

(OPEN ACCESS)

Investigating the future geometry and salinity of the Gorgan Bay affected by optimistic, interstitial and pessimistic scenarios of the Caspian Sea water level reduction

Saeed Sharbaty^{*1}, Samira Sanamno², Saeid Sanamno³

1. Corresponding Author, Instructor, Dept. of Aquatics Production and Exploitation, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: s_sharbaty@yahoo.com
2. Bachelor's Degree Student of Fisheries Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: ssanamno@yahoo.com
3. Bachelor's Degree Student of Fisheries Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: ssanamno@yahoo.com

Article Info

Article type:

Full Length Research Paper

Article history:

Received: 02.16.2024

Revised: 03.25.2024

Accepted: 04.20.2024

Keywords:

Caspian Sea,
Climate changes,
Dryness,
Gorgan Bay,
Salinity,
Water level decreasing

ABSTRACT

Based on the conducted studies, the continuous water level decreasing in the Caspian Sea is not far from expected due to global warming in the next century. Due to the Gorgan Bay (GB) situation in the shallow part of the continental shelf, it faces drought caused by the water level decreasing of the Caspian Sea and the increase in salinity. In this investigation, it has been tried to estimate the salinity and geometric transformations of the GB affected by the optimistic, interstitial and pessimistic scenarios of water level decreasing in the Caspian Sea applying mathematical and geometrical modeling. In the modeling, it is considered that the continuous connection between the bay and the sea is maintained only through the Ashurade channel. The estimated features including of area, volume, perimeter, max depth, mean depth, drought rate, salinity of the bay, the amount of salt received on the beaches, and the time required to the bay drying in all scenarios. Resulting of this study represented that the GB under influence of the optimistic scenario by water level decreasing of 6.7 cm/year until 2063 and with mean salinity of 166.4 gr/lit, and the interstitial scenario by water level decreasing of 17.5 cm/year until 2037 with mean salinity of 49.3 gr/lit, and the pessimistic scenario by water level decreasing of 25 cm/year until 2033 with mean salinity of 28 gr/lit will end its life. In the optimistic scenario, the salinity level in the GB will increase drastically. Although, in the pessimistic scenario, the GB has experienced drought earlier, nevertheless, the salt content received by the beaches (less than 2.6 million tons) in this scenario is less than other. In the optimistic scenario, the maximum amount of salt remained on the beaches was estimated to be more than 4 million tons. It is suggested that an urgent action to creating water exchange channels or pumping methods in the GB with the aim of reducing salinity and investigating on compatibility program in sync with fluctuations of the Caspian Sea in the GB be done.

Cite this article: Sharbaty, Saeed, Sanamno, Samira, Sanamno, Saeid. 2025. Investigating the future geometry and salinity of the Gorgan Bay affected by optimistic, interstitial and pessimistic scenarios of the Caspian Sea water level reduction. *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 14 (2), 141-160.



© The Author(s).

Doi: 10.22069/japu.2024.21678.1855

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

بررسی آینده هندسی و شوری خلیج گرگان متأثر از سناریوهای خوش‌بینانه، بینابینی و بدبینانه کاهش تراز دریای کاسپی

سعید شربتی^{۱*}، سمیرا صنمنو^۲، سعید صنمنو^۳

۱. نویسنده مسئول، مربی گروه تولید و بهره‌برداری آبزیان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

رایانامه: s_sharbaty@yahoo.com

۲. دانشجوی کارشناسی مهندسی شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: ssanamno@yahoo.com

۳. دانشجوی کارشناسی مهندسی شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: ssanamno@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	بر پایه پژوهش‌های انجام شده ادامه کاهش تراز آب در دریای کاسپی متأثر از گرمایش کره زمین در یک سده پیش‌رو دور از انتظار نخواهد بود. خلیج گرگان با نگاه به جای‌گیری در بخش کم‌ترافای فلات قاره با خشکی‌زدگی ناشی از کاهش تراز آب دریای کاسپی و افزایش شوری روبه‌رو می‌باشد. در این پژوهش تلاش گردیده است، با به‌کارگیری مدل‌سازی ریاضی و هندسی نسبت به برآورد شوری و دگرگونی‌های هندسی خلیج گرگان متأثر از سناریوهای خوش‌بینانه، بینابینی و بدبینانه کاهش تراز آب در خلیج گرگان اقدام گردد. در مدل‌سازی‌ها انگاره بر آن است که پیوند مداوم خلیج با دریا تنها از راه کانال آشوراده برقرار باشد. ویژگی‌های برآورد شده دربرگیرنده مساحت، حجم، محیط، بیشینه ژرفا، ژرفای میانگین، میزان خشکی‌زایی، میزان شوری خلیج، میزان نمک دریافتی در سواحل و زمان خشکی‌زدگی کامل خلیج در تمامی سناریوها می‌باشد. فرمود پژوهش بیان می‌دارد که خلیج گرگان متأثر از سناریو خوش‌بینانه و با کاهش سالانه ۶/۷ سانتی‌متری تراز آب حداکثر تا سال ۱۴۴۲ خورشیدی با میانگین شوری ۱۶۶/۴ گرم‌برلیتر و در سناریو میانه با کاهش سالانه ۱۷/۵ سانتی‌متری تراز آب حداکثر تا سال ۱۴۱۶ خورشیدی با میانگین شوری ۴۹/۳ گرم‌برلیتر و در سناریو بدبینانه با کاهش سالانه ۲۵ سانتی‌متری تراز آب حداکثر تا سال ۱۴۱۲ خورشیدی با میانگین شوری ۲۸ گرم‌برلیتر به زندگانی خود پایان خواهد داد. میزان شوری خلیج گرگان در سناریو خوش‌بینانه به شدت افزایش خواهد یافت. هرچند در سناریو بدبینانه خلیج گرگان زودتر دچار خشکی‌زدگی می‌گردد، با این وجود میزان نمک دریافتی سواحل در این سناریو (کم‌تر از ۲/۶ میلیون تن) کم‌تر از دیگر سناریوها می‌باشد. بیش‌ترین میزان نمک برجا مانده بر روی سواحل در سناریو خوش‌بینانه بیش از ۴ میلیون تن برآورد گردید. پیشنهاد می‌گردد نسبت به ایجاد کانال‌های

تعویض آب و یا شیوه‌های پمپاژ برای خلیج گرگان با هدف کاهش شوری و پژوهش برای
اجرای برنامه سازگاری همگام با افت و خیز دریای کاسپی در خلیج گرگان اقدام شتاب‌ناک
انجام گردد.

استناد: شربتی، سعید، صنم‌نو، سمیرا، صنم‌نو، سعید (۱۴۰۴). بررسی آینده هندسی و شوری خلیج گرگان متأثر از سناریوهای خوش‌بینانه،
بینابینی و بدبینانه کاهش تراز دریای کاسپی. نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان، ۱۴ (۲)، ۱۶۰-۱۴۱.

