نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی | سال نهم | شماره سی و ششم | زمستان ۱۳۹۷

تحلیل الگوی رفتاری سناریو های آب و هوایی و تاثیر آن بر تغییرات سطح آب دریای خزر

فردین صابری لویه[۱]، بهلول علیجانی[۲*] ، شهریارخالدی[۳]

۱- دانشجوی دکتری آب و هوا شناسی ، گروه جغرافیای طبیعی ، دانشگاه آزاد اسلامی ، واحد علوم و تحقیقات ، تهران ، ایران.
۲- استاد آب و هواشناشی دانشگاه خوارزمی و مدیر قطب علمی تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، تهران، ایران.
۳- استاد آب و هوا شناسی ، گروه جغرافیای طبیعی ، دانشکده علوم زمین ، دانشگاه شهید بهشتی ، تهران، ایران.
تاریخ وصول: ۱۳۹٦/۸/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۲۲

چکیده

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 بوده است و این امر، نشان دهنده مجموع بارش و یا دمایی بیش از صدک ۹۵ دوره پایه است. ضریب تغیرات بارش و دما برای کل حوضه آبگیر خزر مثبت است و در ناحیه جنوبی الگوی نامنظمی بر آستانه های بارش حاکم است. افزایش سطح دریا (SLR) یک نگرانی عمده برای نواحی ساحلی 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 RCP4.5 و بدبینانه ترین حالت یعنی RCP8.5 مورد بررسی قرار گرفته است. پیش بینی های انجام شده نشان می دهد که افزایش سطح دریای خزر به آرامی تا سال ۲۱۰۰ افزایش می یابد. اگر افزایش حداکثر پیش بینی شده رخ دهد، سواحل خزر آسیب پذیرترین جابجایی ساحلی را تجربه خواهد کرد.

کلید واژگان: افزایش سطح دریا، سواحل جنوبی دریای خزر، سناریو های انتشار، رویدادهای فرین، ضریب تغییرات.

مقدمه

گرمایش جهانی پدیده ای است که سبب افزایش میانگین دمای سطح زمین و اقیانوس ها شده است. دمای کره زمین در حدود ۰/۷٤ درجه سیلسیوس در یک قرن گذشته افزایش داشته است (دیبایی ، بیرگانی. ۱۳۸۹) در دهه های پایانی قرن بیستم شاهد گرم ترین سال های ٤۰۰ سال اخیر بوده ایم.که ۱۰ مورد از گرمترین سالها به گزارش IPCC[1] 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, T.K.; Fischer, E.M, 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 بگذارد. 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, W 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 هماهنگ با تغییرات اقلیمی طرح ریزی کنند (Atalay,2014,118). 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 . S; 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. آسیب پذیری به تغییرات آب و هوایی به نوبه خود، تهدیدات متعددی را برای رشد اقتصادی ایجاد خواهد کرد.

دریاچه خزر بزرگترین بدنه آبی محصور جهان با وسعتی معادل۳۷۱هزار کیلومتر مربع(Ollivier et al,2016) 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، ۱۳۷٤، 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 پراکندگی مکان های جغرافیایی توسط انسان سبب بروز شدیدتر تغییرات خواهد

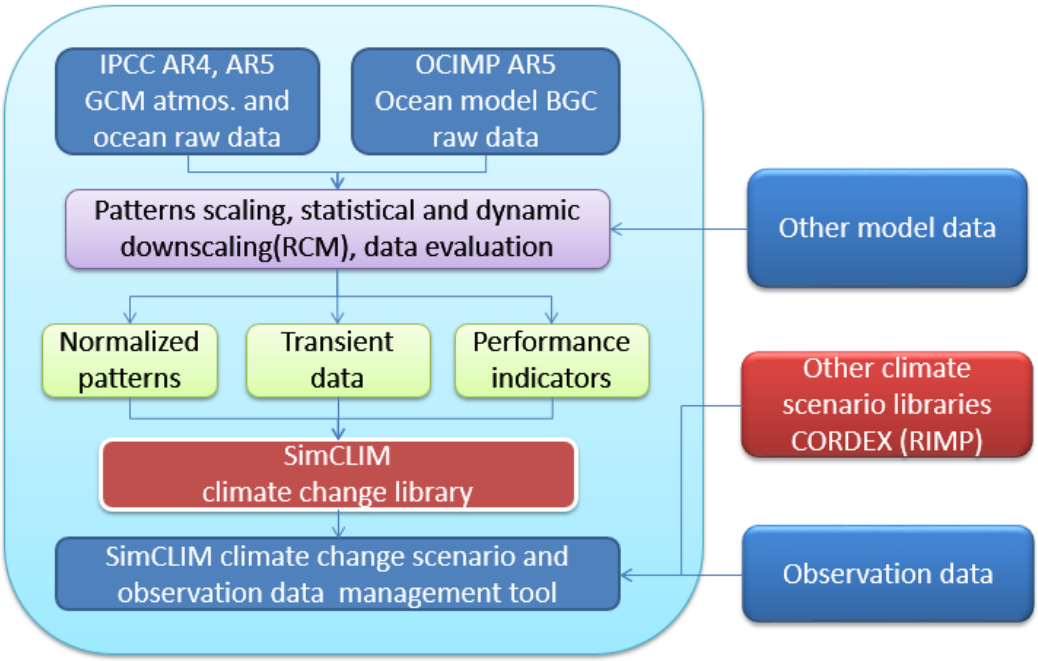
1. Inter Governmental Panel On Climate Change

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, Galen. 2017) 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 های گردش عمومی جو (GCM[۲]) افزایش دمای میانگین جهانی بین ۱/۵ تا ۵/۸ درجه سانتی گراد را تا پایان سال ۲۱۰۰ پیش بینی می کنند که به رشد جمعیت مربوط می دانند. مدل ها بر پایه قوانین فیزیکی توسط قوانین ریاضی ارئه می شود (Bao ,2015,9) 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.

برای درک ماهیت پیچیده جو و پیش بینی تغییرات آن در آینده می بایست متغییرهای موثر برآب و هوای منطقه شناسایی و استفاده شود و 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 شکل ۱. 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 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.

