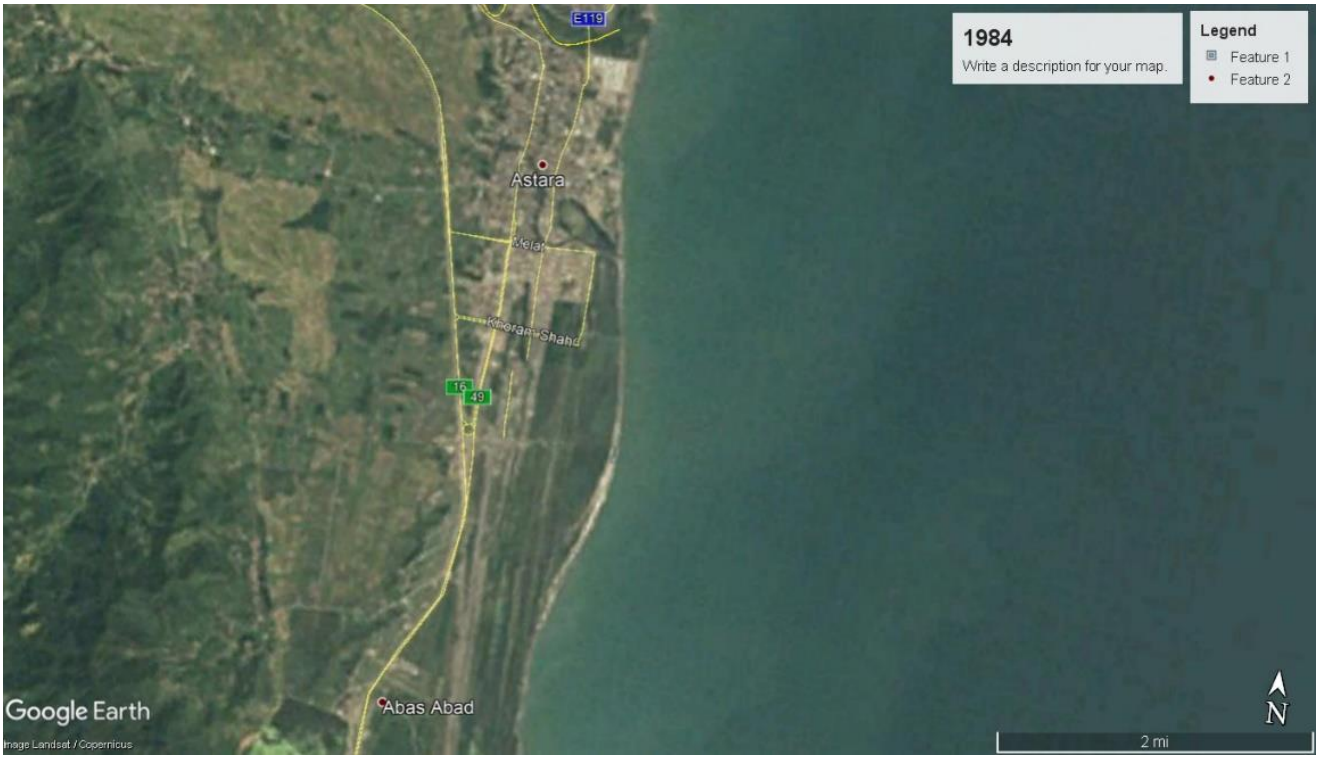
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.7]



شکل ۱۴: پیش بینی محدوده عقب نشینی خط ساحلی کیاشهر در سناریوی RCP 4.5 و RCP 8/5

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-17]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.7]