Doi: 10.22069/japu.2024.21678.1855



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

دریای کاسپی یک دریای بسته است که پیوند آن با دریاهای آزاد در دوره خوالین^۱ قدیم (۲۰۰۰۰ هزار سال پیش) گسسته گردیده و از آن پس، افت و خیز تراز آب در آن وابسته به فرآیندهای اقلیمی حاکم بر حوزه آبخیز و سطح آن قرار داشته است. مهم‌ترین کنشگر در دگرگونی تراز آب در خلال ده هزار سال گذشته (هم‌زمان با هولوسن آغازین)، دگرگونی در ویژگی‌های آب‌وهوایی کره زمین بوده است (۱).

از آغاز هولوسن تا به امروز این دریا دست‌کم هفت دوره کاهش تراز آب را تجربه نموده است. دریای کاسپی در دوران سرد و خشک و یا گرم و خشک رفته رفته دچار کاهش تراز گردیده و این جستار سبب به‌وجود آمدن بوم‌سازگان‌های خشکی و دریایی نوپیدا بر روی کرانه‌های ساحلی این دریا گردیده است (۲).

تا پیش از سال ۲۰۰۰ میلادی، پیش‌بینی‌های انجام شده درباره آینده تراز آب دریای کاسپی بیش‌تر بیانگر افزایش تراز و یا ثبات تراز آب برای ۵۰ سال آینده (از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۵۰ میلادی) بوده است (۳). فرنود این پژوهش‌ها سبب گسترش تلاش‌های اقتصادی ساحل محور در ۵ کشور همسایه دریای کاسپی گردید. ولی پس از سال ۱۹۹۷ میلادی رفته‌رفته تراز آب دریای کاسپی رو به کاهش گذارده و پس از سال ۲۰۱۰ میلادی نگرانی‌ها برای ادامه این روند کاهشی افزون گردید. بسیاری از بوم‌سازگان‌های در پیوند با دریا رو به خشکی‌زایی گذارده و بخش چشم‌گیری از سازه‌های دریایی با چالش‌های بی‌شمار روبرو گردیدند. از نگاه دانش، نارسایی در دانش شناخت آینده یکی از برجسته‌ترین کنشگرها در

ایجاد خسارت‌های ناشی از کاهش تراز آب دریای کاسپی بوده است.

پس از تشکیل هیات بین‌الدول تغییراقلیم^۲، رفته‌رفته دانشمندان به توانایی مدل‌های اقلیمی در پیش‌بینی بلندمدت پارامترهای اقلیمی و به‌کارگیری برونداد مدل‌های اقلیمی در شاخه‌های گوناگون دانش پی برده و از آن به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای تصمیم‌سازی‌های بلندمدت استفاده نمودند. یکی از برجسته‌ترین دلایل شکست در پیش‌بینی آینده تراز آب در دریای کاسپی تا پیش از آشنایی با مدل‌های اقلیمی مورد تأیید IPCC، عدم پیشرفت در مدل‌سازی‌های اقلیمی به سبب نبود داده‌های بلندمدت، تفکیک‌پذیری مکانی مدل‌ها و عوامل در نظر گرفته شده در معادلاتی بوده است که اندرکنش زمین با جو را هدف قرار می‌داده‌اند.

از سال ۱۹۹۷ تا سال ۲۰۲۲ میلادی بیش از ۱۵ تلاش پژوهشی برای پیش‌بینی آینده دریای کاسپی با استفاده از مدل‌های گزارش سوم، چهارم و ششم IPCC انجام گردیده است. بررسی این پژوهش‌ها بیانگر ادامه کاهش تراز دریای کاسپی منتج از گرمایش کره زمین تا پایان سال ۲۱۰۰ میلادی در بیش از ۷۶ درصد می‌باشد (جدول ۱).

2- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

1- Khvalynian

جدول ۱- بررسی برونداد مدل‌های هیدرواقليمی به کار گرفته شده بر روی دریای کاسپی و حوزه آبخیز آن در سناریوهای گوناگون.

Table 1. Examining of hydroclimatologic models used on the Caspian Sea and its watershed in various scenarios.

CSL Trend	MSL (Baltic Sea) (meter)	Methods	Researcher	ردیف
روند تغییرات	تراز دریای کاسپی نسبت	روش علمی	پژوهشگر	
تراز دریا	به دریای بالتیک (متر)			
Decreasing	2005= -27.2 to -27.3, 2015= - 27.6 to -28, 2030= -28.4 to -28.9	3 AOGCMs (7 scenarios)	Erlich et al., (2002) (۱۸)	۱
Decreasing	By the end of the 21st century, the ensemble average of the model-based estimates suggests a 9 meter drop in the CSL for both scenarios analyzed.	7 AOGCMs (A2 , A1B)	Elguini and Giorgi, (2006)(۱۹)	2
Decreasing	2070 to 2100 → Max -5m	3 RCMs (A2)	Elguini and Giorgi, (2007) (۲۰)	3
Decreasing	2000 to 2100= -4.5m	One AOGCM (ECBilt-CLIO- VECODE, A1B)	Renssen et al., (2007) (۲۱)	4
Increasing	2000 to 2100= Mean Scenarios +2m	ECHAM5, A1B	Arpe and Leroy, (2007) (۲۲)	5
Fluctuations	2000 – 2100 → The rise and fall of the CSL in the range of ±5 meters.	7 CMIP3 AOGCMs (A2)	Meleshko et al., (2008) (۲۳)	6
Decreasing and then Increasing	2025 (-62cm), 2050(+317cm), 2075 (+86cm) and 2100 (+163cm)	(UKHADGEM, 5 Scenarios)	Roshan et al., (2012) (۲۴)	7
Decreasing	2010 to 2050 = -3m	7 GCMs (A1B), CMIP3	Varlaan et al., (2014) (۲۵)	8
Increasing	2010 to 2100=+ 25 to +99cm (RCP4.5) & +26 to +128cm (RCP8.5)	3 AOGCMs (RCP4.5, RCP8.5), CMIP5	Saberi Louyeh et al., (2019) (۲۶)	9
Decreasing	2020 to 2100= -9 m (RCP4.5) to -18 m (RCP8.5)	CESM1.2.2 (RCP4.5, RCP8.5)	Nandidni et al., (2019) (۲۷)	10
Decreasing and then Increasing	2015 (-28) to 2050 (-26)	One AOGCM (CanESM5, 7ssp)	Hoseini and Soltanpur, (2020) (۲۸)	11
Decreasing	RCP4.5: 2030 (min -29.23), (max -31.84) RCP8.5:2050 (min -29.63), (max -33.67)	CCSM (RCP4.5 , RCP8.5)	Ivkina and Galayeva, (2020) (۲۹)	12
Decreasing	By 2100, up to 8 m (RCP4.5) and 10 m (RCP8.5) decrease in CS level and up to 20 m (SSP245) and 30 m (SSP585) scenario models is found using models.	AOGCMs (11 Models, RCP4.5, 8.5), (7 Models, ssp245 , 585)	Koriche et al., (2021) (۱۱)	13
Decreasing	CSL drop -30 m and Then, with the complete disappearance of the Qara Boghaz Gol Bay, the balance will be reached.	CMIP5 (RCP 2.6, 4.5, 8.5)	Tatarinkov and Ocherenty, (2021) (۱۰)	14
Decreasing	SSP2-4.5 remaining at current levels by 2050 and decreasing by 2100. SSP8-8.5 CSL will remain stable from the beginning to 2050, but from this year on, its decline will begin.	INM-CM4-8, MIROC-ES2L, MPI-ESM1-2-LR. SSP2-4.5, SSP5-8.5	Eeslami and Ghanghermeh (2022) (۳۰)	15