2 - Global Circulation Model



شکل ۱- SIMCLIM روش کتابخانه ای تغییرات اقلیمی

در ارتباط با افزایش سطح آب دریا با استفاده از افزونه SimClim مطالعات کاربردی فراوان در مناطق مختلف جهان صورت گرفته است. جیراوات و مکبول (Jirawat & Mokbul) به آسیب پذیری ماهیگیران ساحلی تایلند از تغییرات سطح دریا با استفاده از این مدل پرداخته است. پنینگ (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 الکساندرا و انریکو . (Alejandra R. Enríquez 2017) مورد بررسی فرار گرفته است. سلیم خان و همکاران (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. بائو و همکاران (Bao et all,2015) به پیش بینی تغییرات آب و هوایی بر عملکرد تولید سویا در ایلات متحده با استفاده از مدل SimCLIM پرداخته است. (Mcleod et al,2010) مکلود و همکاران 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, 2014) یک مجموعه از ۲۱ مدل گردش عمومی اتمسفر- اقیانوس (AOGCMs) را از بایگانی پروژه (CMIP5) همگام سازی مدل همپوشانی استفاده کرده است که شامل تغییرات در گردش آب و جذب گرما، بارگیری اتمسفر، سهم زمین یخ (از جمله یخچال ها و ورقه های یخ در گرینلند و قطب ها)، تخلیه آب های زیرزمینی و توزیع مجدد توده در سراسر جهان همراه با عدم اطمینان مربوط به هر دوره تا کنون می باشد.

مطالعات زیادی با روش ها و اهداف مختلف در باره تغییرات سطح آب دریای خزر صورت گرفته است که بسیار با اهمیت هستند. 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، سیاسی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است(UNDP,2002,50). شبیه سازی واکنش سطح دریای خزر نسبت به تغییرات اقلیمی طی دوره آماری ۱۹۹۰-۱۹٤۸ با استفاده از مدل Regcm[1] توسط الگیونی و گیورگی (Elguindi & Giorgi, 2006) انجام

1. Regional Climate Model

شده است و این نتیجه حاصل گردید که ضریب همبستگی بین تغییرات واقعی سطح آب دریای خزر با مقادیر مدل شده وجود دارد. پنین (panin, G 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. همچنین سطح آب دریای خزر هم طی ۲۵ سال از ۲۰۷۵ تا ۲۱۰۰ بین ۸٦ تا ۱٦۳سانتی متر افزایش خواهد یافت. آرپ (Arpe,2015) به ساخت مدلی جهت پیش بینی نوسانات سطح دریای خزر پرداخته است. داده های مورد نیاز برای ساخت مدل، مشاهدات نوسانات سطح دریای خزر و داده سنجی تاریخی از سال ۱۹۹۳ به بعد بوده است. در این مدل پیش بینی های تبخیر بر روی خزر بدلیل فرض ثابت بودن دمای سطح آب دریا مورد استفاده قرار نگرفته و بیشتر به تبخیر در خشکی ها پرداخته شده است، بدین صورت که ابتدا ۵ درصد قاره ها کاهش داشته و سپس ۲۰ درصد افزایش در خشکی های اطراف دریای خزر مشاهده شده است. و داده های تخلیه را بر اساس خروجی رودخانه های ولگا، کورا، اورال، سپیدرود و گرگانرود جمع آوری کرده است. نیکولز و فارلی (Nicholls, J, 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 (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. مقدمه گرمایش جهانی باعث نگرانی های جهانی در مورد تاثیر افزایش سطح دریا در سواحل دریای خزر می شود. پیش بینی این تأثیر آهسته است. در تحقیق دیگر مارکویچ و همکاران (Markovic,et,al. 2013) نتایج مدل سازی با استفاده از مدل ECHAM5 بسیار چشمگیر هستند. 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. (روشن . ۱۳۹۳) در تحقیق خود آورده است که نوسان سطح آب دریای خزر درطول دوره تاریخی۳۵۰۰سال گذشته در حدود ۱۵ متر بوده است، درحالی که درطول ۱۷۷ سال گذشته (دوره ثبت ابزاری) ۳/۷۵ متر و بالاآمدگی شدید بین سالهای ۱۳۵٦ تا ۱۳۷٤ در حدود ۲/۵۳ متر بوده است. درسال ۲۰۱٤ میلادی سطح آب دریا حداقل ۱۲ سانتی متر پائین تر از سال ۲۰۱۳ ثبت شده است. (اقتصادی ؛ 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. تبخیر متوسط محاسبه شده در این دوره زمانی ۹۲۲/۹ میلی متر است که از تبخیر محاسبه شده برای دراز مدت (۱۰۰۷ میلی متر در سال) کمتر است. میانگین بارندگی در سال های مورد مطالعه برای مجموع پنج ایستگاه خزر جنوبی ۱۲۹۲/٦ میلی متر است که از میزان بارش محاسبه شده برای دراز مدت (۲۲۱ میلی متر در سال) بیشتر است .

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 نرم افزاری است که به منظور تسهیل ارزیابی خطرات تغییرات آب و هوایی برای نظامیان ، مشاوران، سیاست گذاران، دانشگاهیان، سازمان های غیر دولتی و دولتی و دانش آموختگان در زمینه های پایداری طراحی شده 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. بر این اساس پس از مطالعه منابع مختلف جهت اطمینان از هماهنگی بین چهارچوب مفاهیم با شرایط واقعی ساحلی در چهارچوب روش شناختی، این پروژه بر روی پیش بینی های مختلف تغییرات آب و هوایی تاکید نمی کند به دلیل اینکه عدم اطمینان از پیش بینی سطوح محلی به مراتب بیشتر از عدم اطمینان به پیش بینی های جهانی است. در نتیجه این تحقیق در نظر دارد که، چگونه محیط ساحلی در مقیاس محلی به پیش بینی های تغییرات آب و هوایی در دهه های آتی واکنش نشان می دهد. همچنین می بایست در نظر داشت که نتایج ارزیابی بطور مستقیم برای مقایسه با دیگر ارزیابی ها امکان پذیر نمی باشد زیرا نتایج ارزیابی های مختلف بطور مستقیم قابل مقایسه نیستند. به عنوان مثال روش های مبتنی بر شاخص فقط یک شاخص آسیب پذیری یا اطاعاتی را در رابطه با یک نوع خطر و روش ارائه می دهند 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 VLM[1] نیز لحاظ شده است.