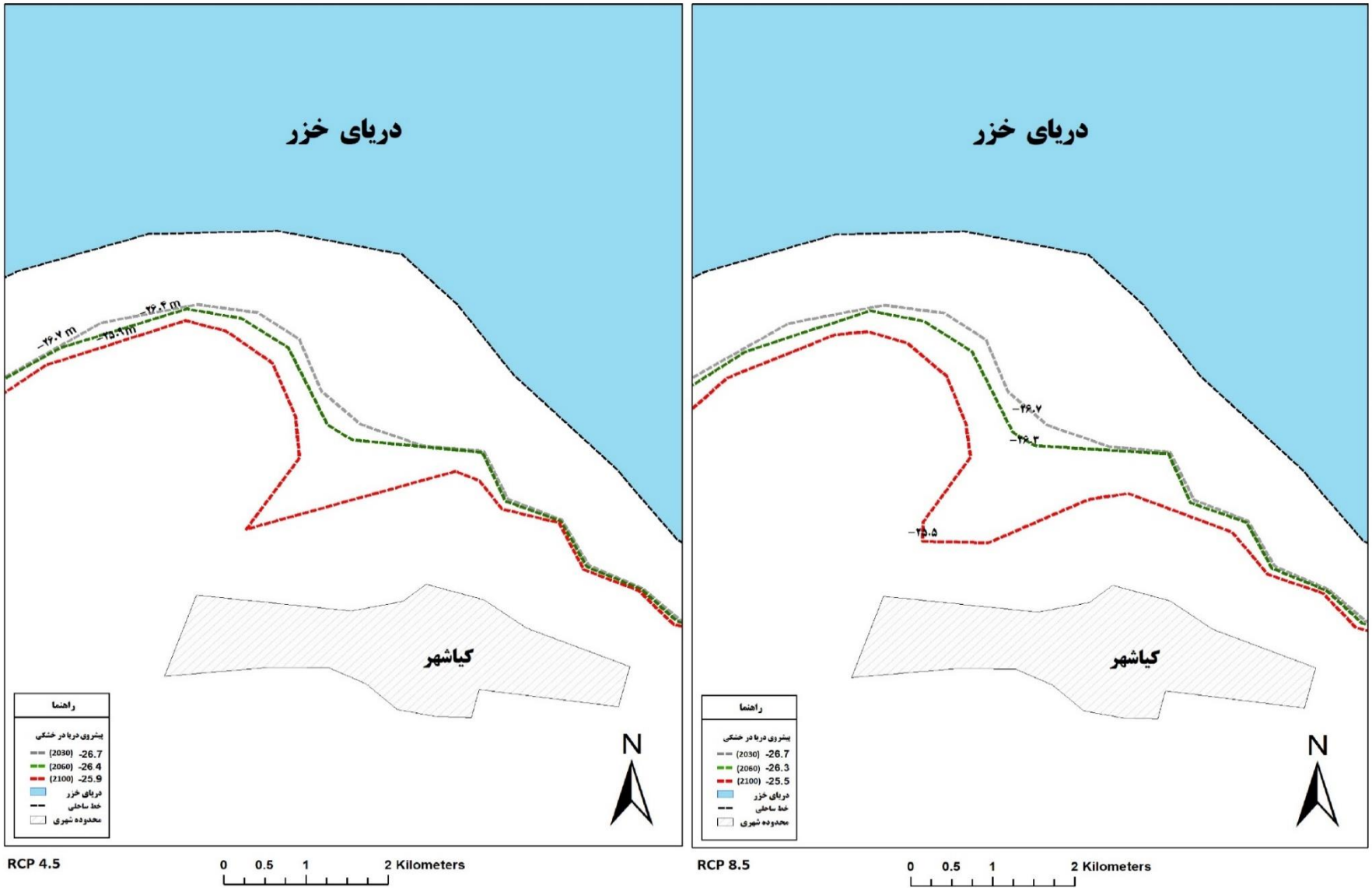


شکل۱۵: خط ساحلی آستارا سال ۱۹۸۴

شکل۱۶: عقب نشینی خط ساحلی آستارا سال ۲۰۱۶

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-17]