آمده انجام پذیرد. امروزه خلیج گرگان تنها به سبب مطالعات فاقد آینده‌پژوهی و عدم در نگاه داشتن ادامه کاهش تراز آب، دچار چالش‌های بی‌شمار از جمله افزایش شوری آب و خاک سواحل خلیج، کاهش

با نگاه به نوسانی بودن تراز آب در دریای کاسپی، هرگونه دست‌اندازی در بوم‌سازگان‌های تالابی در این دریا باید با آینده‌نگری و با هدف جلوگیری از خسارات وارده به پیکره آبی و خشکی‌های به‌وجود

خودپالایی و افزایش خوراک‌وری و در پی آن دگرگونی در شبکه زیستی گردیده است.

با نگاه به این‌که خلیج گرگان در بخش کم‌زرفای فلات قاره جای دارد، با کم‌ترین افت و خیز تراز آب دریای کاسپی بیش‌ترین کاهش و یا افزایش مساحت آبی را در برابری با دیگر پیکره‌های تالابی- دریایی تجربه می‌نماید. کاهش تراز آب سبب گردیده است تا مساحت خلیج گرگان از ۴۵۰ کیلومتر مربع در سال ۱۳۹۰ خورشیدی (تراز منفی ۲۶/۵ متر نسبت به خلیج فارس) به کم‌تر از ۳۰۰ کیلومترمربع در سال ۱۴۰۲ خورشیدی کاهش یابد و بخش باختری خلیج گرگان جای گرفته در استان مازندران که تا سال ۱۳۹۷ خورشیدی به‌عنوان پناهگاه حیات وحش به‌کار می‌رفته است، به پتانسیل کانون ریزگرد آینده در شمال کشور شناخته گردد.

پس از برپایی کارگروه‌های کارشناسی نجات خلیج گرگان در سطوح استانی و ملی و سپس واگذاری مطالعات به‌دست شرکت مشاور پویا طرح پارس (۴) و تدقیق مطالعات به‌دست مرکز ملی اقیانوس‌شناسی (۵)، مدیران برآن شدند تا نسبت به لایروبی کانال آشورآده برای جلوگیری از گسست پیوند خلیج از دریا و هم‌چنین تامین آب از دریا برای خلیج گرگان اقدام نمایند. این راه‌کار سبب بروز اختلاف دیدگاه در بین پژوهش‌گران گردید، به‌گونه‌ای که مخالفان ایده لایروبی کانال‌های سنتی، افزایش شوری در خلیج گرگان و در اراضی نوپیدا را در آینده نزدیک متأثر از تامین آب از دریا بدون در نگاه داشتن تعویض آب در خلیج مطرح نمودند. هم‌چنین مخالفان لایروبی کانال‌های سنتی بر این باور بوده‌اند که مطالعات انجام شده فاقد آینده‌پژوهی بوده و جستار ادامه‌دار بودن کاهش تراز آب دریای کاسپی را در نگاه نداشته است و از این‌رو کانال‌های بالاگفت فاقد کارکرد مهندسی و بوم‌شناختی بوده و در آینده بسیار

نزدیک نیازمند دوباره‌کاری‌ها و لایروبی‌های متعدد و صرف هزینه‌های ریالی بی‌شمار خواهند بود. این دسته از پژوهش‌گران احداث کانال انزان به همراه لایروبی مختصر در دهانه ورودی خلیج را برای بهبود رژیم تعویض آب در خلیج به‌همراه مدیریت آب و آلودگی در حوزه آبخیز خلیج گرگان را برای جلوگیری از ایجاد بوم‌سازگان‌های تخریبی پیشنهاد نموده‌اند (۶).

تا پیش از سال ۱۳۹۹ خورشیدی خلیج گرگان در گروه تالاب‌های لب‌شور قرار داشته است (۷)، ولی پس از این سال و به سبب تامین آب از دریا بدون نگاه به جستار برجسته تعویض آب در این حوضه نیمه بسته و تبخیری، شوری آن به بیش از ۴۰ گرم بر لیتر (تابستان ۱۴۰۲) و بیش از شوری دریاهای آزاد رسیده است. با توجه به ادامه روند کاهش تراز آب، بیم افزایش شوری در خلیج گرگان دوست‌داران محیط زیست را نگران نموده است. خلیج گرگان به سبب مساحت برجسته و نداشت منابع آب شیرین کافی، یک حوضه تبخیری بوده که منبع اصلی تامین آب در آن از راه دریا می‌باشد و در نگاه نداشتن جستار افزایش شوری سبب‌ساز چالش‌های بی‌شمار در آینده بسیار نزدیک خواهد شد.

در این پژوهش تلاش گردیده است تا نسبت به ساخت آینده‌هندسی خلیج گرگان متأثر از سناریوهای خوش‌بینانه، بینابینی و بدبینانه مستخرج از دستاوردهای پژوهشی پژوهش‌گران و با انگاره پیوند پایستار خلیج با دریا تنها از راه کانال آشورآده اقدام گردد. هم‌چنین برای برآورد میزان شوری خلیج گرگان در سال‌های آینده و میزان نمک باقی مانده در سواحل، نسبت به ایجاد یک معادله خطی با انگاره‌های ساده شده اقدام گردیده است. برون‌داد این پژوهش هشدار است برای ایجاد شوره‌زار کامل بر روی خشکی‌های خلیج گرگان و از میان رفتن کارکردهای بوم‌شناختی خلیج هم‌چون دگرگونی در تنوع زیستی و شبکه‌های زیستی

ناشی از ادامه کاهش تراز آب در دریای کاسپی می‌باشد.