تعیین 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 آماری- دینامیکی اقلیم منطقه ای وتعیین مقدار سطح نوسان آب دریا به منظور برنامه ریزی دقیق در بخشهای مختلف برای تصمیم گیرندگان سیاسی ، اقتصادی و ذینفعان محلی 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 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 ؟

مواد و روش ها

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 (SSH)[2] 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[3] در آدرس های اینترنتی سازمان های NASA[4] و NOAA[5] 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[6]، 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

1 - Vertical Land Movment

2 - Sea Surface Height
3 - Merged Geophysical Data Records
4 - The National Aeronautics And Space Administration
5 - National Oceanic And Atmospheric Administration
6 - Center For Environmental Data Analysis

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[1] ساخته شده است. این مجموعه داده در مرکز داده های اقیانوس اطلس ملی NCDC[2] اداره ملی اقیانوس و جو زمین نگهداری می شود. به منظور صحت سنجی و تجزیه و تحلیل این تحقیق بر اساس متغییرهای اقلیمی ماهانه ۱۲ ایستگاه ساحلی طی دوره زمانی ۱۹۸۱–۲۰۱۰ در نظر گرفته شد (جدول شماره۱)، تمام پایگاه ها روند خفیف افزایشی در دما و بارش را نشان دادند.در اکثر موارد همبستگی اطلاعات پایگاه های مختلف مناسب است. با استفاده از ۱۲ مدل گردش عمومی جو جهت تغییرات سطح دریای خزر و ساحل 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 که با واقیعت محاسبات دوره پایه همبستگی بهتری داشت برای پیش بینی تا سال ۲۱۰۰ مدل سازی شد.

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 می تواند با توجه 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.

در مطالعه حاضر از نرم افزار شبیه ساز آب و هوایی شرکت climsystems که اساسا بر اساس روش لایه بندی الگوها ، شامل الگو های استاندارد (نرمال شده) و الگو های فضایی تغییرات علمی از مدل های بسیار دشوار و پیچیده ای که توانایی محاسبات در مدل های سه بعدی اقلیم جهانی (GCM) جهت پیش بینی های را دارد استفاده شده است. طرح جهانی افزایش سطح آب دریا (SLR[3]) از ژنراتور سناریو های انتشار قابل پردازش است ، با این حال پیش بینی ها 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 . 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) :

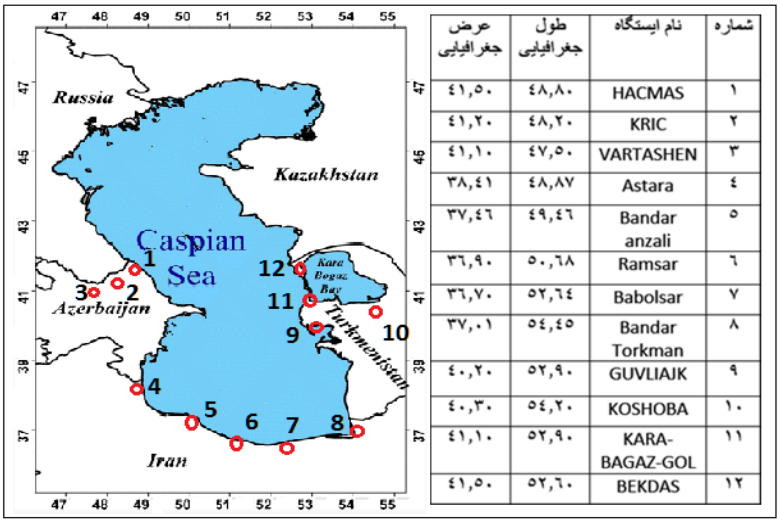
حداکثر دمای آینده = حداکثر دمای پایه + مقادیر استاندارد شده × GMTC[4]

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

بارش آینده = بارش پایه × (۱ + مقادیر استاندارد × GMTC)

1. Global Historical Climatology Network
2. National Climatic Data Centre
3. Sea level rise
4. Global Mean Temperature Change

جدول ۱- موقعیت ایستگاه ها



شماره	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	HACMAS	٤٨,٨٠	٤١,٥٠
۲	KRIC	٤٨,٢٠	٤١,٢٠
۳	VARTASHEN	٤٧,٥٠	٤١,١٠
٤	Astara	٤٨,٨٧	٣٨,٤١
٥	Bandar anzali	٤٩,٤٦	٣٧,٤٦
٦	Ramsar	٥٠,٦٨	٣٦,٩٠
۷	Babolsar	٥٢,٦٤	٣٦,٧٠
۸	Bandar Torkman	٥٤,٤٥	٣٧,٠١
۹	GUVLIAJK	٥٢,٩٠	٤٠,٢٠
۱۰	KOSHOBA	٥٤,٢٠	٤٠,٣٠
۱۱	KARA-BAGAZ-GOL	٥٢,٩٠	٤١,١٠
۱۲	BEKDAS	٥٢,٦٠	٤١,٥٠

با توجه به روش الگوی مقیاس سازی[14] 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)

شماره (۱)

$$\Delta V^{*}_{yij} = \Delta T_y \,.\, \Delta V'_{ij}$$

شماره (۲)

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

Y = سال یا دوره

j = ماه

I = برای یک شبکه خاص در سلول

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[15] 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).

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

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 گیتس ارد جی[16] 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

14 - pattern scaling

15 - Anselin local moran

16 - Getis Ord Gi

که در همسایگی اش قرار دارند نگـاه مـی کنـد و گسـترش فضایی و پیوستگی خوشه ها ی متمرکز شناسایی می کنـد (عسگری ،۱۳۹۰، ۷۵) .

(٤)

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

سناریو های افزایش سـطح جهـانی آب دریـا بـه آسـانی در دسترس هستند و به طور منظم توسط IPCC بـه روز مـی شوند. تا به امروز، اکثر ارزیابی ها، تاثیر گذاری و سازگاری ساحلی، تغییرات منطقه ای در سناریو هـای سـطح دریـا را نادیده گرفته اند. ارزیابی الگو های منطقه ای توسعه حرارتی در SRES[۱۷] با استفاده از روش الگوی مقیاس سازی سازی با فرمول زیر استاندارد شده است. با تقسیم الگـوی فضـایی متوسط تغییر برای یک دوره مشخص در آینـده بـا میـانگین جهانی گسترش حرارت برای همان دوره. بنابر ایـن الگـوی سطح استاندارد شده در سطح دریا برابر هر واحـد میـانگین گرمای جهانی هست. معادله زیر برای محاسـبه الگـو هـای صعودی سطح دریا به سانتی متر هست (Yin,2013)

(٥)

$$DZOS_{ij} = \{(ZOS_{ij} - ZOS_{ij\ 1981}) + \Delta GSLR\}/\Delta GSLR$$

(٦)

$$\Delta GSLR = ZOSTOGA_{2100} - ZOSTOGA_{1981}$$

ΔGSLR میانگین جهانی سالانه تغییرات سطح دریا به دلیل گسترش حرارتی

ZOSTOGA میانگین جهانی تغییرات دما در سطح دریا است.