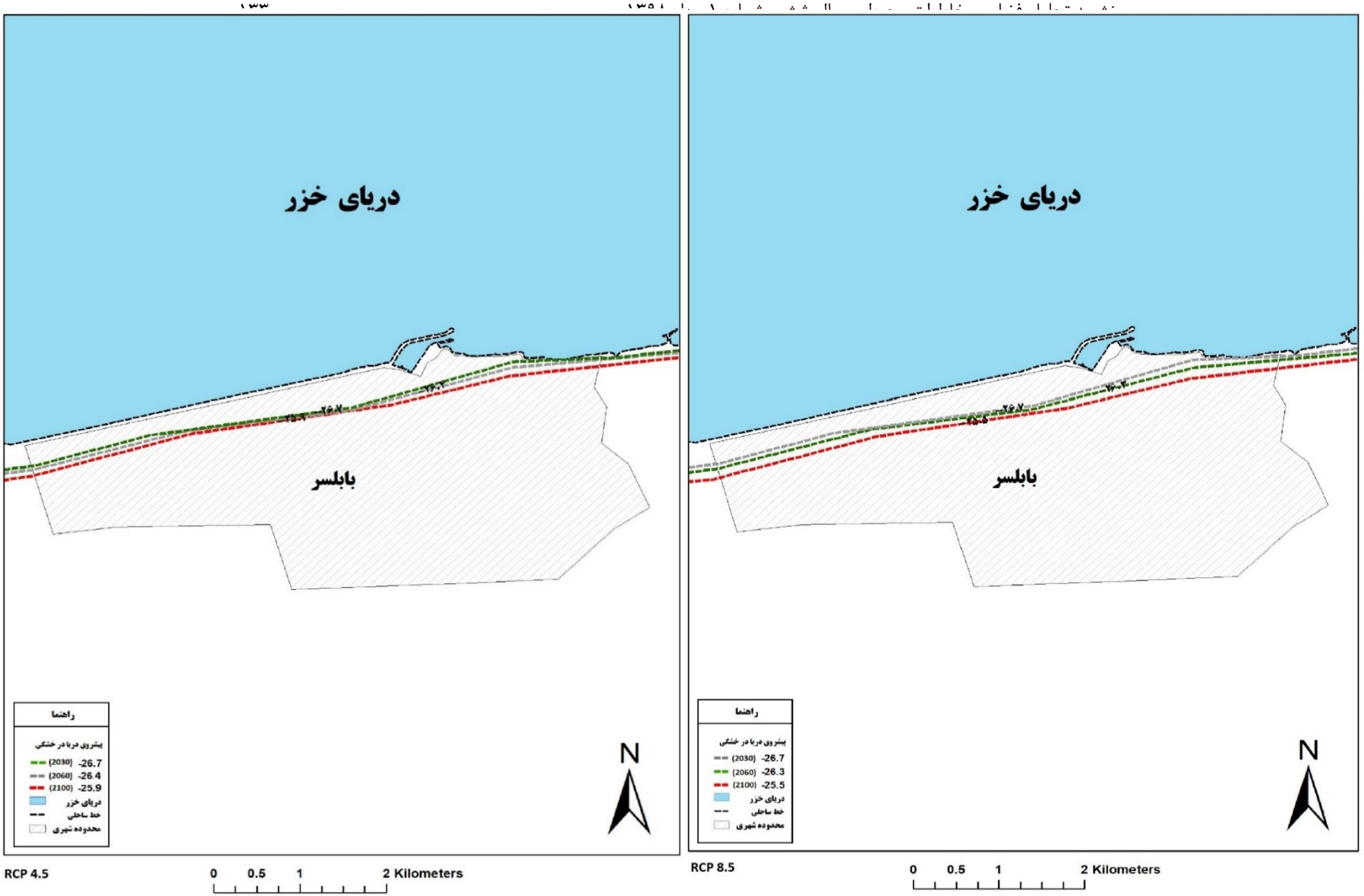
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.7]



شکل ۱۷: پیش بینی محدوده عقب نشینی خط ساحلی کیاشهر در سناریوی RCP 4.5 و RCP 8/5

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-17]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.7]



شکل ۱۸: پیش بینی محدوده عقب نشینی خط ساحلی بابلسر در سناریوی RCP 4.5 و RCP 8/5

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-17]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.7]

شکل ۱۹: پیش بینی محدوده عقب نشینی خط ساحلی گمیشان در سناریوی RCP 4.5 و RCP 8/5

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-17]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.7]

نتیجه گیری

در مقاله حاضر، استفاده از نرم افزار SimCLIM برای اولین بار به منظور آشکار سازی تغییرات سطح آب دریای خزر عناصر و عوامل آب و هوایی موثر در یک پروژه با هم و یکجا مورد استفاده قرار گرفت. پایه و اساس این پروژه بر مبنای دانش سیستم های ساحلی و فرآیندهای آن است.