جای گرفته است (۸). خلیج گرگان در بخش جنوب باختری آب‌های سواحل شمالی کشور جای گرفته و امروزه دارای درازای ۵۰ کیلومتر و پهنای ۱۲ کیلومتر می‌باشد (شکل ۱). اقلیم حاکم بر پیکره خلیج گرگان از نوع مدیترانه‌ای بوده و دست‌کم ۱۳ رودخانه فصلی به آن می‌ریزد.

مواد و روش‌ها

معرفی خلیج گرگان: خلیج گرگان بخشی از ذخیره‌گاه زیست‌کره میانکاله می‌باشد که در سال ۱۳۵۴ به همراه تالاب‌های لپو و زاغ‌مرز و همچنین زبانه ماسه‌ای میانکاله در فهرست کنوانسیون رامسر

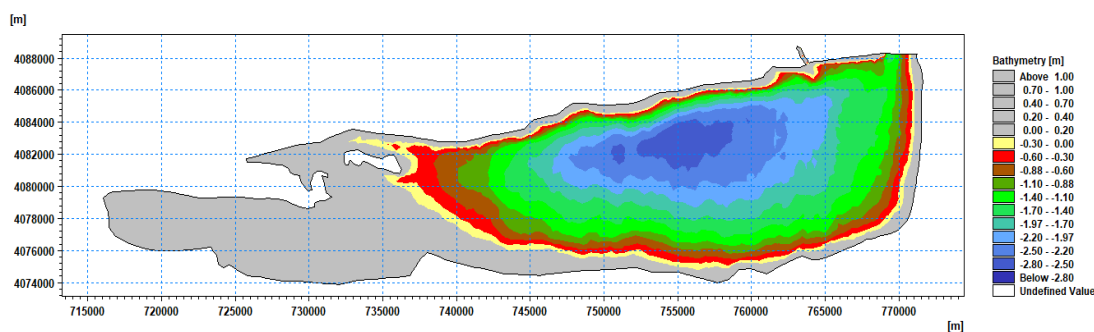


شکل ۱- موقعیت جایگیری خلیج گرگان در گوشه جنوب باختری دریای کاسپی (منبع شکل اینترنت).

Figure 1. The Gorgan Bay location in the south-western of the Caspian Sea.

این سه نقشه، نسبت به ورود داده‌ها به ماژول تولیدگر مش از نرم‌افزار مایک ۲۱ اقدام گردید (۹). مدل هندسی بصورت مثلی مش‌بندی شده و با درونیابی ژرفاها در این ماژول، مش پایه خلیج گرگان در سال ۱۴۰۰ خورشیدی ساخته شد (شکل ۲).

ساخت هندسه خلیج گرگان در سناریوهای گوناگون: برای ساخت مدل هندسی خلیج گرگان از سه نقشه هیدروگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ متعلق به سازمان نقشه‌برداری کشور استفاده شده است. از این رو پس از رقومی‌سازی نقشه‌ها و هم‌تراز ساختن ژرفا در



شکل ۲- نقشه آب‌نگاری خلیج گرگان در سال ۱۴۰۰ خورشیدی و در تراز ۲۷/۷۷ متر.

Figure 2. The Gorgan Bay Hydrographic map in 2021 at the level of 27.77 meters.

ویژگی‌های هندسی خلیج در سال ۱۴۰۰ فارس در جدول ۲ بیان گردیده است. خورشیدی و در تراز منفی ۲۷/۷۷ نسبت به خلیج

جدول ۲- ویژگی‌های هندسی خلیج گرگان در سال ۱۴۰۰ خورشیدی.

Table 2. The Geometric features of the Gorgan Bay in 2021.

مساحت (km ²)	محیط (km)	حجم (km ³)	ژرفای بیشینه (m)	ژرفای میانگین (m)
Area (km ²)	Perimeter (km)	Volume (km ³)	Max Depth (m)	Mean Depth (m)
323.22	97.46	0.46	2.79	1.43

تراز آب از عوامل و انگاره‌های شناخته شده برای ساده‌سازی معادله خطی استفاده گردیده است. به‌گونه‌ای که منابع آب شیرین وارده به خلیج هم‌چون آب‌خوان‌ها، بارش و رودخانه‌ها (با انگاره شوری صفر) سبب کاهش شوری خلیج شده و تبخیر و ورودی دریا سبب افزایش شوری می‌گردد. افزایش درون سالیانه تراز آب در دریای کاسپی سبب افزایش شوری و کاهش درون سالیانه تراز آب سبب کاهش شوری خلیج گرگان خواهد شد. هم‌چنین عامل کاهش سالانه تراز آب در دریای کاسپی و خشکی‌زایی‌های متناظر با آن در سناریوهای گوناگون سبب کاهش شوری در خلیج گرگان خواهد شد. در این پژوهش به‌سبب همجواری دهانه ورودی خلیج گرگان با مصب گرگان‌رود و تأثیر این رود بزرگ بر دگرگونی‌های شوری خلیج گرگان، شوری دریا در دو سناریو گوناگون یعنی ۱۰ گرم‌برلیتر و ۱۳ گرم‌برلیتر گزینش گردیده و برای بیان فرنود پایانی پژوهش درباره شوری، از میانگین شوری این دو سناریو پس از پایان برآوردها استفاده گردیده است.

بیان عوامل و انگاره‌ها در ساخت معادله خطی شوری در خلیج گرگان: خلیج گرگان دارای سه حوزه آبخیز (قره‌سو، خلیج گرگان و نکارود) می‌باشد، که سالانه کم‌تر از ۳۵ میلیارد لیتر آب شیرین به خلیج گرگان وارد می‌کنند. در این پژوهش پذیرفته شده است که میزان شوری رودخانه‌ها برابر صفر می‌باشد.

سپس نسبت به کاهش ژرفای مش پایه، در سه سناریو گوناگون اقدام گردیده و این روش آن میزان ادامه یافت تا خلیج گرگان به یک بوم‌سازگان خشکی بدل گردد. برای سناریوسازی کاهش تراز آب از فرنود پژوهش تاتارنیکوف و اُشرنتی (۲۰۲۲) برای سناریوهای خوش‌بینانه و میانه و هم‌چنین فرنود پژوهش کوریچ و همکاران (۲۰۲۱) برای سناریو بدبینانه درباره مدل‌سازی تراز آب دریای کاسپی متأثر از دگرگونی‌های اقلیمی و عوامل انسانی استفاده شده است (۱۰ و ۱۱). از این‌رو در سناریوی خوش‌بینانه سالانه به میزان ۶/۷ سانتی‌متر از ژرفای خلیج، در سناریو میانه سالانه ۱۷/۵ سانتی‌متر از ژرفای خلیج و در سناریو بدبینانه سالانه به میزان ۲۵ سانتی‌متر از ژرفای خلیج کاسته گردید. هم‌چنین در همگی سناریوها این انگاره پذیرفته شده است که خلیج گرگان تنها از راه کانال آشورآده به‌طور پیوسته با دریای مادری در پیوند می‌باشد. برون‌داد این بخش از پژوهش شامل مساحت، محیط، ژرفای بیشینه، ژرفای میانگین، میزان خشکی‌زایی در هر سال و زمان لازم برای خشکی‌زدگی کامل خلیج در سناریوهای گوناگون می‌باشد.