ZOS ارتفاع سطح دریا

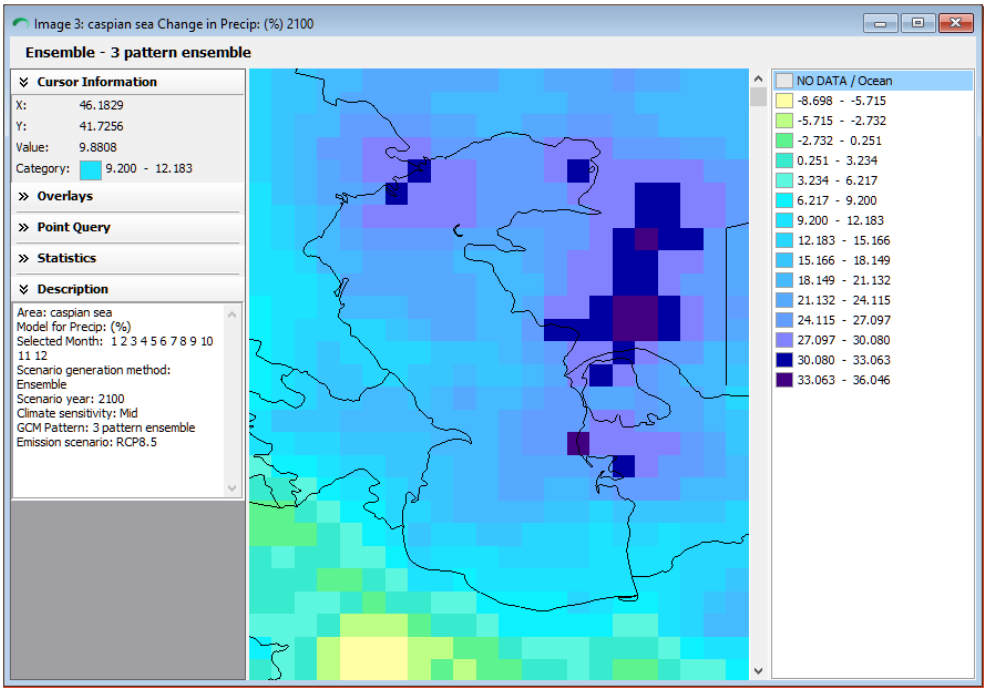
i , j موقعیت عرض و طول جغرافیایی

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 ان 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 ماه با بالاترین سطح آینده در نظر گرفته شده است.

یافته های پژوهش

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 شد. در این محاسبات برای منطقه مورد مطالعه با قدرت تفکیک مکانی ۰/۱ درجه در ۰/۱ درجه جغرافیایی و دوره آماری ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ میلادی به عنوان دوره اقلیمی پایه جهت صحت سنجی محاسبات لحاظ شده است. پیش بینی بارش و دما برای حوضه آبگیر دریای خزر بر مبنای دو سناریوی RCP4.5 که تاکید بر انرژی پاک و کارآمد دارد ولی در آن گرمایش همچنان ادامه داشته بعنوان خوشبینانه حالت و در سناریوی RCP8.5 که تاکید بر استفاده بیش از حد از سوخت های فسیلی دارد به عنوان بدبینانه ترین حالت در بین سناریو ها بررسی و مقایسه شده است.

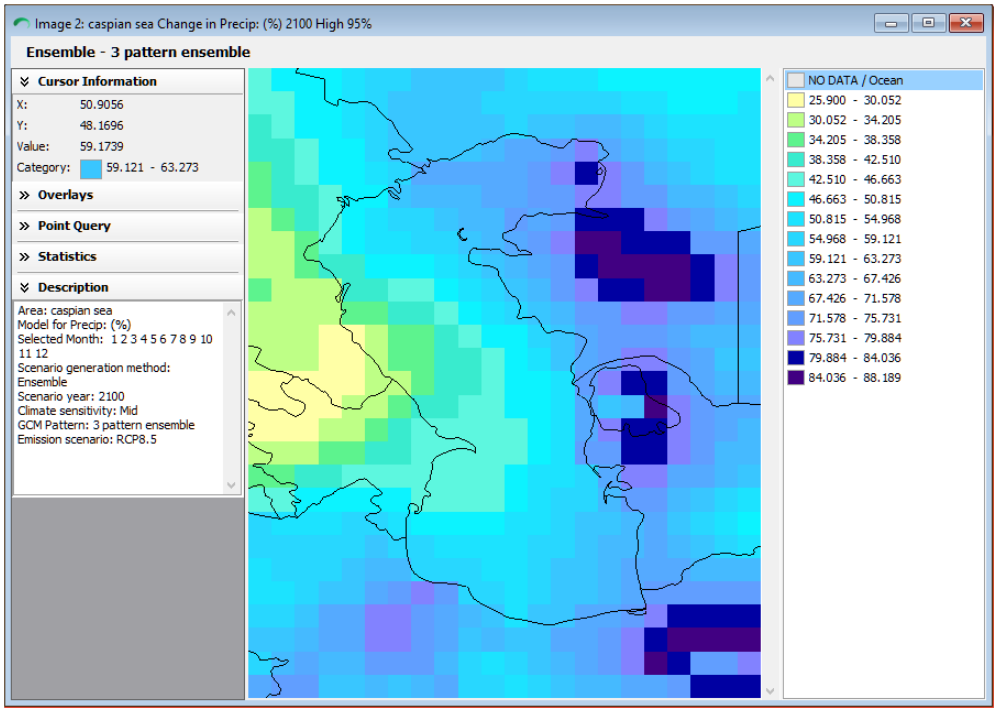
17 - Special Report on Emissions Scenarios