تغییرات بارشی و دمایی بر منابع آب حوضه آبگیر خزر اثر بخش خواهد بود. هر دو عنصر دما و بارش روند افزایشی داشته، اما برای تمام ناحیه خزری یکسان نمی باشد. مناطق وسیعی از مناطق شمال ،شمال شرق ، شمال غرب و غرب دریای خزر علاوه بر کمترین افزایش درجه حرارت با افزایش قابل توجه بارش مواجه خواهند بود. کمترین منطقه افزایش بارش قسمت جنوبی دریای خزر پیش بینی شد. ناحیه شمال شرق ایران با افزایش بین ۱۸ تا ۲۱ درصد و کرانه های دریای خزر هم ۹ تا ۱۵ درصد افزایش نسبت به میانگین پایه پیدا خواهند کرد ، درحالیکه ناحیه شمال غرب و ناحیه میانی البرز که حوضه آبخیز رودخانه سفید رود را شامل می شود با کاهش بارش مواجه خواهند شد، در عین حال ناحیه مزبور بیشترین درصد افزایش دما را هم پیدا خواهد کرد.

تا سال ۲۱۰۰ دامنه افزایش سطح دریا طبق پیش بینی های مدل بین ۲۶ سانتی متر تا ۱۲۸ سانتی متر با توجه به بدترین حالت یعنی RCP 8.5 و بین ۲۵ سانت متر تا ۹۹ سانتی متر در خوش بینانه ترین حالت یعنی سناریوی RCP 4.5 همچنان افزایش خواهد داشت.

عقب نشینی خط ساحلی بدلیل پیشروی آب دریا تا ۲۱۰۰ بین ۹۵ متر در RCP 4/5 و تا ۱۱۷ متر در RCP 8/5 است با توجه به این ارقام توصیه می شود زیر ساخت ها و امکانات در حداقل ۱۲۰ متری از ساحل کنونی ایجاد شود. اطلاعات نشان داد که روند تاثیر پذیری ساحل متاثر از لند فرم های ژئو مورفولوژیک است

بر اساس بررسی علمی موجود در این تحقیق ما یک طرح پیشنهادی از پیش بینی تغییرات دما و بارش ، پیش بینی افزایش سطح دریا و تغییرات در خط ساحلی را بر اساس سناریو های انتشار RCP 4.5 و RCP 8.5 برای آینده تا سال ۲۱۰۰ ارائه کرده ایم. بدلیل ناتوانی فعلی جامعه جهانی در کاهش انتشار گاز های گلخانه ای انتظار می رود سناریوی انتشار RCP 8.5 برای آینده تحقق یابد. تغییرات در حوضه جنوبی خزر اجتناب ناپذیر است و داشتن افق برنامه ریزی مناسب برای آینده منطقه یک جزء حیاتی از طراحی مدیریتی است.

منابع

اقتصادی ، شهیر؛ رفیعه زاهدی . ۱۳۹۰. مطالعه عوامل تاثیرگذار بر نوسانات تراز آب خزر جنوبی. *مجله علوم و فنون دریایی*، **۱۰** : ۱۳-۴.

دیبایی، محمد حسین؛ مهدی قربانی بیرگانی. ۱۳۸۹. *تجزیه و تحلیل پدیده اقلیمی خشکسالی و نقش آن در تولید گندم (مطالعه موردی شهرستان شوشتر)*. همایش ملی مدیریت کمبود آب و تنش خشکی در زراعت.

جداری عیوضی، جمشید.۱۳۷۴. *ژئومورفولوژی ایران* . انتشارات پیام نور.