برآورد شوری خلیج گرگان در سناریوهای گوناگون: برای برآورد میزان شوری خلیج از سه سناریوی به‌کار گرفته شده در بخش برآورد هندسی خلیج گرگان استفاده شد. در برآورد شوری خلیج متأثر از کاهش

می‌باشد، که انگاره بسیار دست پائینی در برآوردها به نفع کاهش شوری خواهد بود.

برای بررسی منحنی نوسانات دریای کاسپی و میزان دگرگونی‌های درون سالانه تراز آب نسبت به بررسی داده‌های مستخرج از درگاه هیدروپ از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۲۲ میلادی استفاده گردید (۱۳). داده‌ها نشان می‌دهد که در بیش‌تر زمان‌ها تراز دریا از ۱۵ بهمن هر سال رو به افزایش گذارده و پس از افزایش ۳۰ سانتی‌متری در ۱۵ مردادماه، دوباره به همین میزان رو به کاهش خواهد بود. از این‌رو از مقادیر ± 30 سانتی‌متر به عنوان میزان تراز درون سالانه سطح آب دریای کاسپی در محاسبات استفاده گردید. معادله استفاده شده برای محاسبه شوری به قرار زیر می‌باشد:

$$S_{Total} = -R \downarrow -P \downarrow -Sub \downarrow -WL_{RCP_i} \downarrow -WL_{Decreasing} \downarrow + WL_{Increasing} \uparrow + E_V \uparrow -\Delta S \downarrow$$

و از کل نمک موجود در خلیج گرگان کسر گردیده است:

$$\Delta v_{RCP_i} = \Delta A \times (H_{RCP_i})$$

در رابطه فوق، Δv تغییر حجم سواحل در بازه زمانی یک‌ساله متأثر از کاهش سالانه تراز آب در سناریو مفروض، ΔA مساحت خشکی‌زایی ناشی از کاهش سالانه تراز آب و H_{RCP_i} بیانگر میزان کاهش تراز آب در سناریو مفروض می‌باشد.

$$\Delta S = \Delta v_{RCP_i} \times \bar{S}_0$$

در رابطه بالا، ΔS بیانگر نمک وارد شده به خاک‌های ساحلی (برابر نمک کاسته شده از خلیج گرگان) و $\bar{S}_0$ میانگین شوری اولیه خلیج در سال پیشین بر حسب گرم بر لیتر و Δv_{RCP_i} بیانگر حجم سواحل خشکی‌زده می‌باشند.

به دلیل نبود داده درباره آب‌خوان‌های ورودی به خلیج از فرنود پژوهش بر روی آب‌خوان بندرگز استفاده گردید (۱۲). از این رو میزان دبی آب‌خوان‌های قره‌سو و نکارود که وارد خلیج گرگان می‌گردد، برابر میزان دبی آب‌خوان بندرگز گزینش شده است. میزان دبی ورودی آب شیرین وارده از آب‌خوان‌ها به خلیج جمعاً برابر ۱/۸ مترمکعب بر ثانیه گزینش شده و در محاسبات از آن استفاده شده است.

میانگین بارش در ایستگاه بندرترکمن از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۲ میلادی برابر ۰/۰۴ میلی‌متر بر روز برآورد و در مدل‌سازی استفاده شد. بررسی داده‌های تبخیر ایستگاه بندرترکمن در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۲ میلادی بیانگر میانگین تبخیر ۲ میلی‌متر بر روز

در این معادله، S_{Total} بیانگر میزان شوری در پایان هر سال، R برآیند ورودی رودخانه‌ها، P بارش بر روی سطح خلیج، Sub ورودی آب‌خوان‌ها به خلیج، WL_{RCP_i} کاهش تراز آب دریا در سناریو مفروض، $WL_{Decreasing}$ کاهش درون‌سالانه تراز آب در خلیج گرگان، $WL_{Increasing}$ افزایش تراز درون سالانه سطح آب در خلیج گرگان، E_V تبخیر از سطح خلیج و ΔS میزان شوری بجا مانده بر روی سواحل خشکی‌زده می‌باشد. علامت - و سیمبل $\downarrow$ بیانگر کاهش و علامت + و سیمبل $\uparrow$ بیانگر افزایش شوری می‌باشد.

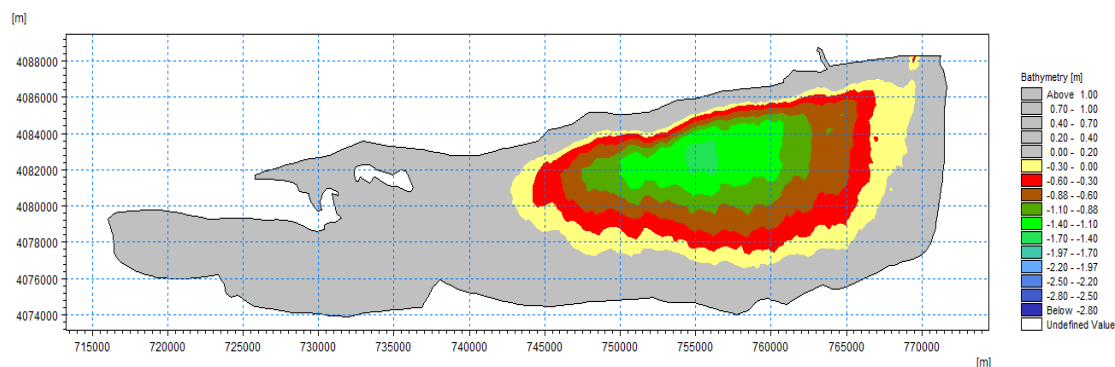
برای برآورد کاهش شوری ناشی از جذب نمک توسط سواحل خشکی‌زده خلیج گرگان که سالانه متأثر از کاهش تراز آب از گستره خلیج گرگان خارج گردیده و به بوم‌سازگان خشکی اضافه می‌گردند، نسبت به برآورد حجم خشکی‌زدگی در سناریوهای متناظر اقدام و میزان نمک دریافتی از رابطه زیر برآورد

نتایج

برونداد پژوهش در بخش مدل‌سازی هندسی خلیج گرگان

سناریوی خوش‌بینانه: مدل‌سازی هندسی خلیج گرگان در سناریوی خوش‌بینانه و با کاهش ۶/۷

سانتی‌متری تراز آب در سال نشان می‌دهد که خلیج گرگان تا سال ۱۴۴۲ خورشیدی و در تراز منفی ۳۰/۵۸۴ متر به یک بوم‌سازگان خشکی بدل خواهد شد. شکل ۳ بیانگر هیدروگرافی خلیج گرگان در تراز منفی ۲۹/۰۴ متر و در سال ۱۴۱۹ خورشیدی می‌باشد.