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

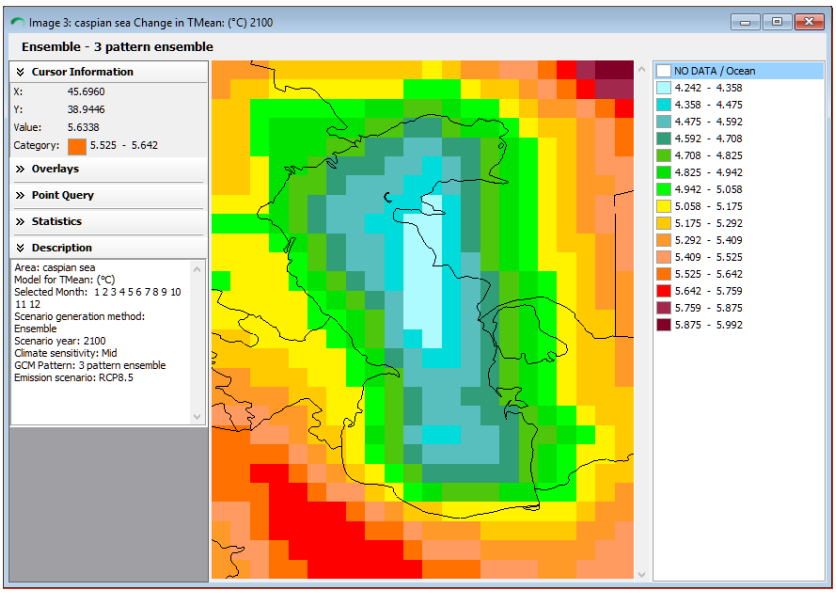
شکل ۲ پیش بینی درصد تغییرات بارش نسبت به میانگین پایه طی سال های ۲۱۰۰ – ۱۹۸۱ را نشان می دهد. مقدار میانگین بارش پیش بینی شده برای سه دوره ۲۰۳۰، ۲۰۶۰ و ۲۱۰۰ و درصد افزایش یا کاهش نسبت به میانگین دوره پایه ۲۱۰۰-۱۹۸۱ در هر سه دوره روند افزایشی خواهد داشت. بیشترین درصد تغییرات بارش برای سال های ۲۰۳۰، ۲۰۶۰ و ۲۱۰۰به ترتیب ۸/٤ ، ۱۸/۸ و ۳٦ درصد است، که نشان از افزایش آستانه های بارش در هر سه دوره را دارد. در شکل ۲ تغییرات بارش پیش بینی شده برای سال ۲۱۰۰ و درصد افزایش یا کاهش میانگین بارش نسبت به مقدار آن در دوره پایه در RCP8.5 ارائه شده است. 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 بیش از صدک ۹۵ دوره پایه می باشد. سهم ضریب تغییرات بارش ها بیش از صدک ۹۵ جهت تحلیل و بررسی آستانه ها در شکل ۳ پیش بینی شده است. برای داده های آینده از سه الگوی اقلیمی از پروژه CMIP5 با RCP8.5 ضریب تغییرات بارش با آستانه صدک ۹۵ برای سال ۲۰۳۰ بین ٦ درصد تا ۲۰/٦ درصد و برای ۲۰٦۰ بین ۱۳/٤ درصد تا ٤٥/۹ 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 ان از ۲۵ درصد تا ۸۸ درصد متغییر است.

18- Extreme Event



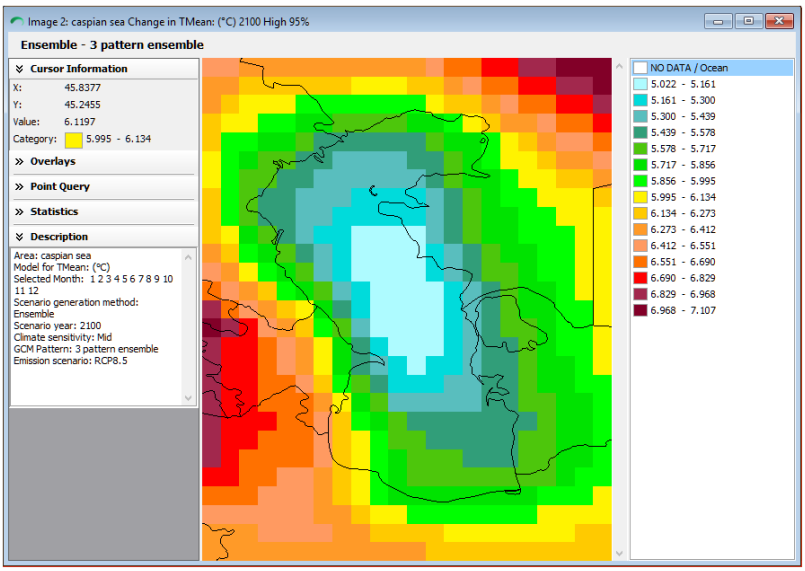
شکل ۳- پیش بینی ضریب تغییرات بارش حوضه دریای خزر(۲۱۰۰-۱۹۸۱) RCP 8.5

با توجه به شکل ۲و ۳ در ناحیه شمال شرق و شرق درصدتغییرات بارش نسبت به میانگین پایه بین ۲۱ تا ۳٦ 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 بین٤۲/۵ تا ٦۷ 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 ۱٦۰۰ تا ۱۸۰۰ میلی متر تا سال ۲۱۰۰ بین ٦/۲ 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 است 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. برای ۲۱۰۰ در کرانه ساحل ۱۲ درصد افزایش خواهد داشت. و ضریب تغییرات این ناحیه ۵۹ درصد پیش بینی را نشان می دهد. در اکثر نواحی شمال غرب و البرز میانی، بارش نسبت به دوره پایه کاهش پیدا خواهد کرد و بین ۰/۵ تا ۸/۷- درصد و ضریب تغییرات تا ۸۰ درصد خواهد بود. ناحیه شمال شرق ایران بیشترین درصد افزایش باران ناحیه جنوبی را خواهد داشت با میانگین ۱۹ درصد افزایش به همراه بیشترین ضریب تغییرات یعنی ۸٤ درصد. در این ناحیه، الگوی ناهنجار و نامنظمی بر آستانه های بارش حاکم خواهد شد و خطر وقوع سیلاب ها در منطقه بیشتر خواهد گردید.