عسگری، علی، ۱۳۹۰. *تحلیل های آمار فضایی با Arc GIS . چاپ اول. انتشارات سازمان فناوری ارتباطات و ارتباطات شهرداری تهران.*

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-17]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.7]

علیجانی، بهلول.۱۳۹۳. مبانی فلسفی مخاطرات محیطی. *فصل نامه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، جلد**۱**: ۱- ۱۵.

علایی طالقانی، محمود. ۱۳۸۱. *ژئومورفولوژی ایران*. نشر قومس.

Alejandra, R.; Enríquez, Marta Marcos, Amaya Álvarez-Ellacuría, Alejandro Orfila, and Damià Gomis. 2017. Changes in beach shoreline due to sea level rise and waves under climate change scenarios: application to the Balearic Islands (western Mediterranean). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **17**: 1075-1089

Arpe . K, S. A. G. Leroy, F. Wetterhall , V. Khan & S. Hagemann , H. Lahijani. 2014. Prediction of the Caspian Sea level using ECMWF seasonal forecasts and reanalysis. *Theoretical and Applied Climatology*,117: 41-60

Arpe K, Leroy SAG (2007) The Caspian Sea level forced by the atmospheric circulation as observed and modelled. *Quaternary International*,173–174:144–152

Atalay, A. 2014. *Assessmwnt of sea level rise for coastal zone management: vulnerability of fethiye bay*, middle east technical university.

Antonioli, F., Anzidei, M., Amorosi, A., Presti, V. L., Mastronuzzi, G., Deiana, G., De Falco, G., Fontana, A., Fontolan, G., Lisco, S., Marsico, A., Moretti, M., Orru, P. E., Sannino, G. M., Serpelloni, E., and Vecchio, A. ۲۰۱۷ Sea-level rise and potential drowning of the Italian coastal plains: Flooding risk scenarios for 2100, *Quaternary Science Reviews*, **158**: 29–43

Bao, Y. 2015. *Coupling the simclim system with crop simulation models for determing adaptation strategies under a changing climate: an application for maize productionin the outhastern Usa*, Athens, University of Georgia.

Bao, Y.; G. Hoogenboom, R McClendon, P Urich, 2015, 'Soybean production in 2025 and 2050 in the southeastern USA based on the SimCLIM and the CSM-CROPGRO-Soybean Models' *Climate Research*, **63**: 73-89

Chong hua, Yin.2013. *SimCLIM 2013 Data Manual*. CLIMsystems. 9

CLIMsystems. 2017.SimCLIM *4.0 for Desktop Essentials. Available online*: http://www.climsystems.com/site/hom

DeConto, R. M; D. Pollard. 2016. Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise. *Nature*, **531**(7596): 591–597

Elguindi, N.; F Giorgi. . 2006. Projected changes in the Caspian Sea level for the 21st century based on the latest AOGCM simulations. *Geophysical Research Letters*,33, issue 8 : L08706

Jirawat, P; M Morshed Ahmad. 2017. Vulnerability of Fishing Communities from Sea-Level Change: A Study of Laemsing District in Chanthaburi Province, Thailand. *Sustainability*, **9**, issue 8: 1-19

Jones, G. A., and K. J. Warner. 2016. The 21st century population-energy-climate nexus. *Energy Policy*, **93**: 206–212

Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science Http://www.inio.ac.ir/Default.aspx?tabid=2015

IPCC. 2013. *Climate Change 2013*: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by Thomas F. Stocker, Dahe Qin, Gian.-Kasper Plattner, Melinda Tignor, Simon K. Allen, Judith Boschung, Alexander Nauels, Yu Xia, Vincent Bex and Pauline. M. Midgley. Cambridge: Cambridge University Press.