شکل ۳- هیدروگراف خلیج گرگان در سال ۱۴۱۹ خورشیدی و در سناریوی خوش‌بینانه.

Figure 3. The Gorgan Bay Hydrographic map in the optimistic scenario in 2040.

جدول ۳ شامل مساحت، محیط، ژرفای بیشینه، میانگین تراز آب در دریای کاسپی و میزان خشکی‌زایی با گام زمانی ۸ ساله با هدف کاهش حجم داده‌ها در نوشتار کنونی می‌باشد.

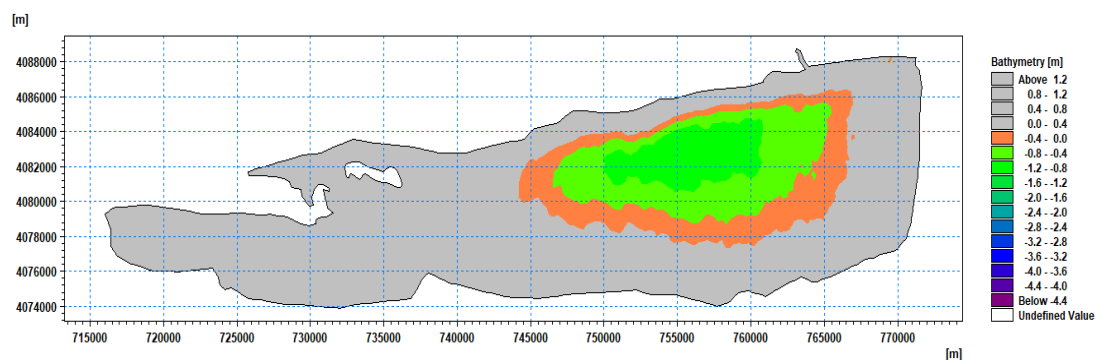
جدول ۳- ویژگی‌های هندسی خلیج گرگان در سناریوی خوش‌بینانه.

Table 3. The Gorgan Bay Geometric features in the optimistic scenario.

سال (خورشیدی)	مساحت (km ²)	محیط (km)	حجم (km ³)	ژرفای بیشینه (m)	ژرفای میانگین (m)	میزان خشکی‌زایی نسبت به سال پایه (km ²)	میانگین تراز آب دریای کاسپی (m)
Year	Area (km ²)	Perimeter (km)	Volume (km ³)	Max Depth (m)	Mean Depth (m)	Dryness rate compared to the base year (km ²)	Mean Sea Level of Caspian Sea (m)
1408	292.07	82.08	0.31	2.26	1.07	31.15	28.31
1416	226.56	73.92	0.17	1.72	0.75	96.66	28.84
1424	142.12	59.72	0.07	1.18	0.5	181.1	29.378
1432	62.52	43.19	0.015	0.65	0.24	260.7	29.914
1440	3.34	8.47	0.0001	0.11	0.03	319.88	30.45

بوم‌سازگان خشکی بدل خواهد شد. شکل ۴ بیانگر هیدروگرافی خلیج گرگان در تراز منفی ۲۹/۳۴۵ متر و در سال ۱۴۰۹ خورشیدی می‌باشد.

سناریوی بینابینی: مدل‌سازی هندسی خلیج گرگان در سناریوی بینابینی و با کاهش ۱۷/۵ سانتی‌متری تراز آب در سال نشان می‌دهد که خلیج گرگان تا سال ۱۴۱۶ خورشیدی و در تراز منفی ۳۰/۵۷ متر به یک



شکل ۴- هیدروگراف خلیج گرگان در سال ۱۴۰۹ خورشیدی و در سناریوی بینابینی.

Figure 4. The Gorgan Bay Hydrographic map in the intermediate scenario in 2030.

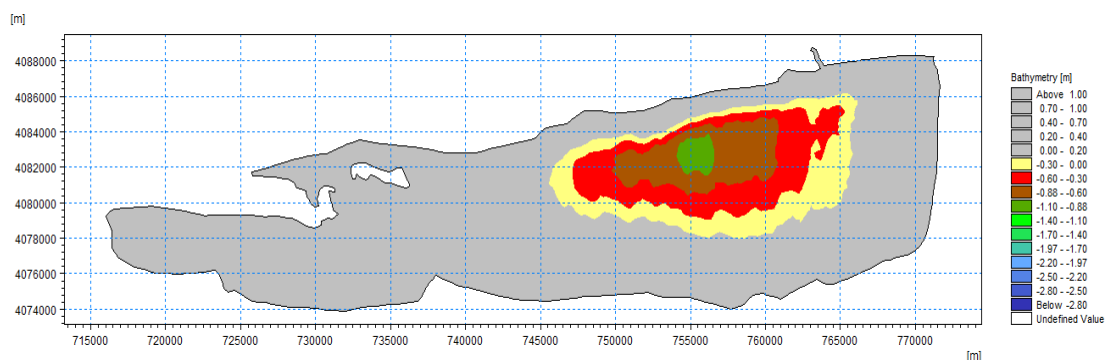
جدول ۴ بیانگر مساحت، محیط، ژرفای بیشینه، میزان خشکی‌زایی با گام زمانی ۵ ساله با هدف کاهش ژرفای میانگین، میانگین تراز آب در دریای کاسپی و نمایش داده‌ها در نوشتار کنونی می‌باشد.

جدول ۴- ویژگی‌های هندسی خلیج گرگان در سناریوی بینابینی.

Table 4. The Gorgan Bay Geometric features in the intermediate scenario.

سال (خورشیدی)	مساحت (km ²)	محیط (km)	حجم (km ³)	ژرفای بیشینه (m)	ژرفای میانگین (m)	میزان خشکی‌زایی (km ²)	میانگین تراز آب در دریای کاسپی (m)
Year	Area (km ²)	Perimeter (km)	Volume (km ³)	Max Depth (m)	Mean Depth (m)	Dryness (km ²)	Mean Sea Level of Caspian Sea (m)
1405	247.9	75.7	0.21	1.92	0.85	75.32	28.645
1410	117.2	51.9	0.05	1.04	0.42	206.02	29.52
1415	4.4	8.5	0.0003	0.17	0.07	318.82	30.395

سناریوی بدبینانه: مدل‌سازی هندسی خلیج گرگان در سناریوی بدبینانه و با کاهش ۲۵ سانتی‌متری تراز آب در سال نشان می‌دهد که خلیج گرگان تا سال ۱۴۱۲ خورشیدی و در تراز منفی ۳۰/۵۲ به یک بوم‌سازگان خشکی بدل خواهد شد. شکل ۵ بیانگر هیدروگرافی خلیج گرگان در تراز منفی ۲۹/۵۲ متر و در سال ۱۴۰۷ خورشیدی می‌باشد.