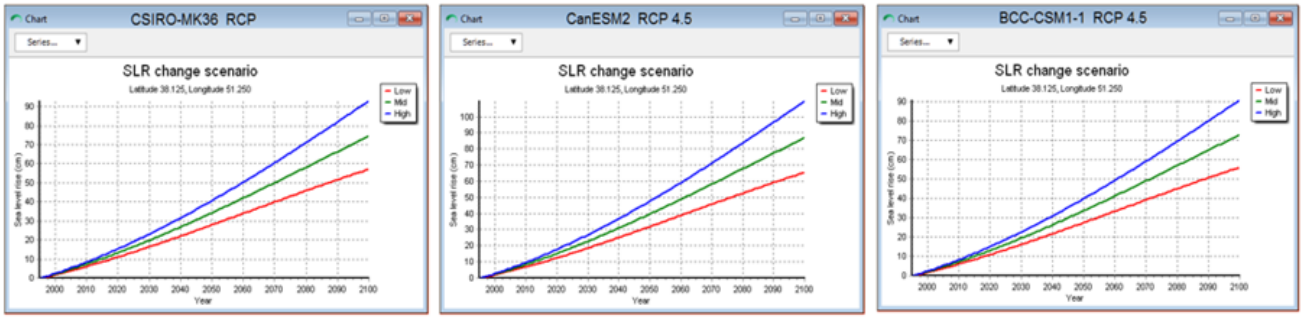
شکل ٤ : پیش بینی توزیع مکانی درصد تغییرات دمایی نسبت به میانگین پایه (۱۹۸۱-۲۱۰۰) RCP8.5

برای داده های دمای آینده منطقه خزر، از سه الگوی اقلیمی ACCESS1و 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 ۱/٤درصد و برای ۲۰٦۰ بین ۲/۲ تا ۳/۱ درصد پیش بینی شد در شکل ٤ نتایج بدست آمده از افزایش دما در سناریوی RCP ۸/۵ برای ۲۱۰۰ برابر ٤/۲ تا ۵/۹ درصد تغییر در الگو های مدل بوده است. به دلیل ماهیت و خواص فیزیکی آب الگوی تغیرات دما روند منظمی را از دریاچه به سمت اطراف خواهد داشت. کمترین مقدار ها مربوط به ناحیه سطح دریاچه بوده است و هر چه از دریاچه دور می شویم دما افزایش پیدا خواهد کرد. بیشترین مقدار مربوط به دامنه جنوبی خزر و دامنه های شمالی البرز و کمترین مقدار در دهه آخر قرن ۲۱ در ناحیه شمالی دریای خزر برابر ٤/۸ تا ۵/۲ درصد تغییرات بدست آمده است(شکل ۵). میانگین درصد تغییرات دمای هر دوره نسبت به میانگین دوره قبل بیشتر است و بیشترین میانگین مربوط به دوره ۲۰٦۰ تا ۲۱۰۰ است. به عبارت دیگر در سال های آینده رخداد امواج گرمایی بیشتر خواهد بود.

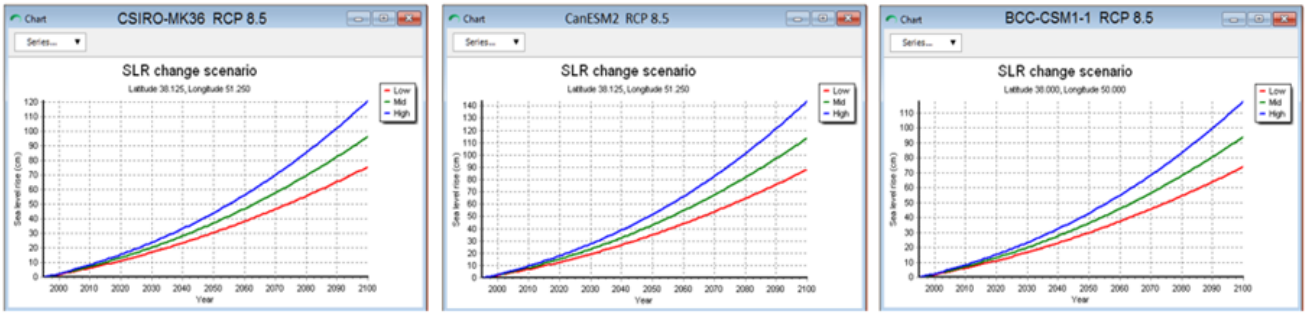


شکل ۵ : پیش بینی ضریب تغییرات دمای حوضه دریای خزر(۱۹۸۱-۲۱۰۰) RCP 8.5

ضریب تغییرات دما برای حوضه دریای خزر ناچیز است یعنی اینکه پراکندگی دما در طول سال توزیع مناسبی دارد. با این حال بیشترین ضریب تغییرات در ناحیه کوهستانی قفقاز و ناحیه شمال شرق پیش بینی شد، حدود ۷ درصد.



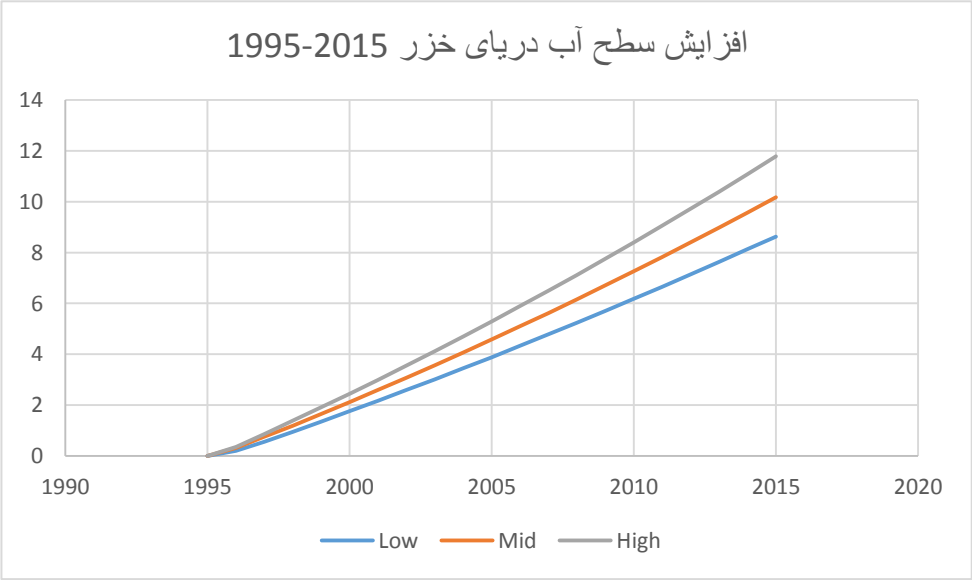
شکل٦ : پیش بینی تغییرات سطح آب دریا در سناریوی RCP4.5