Kislov,A ; A. Panin and P. Toropov.2012. Palaeostages of the Caspian Sea as a set of regional benchmark tests for the evaluation of climate model simulations. *Climate of the Past Discussions*,**8**: 5023-5081

Kroonenberg, S. B; N.S. Kasimov; M.Yu. Lychagin . 2008. The Caspian Sea, a natural laboratory for sea-level change. *Geography, Environment, Sustainability*, 1:22-37

Lissner, T.K.; E.M Fischer.2016. Differential climate impacts for policy-relevant limits to global warming: The case of 1.5 ◦C and 2 ◦C. *Earth System Dynamics*, **7**: 327–351

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-17]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.7]

Loski, Brett.2015. *Sea Level Rise Modeling and the Predicted Change of Coastal Wetland Systems of Wallop's Island Virginia* .Issue 68. Shippensburg University

Markovic,Slobodan; Albert ruman, Milivoj B Gavrilov, Tomas Stivens, Matija Zorn, BlazKlaz Komac, Drago Prko. 2014. Modelling of the Aral and Caspian seas drying out influence to climate and environmental changes. *Acta geographica Slovenica*, **54**: 143-161

McLeod, E.; B Poulter, J Hinkel, E Reyes & Salm, R 2010, 'Sea-level rise impact models and environmental conservation: A review of models and their applications', *Ocean & Coastal Management*, **53**: 507-517.

Nicholls, J, Farley. 2013. *Modelling of the Caspian Sea*. Space and Atmospheric Physics Group Department of Physics. Imperial College

Olliver, v.; M. Fontugne, B. Lyonnet, C. Chataigner. 2016. Base level changes, river avulsions and Holocene human settlement dynamics in the Caspian Sea area (middle Kura valley, South Caucasus). *Quaternary International*,395: 79-94

Park, J; E. Stabenau, and K. Kotun. 2016-2017. Sea-level rise and inundation scenarios for national parks in South Florida. *Park Science*, 33. Issue 1: 63–73.

Panin, G. N. 2010. *The Caspian Sea Level fluctuations as an example of local /global climatic change.* Russia . water problems institute.

Roshan,G.;M Moghbel,S Grab. 2012. modeling caspian sea water level oscillations under different scenarios of increasing atmospheric carbon dioxide concentrations. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*,**9**. Issue 1: 24-34.

Saleem khan. A; A. Ramachandran; K. Palanivelu; V. Selvam, 2016. Climate change induced sea-level rise projections for the Pichavaram mangrove region of the Tamil Nadu coast, India: A way forward for framing time-based adaptation strategies. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences,* **45**(2): 296-303

Sidorenkov, N. Orlov, I.A.2007. atmospheric circulation epochs and climate changes, *Russian Meteorology and Hydrology*, 33, Issue 9: 553–559.

Slangen, A.B.A; M Carson, C. A. KatsmanR. S. W. van de Wal, A. KöhlL, L. A. Vermeersen, D. Stammer. 2014. Projecting twenty-first century regional sea-level changes. *Climatic Change,* **124**: 317–332.

Sweet, W; Park, J.; Marra, J.; Zervas, C.; Gill, S.2014. Sea-Level Rise and Nuisance Flood Frequency Changes around the United States. *National Oceanic and Atmospheric Administration (*NOAA) Technical Report NOS CO-OPS 073.

Tamura-Wicksو Helen; Ralf Toumi, Paul Budgell, 2015, Sensitivity of Caspian Sea-ice to air temperature. *QUARTERLY JOURNAL OF THE ROYAL METEOROLOGICAL SOCIETY, Vol*: **141**: 3088-3096

Treuer, Galen. 2017. Risk and the Response to Sea Level Rise in South Florida. *University of Miami*

. UNDP. 2002. *The views expressed in this publication are those of the author and do not necessarily represent those of the United Nations or UNDP.Transboundary diagnostic analysis for the Caspian Sea.* ***V1***: The Caspian environment programe.

Vitousek, S.; Barnard, P.L; Fletcher, C.H.; Frazer, N.; Erikson, L.; Storlazzi, ۲۰۱۷. C.D. Doubling of coastal flooding frequency within decades due to sea-level rise. *Nature Scientific Reports*,**7**: 1399

Yousefi Roshan, Mohammad Reza; Masumeh Moghbel, Stefan Grab.2012. Modeling Caspian Sea water level oscillations under different scenarios of increasing atmospheric carbon dioxide concentrations. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*,**9:** 9-24

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-17]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.7]

[Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-17]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.7]