شکل ۵- هیدروگراف خلیج گرگان در سال ۱۴۰۷ خورشیدی و در سناریوی بدبینانه.

Figure 5. The Gorgan Bay Hydrographic map in the pessimistic scenario in 2028.

جدول ۵ بیانگر برونداد این بخش از پژوهش خشکی‌زایی با گام زمانی ۳ ساله با هدف کاهش حجم شامل مساحت، محیط، ژرفای بیشینه، ژرفای میانگین، میانگین تراز آب در دریای کاسپی و میزان داده‌ها می‌باشد.

جدول ۵- ویژگی‌های هندسی خلیج گرگان در سناریوی بدبینانه.

Table 5. The Gorgan Bay Geometric features in the pessimistic scenario.

سال (خورشیدی)	مساحت (km ²)	محیط (km)	حجم (km ³)	ژرفای بیشینه (m)	ژرفای میانگین (m)	میزان خشکی‌زایی (km ²)	میانگین تراز آب در دریای کاسپی (m)
Year	Area (km ²)	Perimeter (km)	Volume (km ³)	Max Depth (m)	Mean Depth (m)	Dryness (km ²)	Mean Sea Level of Caspian Sea (m)
1402	293.67	83.10	0.32	2.29	1.09	29.55	28.27
1405	202.09	73.19	0.13	1.54	0.63	121.13	29.02
1408	85.13	48.56	0.02	0.79	0.29	238.09	29.77
1411	0.1	1	0.000002	0.04	0.02	323.12	20.52

شوری خلیج کاسته شده تا این‌که در پایان سال ۱۴۴۲ خورشیدی دارای میانگین ۱۶۶/۴ گرم‌برلیتر خواهد شد. در این سناریو کل شوری برجای مانده بر روی سواحل خلیج گرگان ۴۰۶۷۴۱۶ تن برآورد گردیده است. جدول ۶ ویژگی‌های شوری خلیج گرگان را در بازه‌های زمانی ۱۰ ساله بیان می‌دارد. شکل ۶ تغییرات شوری خلیج گرگان به‌همراه کاهش مساحت خلیج گرگان را در سناریو خوش‌بینانه به نمایش گذاشته است.

برونداد پژوهش در بخش مدل‌سازی شوری در خلیج گرگان

سناریوی خوش‌بینانه: مدل‌سازی شوری خلیج گرگان متأثر از سناریوی خوش‌بینانه نشان می‌دهد که در این سناریو میانگین شوری از سال ۱۴۰۱ (۲۹ گرم‌برلیتر) رفته‌رفته افزایش یافته تا این‌که در سال ۱۴۳۰ خلیج دارای بیشینه میانگین شوری ۱۸۳/۹ گرم‌برلیتر شده و سپس به سبب کاهش ورودی دریا به خلیج و برتری ورودی رودخانه‌ها و منابع آب زیرسطحی، از میزان

جدول ۶- میزان شوری در سواحل و میزان شوری در خلیج گرگان در سناریو خوش‌بینانه.

Table 6. The salinity in the coasts and the Gorgan Bay in the optimistic scenario.

سال	مساحت خلیج (km ²)	حجم خلیج (km ³)	میزان خشکی‌زایی (km ²)	شوری خلیج (gr/lit)	میزان شوری به‌جامانده در سواحل خلیج (Ton)
Year	Area (km ²)	Volume (km ³)	Dryness (km ²)	Bay Salinity (gr/lit)	The amount of salinity remaining on the Bay coasts (Ton)
1401	322.16	0.43	0.66	29.05	1397
1410	279.94	0.27	6.08	105.2	46403
1420	194.03	0.11	5.44	164.5	68430
1430	83.8	0.025	9.09	183.9	131911
1440	3.34	0.0001	2.16	168.85	29499



شکل ۶- منحنی تغییرات شوری خلیج گرگان در مقایسه با تغییرات مساحت خلیج گرگان در سناریو خوش بینانه.
Figure 6. The salinity changes curve in the Gorgan Bay compared to the Gorgan Bay area changes in the optimistic scenario.

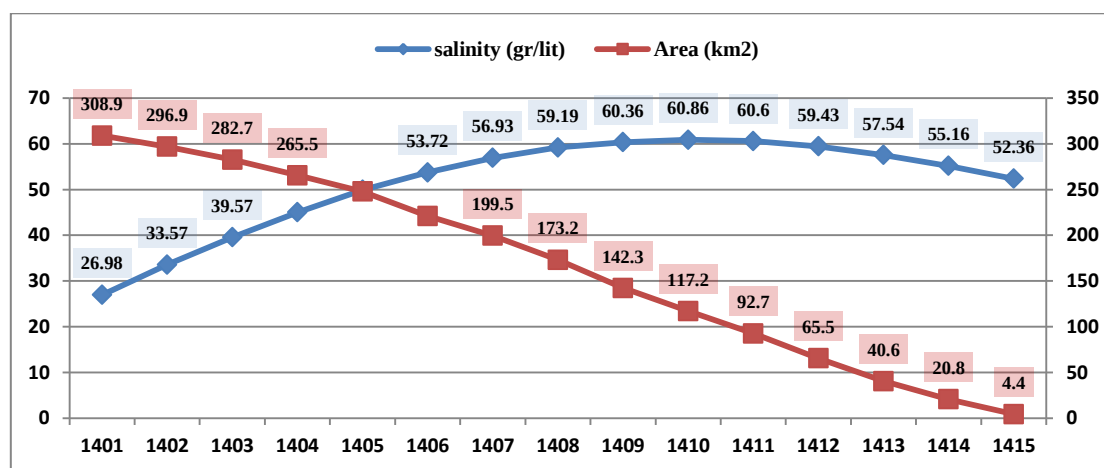
در این سناریو بیشترین میزان شوری برجامانده در سواحل در سال ۱۴۰۹ و در تراز منفی ۲۹/۳۴۵ متر به میزان ۲۸۵۳۰۷/۵ تن می باشد که بر روی زمینی به مساحت ۳۰/۹ کیلومترمربع ترسیب خواهد شد. جدول ۷ ویژگی های شوری خلیج گرگان را در بازه های زمانی ۴ ساله بیان می دارد. شکل ۷ تغییرات شوری خلیج گرگان به همراه کاهش مساحت خلیج گرگان را در سناریو بینابینی به نمایش گذاشته است. همچنین در شکل ۸ ارتباط بین میزان نمک دریافتی در سواحل با مساحت خشکی زایی بیان گردیده است.