شکل۷ : پیش بینی تغییرات سطح آب دریا در سناریوی RCP8.5

شکل ٦ و شکل ۷ روند پیش بینی افزایش سطح دریا در سه برآورد رگرسیون حساسیت کم، متوسط و بالا بر مبنای معادله الگوی صعودی سطح آب دریا برای تغییرات سطح آب دریای خزر به سانتی متر در سناریو های انتشار RCP 8.5 که بیشترین استفاده از سوخت های فسیلی را داشته و سناریوی RCP 4.5 متعادل با استفاده از مدل SIMCLIM را نشان می دهد، نتایج حاصل از پیش بینی برای هر سناریو بطور جداگانه در جدول شماره ۲ و ۳ برای سالهای ۲۰۳۰ ، ۲۰٦۰ و ۲۱۰۰ آورده شده است. جدول شماره ۲ 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 ۹۰/۰٦ سانتی متر ودر جدول شماره ۳ 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 افزایشی سطح دریا در سه الگوی GCM برابر با ۱۲۰/۹۲ ، ۱٤٤/۲۰ و ۱۱۹/٦۷ 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 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 P8.5ەRC برای سال ۲۱۰۰ تغییرات برابر با ۱/۲۲ درصد از مقدار جهانی افزایش سطح خواهد داشت یعنی ۲۲ درصد بیشتر از میانگین جهانی.



شکل ۸ - تغییرات سطح دریای خزر ۲۰۱۵-۱۹۹۵

نتایج پیش بینی شده سال های ۲۱۰۰-۱۹۸۱ با نتایج واقعی دوره ۲۰ ساله ۲۰۱۵-۱۹۹۵ در SIMCLIM مقایسه گردید. نتایج حاصل از دوره پایه در سه سطح حساسیت کم ، متوسط و بالا ۸/٤ ، ۱۰/۱ و ۱۱/۸ سانتی متر است که از مقایسه آن با نتایج پیش بینی مدل، همبستگی معنی داری در سطح ۹۵ درصد روئیت شد.

جدول شماره ۲ تغییرات سطح آب در دریا در سناریوی **RCP 4.5**

سال	CSIRO-MK36			CanESM2			BCC-CSM1-1		
	Low (cm)	Mid (cm)	High (cm)	Low (cm)	Mid (cm)	High (cm	Low (cm)	Mid (cm)	High (cm)
۲۰۳۰	۱٦/۷۲	۲۰/۱۰	۲۳/۳۸	۱۷/۵۲	۲۲/۷۰	۲۷/۷۹	۱٦/۹۳	۱۹/۹۱	۲۲/۹٤
۲۰٦۰	۳۳/۹۸	٤۲/۲۰	۵۰/٤۱	۳۸/۸۷	٤۹/۰۰	۵۹/۱۳	۳٤/۰۳	٤۱/۹۰	٤۹/۸٤
۲۱۰۰	۵۷/۱۲	۷۵/۱۰	۹۳/۰۷	٦۵/۵٤	۸۷/۷۰	۱۰۹/۸۷	۵٦/۰٦	۷۳/۱۰	۹۰/۰٦

.جدول شماره ۳ تغییرات سطح آب دریای خزر در سناریوی **RCP 8.5**

سال	CSIRO-MK36			CanESM2			BCC-CSM1-1		
	Low (cm)	Mid (cm)	High (cm)	Low (cm)	Mid (cm)	High (cm	Low (cm)	Mid (cm)	High (cm)
۲۰۳۰	۱۷/۲۵	۲۱/۸۰	۲٦/٤٤	۱۹/۸۹	۲٤/۳۸	۲۸/۸۸	۱۸/۰۹	۲۰/۹۹	۲۳/۸۹
۲۰٦۰	۳۸/۱۳	٤۷/۱۵	۵٦/۱۷	۳٤/۹۹	۵۵/۱۱	٦٦/۲۳	۳۸/۷۲	٤۷/۲۳	۵۵/۹٤
۲۱۰۰	۷۵/۵٦	۹۸/۲٤	۱۲۰/۹۲	۸۸/۲۸	۱۱٦/۲٤	۱٤٤/۲۰	۷۳/۱۵	۹٦/۳۹	۱۱۹/٦۷

بحث و نتیجه گیری

در مورد تغییرات سطح آب دریای خزر مطالعات متعددی صورت گرفته است که عمده این تحقیقات بررسی روند تاریخی پیشروی و پسروی دریا بوده اند. اندکی از تحقیقات بر مبنای داده های آب و هواشناسی انجام شده است. تعدادی از این مطالعات که عمدتا تا قبل از ۲۰۱۲ هستند، نتیجه تحقیقاتشان حاکی از کاهش سطح آب دریای خزر است ولی بعد از گزارش پنجم IPCC نتیجه تحقیقات حاکی از افزایش است اما عمده این تحقیقات از یک یا دو عنصر ویا عامل آب و هوایی استفاده شده است.

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 پایه بر مبنای دانش سیستم های ساحلی و فرآیندهای آن است. روشی جهت ارزیابی آسیب پذیری ساحلی و مهندسی سواحل و چاره جوبی برای حمایت و تصمیم گیری مبتنی بر دانش علمی در جهت حمایت از سیستم عملکرد ساحلی و نحوه پاسخ به تغییرات آب و هوایی پیش بینی شده در این تحقیق است.

تغییرات بارشی و دمایی بر منابع آب حوضه آبگیر خزر اثر بخش خواهد بود. وضعیت دما و بارش برای کل حوضه آبگیر خزر چنین مشاهده شده است که 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 بین ۱۲تا ۳٦ درصد نسبت به دوره پایه ۲۱۰۰- ۱۹۸۱ مواجه خواهند بود و افزایش بارش همراه با افزایش ابرناکی محیط موجب

کاهش تبخیر و افزایش آب رودخانه های شمالی و پیامد آنها افزایش سطح دریای خزر خواهد بود. کمترین منطقه افزایش بارش قسمت جنوبی دریای خزر پیش بینی شد. ناحیه شمال شرق ایران با افزایش ۱۹ درصد و کرانه های دریای خزر هم ۱۲ 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 حواهند شد، در عین حال ناحیه مزبور بیشترین درصد افزایش دما را هم پیدا خواهد کرد.

بر اساس معادله ۵و٦ الگوی صعودی سطح دریا برای ۲۱۰۰ نسبت به دوره پایه ، ارتفاع سطح آب دریا در هر ماه با تغییر در میانگین جهانی گرمایش در RCP4.5 و RCP8.5 محاسبه شد. در سال ۲۰۳۰، ۲۰٦۰ و ۲۱۰۰ دامنه افزایش سطح دریا در منطقه ساحلی جنوب دریای خزر طبق پیش بینی های مدل بین ۲٦ سانتی متر، ۵۹ سانتی متر و ۱۲۸ سانتی متر با توجه به بدترین حالت یعنی RCP 8.5 و ۲۵ سانتی متر، ۵۳سانتی متر و ۹۹ سانتی متر در خوش بینانه ترین حالت یعنی سناریوی RCP 4.5 همچنان افزایش خواهد داشت. داده ها برای تغییرات تا سال ۲۱۰۰ با استفاده از مدل های گردش عمومی جو بدست آمده است. روند خطر سیل و آب گرفتگی مناطق ساحلی جنوبی دریای خزر و افزایش سطح دریا به دلیل تغییرات آب و هوایی افزایش می یابد.

این مطالعه تاثیر قابل توجهی از آب و هوای ساحلی را نشان می دهد که با تغییر آب و هوا بشدت بر جامعه و چگونگی فعالیت اقتصادی آنها تاثیر خواهند گذاشت. همانطور که در تحقیق حاضر ملاحظه گردید، بخش جامعی از داده ها، مدل ها و روش های مختلف از رشته های مربوط را برای ارائه یک سنتز فشرده از علم و مدل های شبیه سازی افزایش سطح دریا در گذشته، حال و آینده ارائه گردیده است. مدل ها به طور گسترده ای در طراحی و جزئیات به طور کاربردی و ساختاری، فضایی و زمانی بیولوژیکی چشم انداز و غیره کارایی را نشان می دهند. ضروری است که ارزیابی های آینده حد اقل در مقیاس دهه ای و یا حتی هر ۵ سال یکبار انجام شودتا اطمینان حاصل شود که سازگاری ها کار می کنند و تا چه حدودی آنچه در سناریو های خطر پذیر آمده است قابل قبول است. امید است که مدیران، مهندسان و برنامه ریزان شهری به ویژه در نواحی ساحلی، از درک بیشتر از پویایی مدل ها برای پیش بینی علل و پیامدهای تغییر سطح دریا در سواحل جنوبی دریای خزر استفاده نمایند.همچنین سطح اگاهی جامعه در برابر سیلاب ها، پیشروی آب دریا و اقدامات کاهش دهنده خسارات را نیز در بر می گیرد.

منابع

1. Alaei Taleghani, Mahmoud. 2002 . Geomorphology of Iran. Gomes publishing
2. Alijani, Bohlol . 1393. The philosophical foundations of environmental hazards. Quarterly Journal of Environmental Spatial Analysis, Vol. 1: 1-15
3. Asgari Ali .2011. Arcgis spatial analysis. First Edition. Tehran City Municipality Telecommunications Communication Technology Organization.
4. 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). Nat. Hazards Earth Syst, 17: 1075-1089
5. Arpe , K. .2015. Building a forecast model to predict the Caspian Sea level, An international initiative in hydrology.
6. Atalay, A. 2014. Assessmwnt of sea level rise for coastal zone management: vulnerability of fethiye bay, middle east technical university.
7. 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, Georgia.
8. 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, vol. 63, issue 1, p 73-89
9. Chonghua ,Yin.2013. SimCLIM 2013 Data Manual. CLIMsystems.pp 9
10. Dibaei, Mohammad Hussein; Mehdi Ghorbani Birgani. 2010. Climatic Drought Analysis and Its Role in Wheat Production (Case Study: Shooshtar). National Conference on Management of Water Deficit and Drought Stress in Agriculture, Islamic Azad University, Arsanjan Branch
11. Eghtesadi, shahir; Rafiee Zahedi. 2011. Study of Factors Influencing the South Ossetian Water Cascade Fluctuations. Journal of Marine Science and Technology, 10: 4-13
12. Elguindi1, F.; F Giorgi. . 2006. Projected changes in the Caspian Sea level for the 21st century based on the latest AOGCM simulations.
13. Jedari Eyvazi, Jamshid .1995. Geomorphology of Iran. Payam Noor Publications
14. Jirawat, P; M Morshed Ahmad. 2017. Vulnerability of Fishing Communities from Sea-Level Change: A Study of Laemsing District in Chanthaburi Province, Thailand. Sustainability, vol. 9, issue 8: 1-19
15. 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.
16. Kroonenberg , Salomon ; Mikhail , Lychagin ; N.s.Kasimov . 2008. The Caspian Sea, a natural laboratory for sea-level change. Delft University of Technology, Dept of Geotechnology
17. Lissner, T.K.; E.M Fischer. Differential climate impacts for policy-relevant limits to global warming: The case of 1.5 ◦C and 2 ◦C. Earth Syst. Dyn. 2016, 7, 327–351
18. Loski, Brett.2015. Sea Level Rise Modeling and the Predicted Change of Coastal Wetland Systems of Wallop's Island Virginia. shippensburg university
19. Markovic,et,al. 2013 . Modelling of the Aral and Caspian seas drying out influence to climate and environmental changes . Acta geographica Slovenica, 1-54, 2014
20. 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, vol. 53, no. 9, pp. 507-517
21. Nicholls, J, Farley. 2013. Modelling of the Caspian Sea. Space and Atmospheric Physics Group Department of Physics Imperial College
22. 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.395.2
23. Panin, G. N.2010. The Caspian Sea Level fluctuations as an example of local /global climatic change Russia. water problems institute.

24. Roshan,G.;M Moghbel,S Grab. 2012. modeling caspian sea water level oscillations under different scenarios of increasing atmospheric carbon dioxide concentrations. Iranian J Environ Health Sci Eng.v.9 (1) p 24.

25. 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 Vol. 45(2): 296-303

26. Sidorenkov, N., Orlov,I.A.2007. atmospheric circulation pochs and climate changes, hydrometeorological research center of the Russian Federation,P,553.

27. 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. Volume 124, Issue 1–2, pp 317–332.

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

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

30. .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.

31. Vitousek, S.; Barnard, P.L.; Fletcher, C.H.; Frazer, N.; Erikson, L.; Storlazzi, 2017 . C.D. Doubling of coastal flooding frequency within decades due to sea-level rise. Sci. Rep 7, 1399

32. Yousefi Roshan, Mohammad Reza. 2014 . Fluctuations in the level of the Caspian Sea during the period of instrument registration from 1837 to 2014. National Conference on Sustainable Space Development in the Caspian Sea, Mazandaran University, Faculty of Humanities and Social Sciences