سناریوی بینابینی: مدل سازی شوری خلیج گرگان متأثر از سناریوی بینابینی نشان می دهد که در این سناریو میانگین شوری از سال ۱۴۰۱ (۲۶ گرم برلیتر) رفته رفته افزایش یافته تا این که در پایان سال ۱۴۱۰ خورشیدی خلیج دارای بیشینه میانگین شوری ۵۸ گرم برلیتر شده و سپس به سبب کاهش ورودی دریا به خلیج و برتری ورودی رودخانه ها و منابع زیرسطحی از میزان شوری خلیج کاسته شده تا این که در پایان سال ۱۴۱۶ خورشیدی دارای میانگین ۴۹/۶ گرم برلیتر خواهد شد. در این سناریو کل شوری برجای مانده بر روی سواحل خلیج گرگان ۲۶۹۴۸۲۸ تن می باشد.

جدول ۷- میزان شوری در سواحل و میزان شوری در خلیج گرگان در سناریو بینابینی.

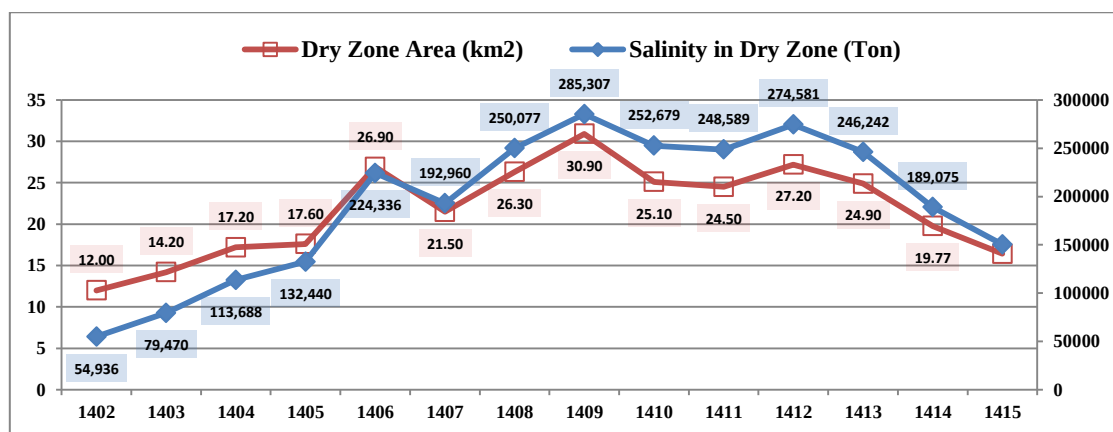
Table 7. The salinity in the coasts and the Gorgan in the intermediate scenario.

سال	مساحت خلیج (km ²)	حجم خلیج (km ³)	میزان خشکی زایی (km ²)	شوری خلیج (gr/lit)	میزان شوری به جامانده در سواحل خلیج (Ton)
Year	Area (km ²)	Volume (km ³)	Dryness (km ²)	Bay Salinity (gr/lit)	The amount of salinity remaining on the Bay coasts (Ton)
1402	296.09	0.35	12	30.5	56868
1406	221	0.17	26.9	51.15	244460
1410	117.2	0.05	25.1	58.1	282833
1414	20.8	0.002	19.8	49.5	209792



شکل ۷- منحنی تغییرات شوری خلیج در مقایسه با تغییرات مساحت خلیج گرگان در سناریو بینابینی.

Figure 7. The salinity changes curve in the Gorgan Bay compared to the Gorgan Bay area changes in the intermediate scenario.



شکل ۸- منحنی میزان شوری دریافتی توسط سواحل در مقایسه با مساحت خشکی‌زائی در خلیج گرگان در سناریو بینابینی.

Figure 8. The salinity amount curve received by the coasts compared to the Gorgan Bay drying land in the intermediate scenario.

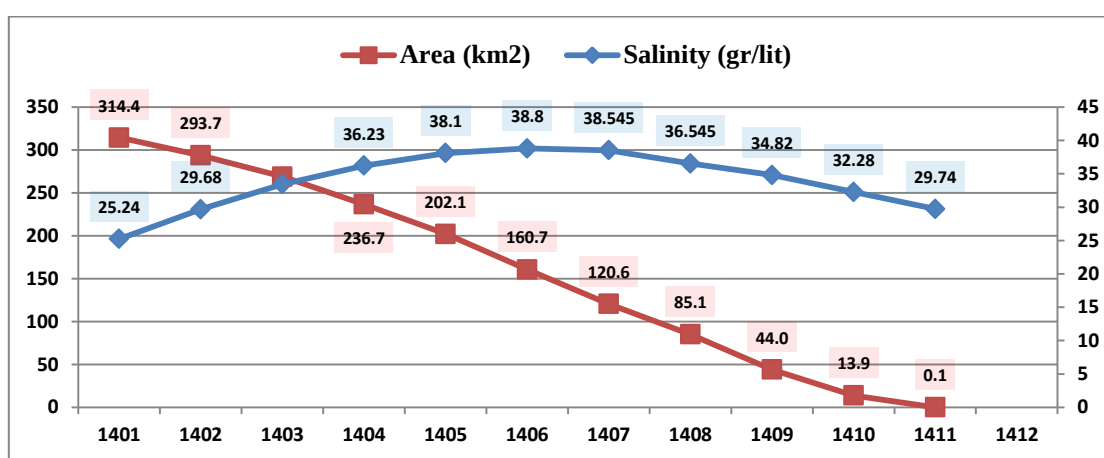
در این سناریو بیش‌ترین میزان شوری برجامانده در سواحل در سال ۱۴۰۶ و در تراز منفی ۲۹/۲۷ متر به‌میزان ۳۹۴۱۴۴/۵ تن می‌باشد که بر روی زمینی به مساحت ۴۱/۴ کیلومترمربع ترسیب خواهد شد. جدول ۸ ویژگی‌های شوری خلیج گرگان را در بازه‌های زمانی ۳ ساله بیان می‌دارد. شکل ۹ تغییرات شوری خلیج گرگان به‌همراه کاهش مساحت خلیج گرگان را در سناریو بدبینانه به نمایش گذاشته است. همچنین در شکل ۱۰ ارتباط بین میزان نمک دریافتی در سواحل با مساحت خشکی‌زایی بیان گردیده است.

سناریوی بدبینانه: مدل‌سازی شوری خلیج گرگان متأثر از سناریوی بدبینانه نشان می‌دهد که در این سناریو میانگین شوری از سال ۱۴۰۱ (۲۹ گرم برلیتر) رفته‌رفته افزایش یافته تا این‌که در سال ۱۴۰۶ خورشیدی خلیج دارای بیشینه میانگین شوری ۳۸/۷ گرم برلیتر شده و سپس به سبب کاهش ورودی دریا به خلیج و برتری ورودی رودخانه‌ها و منابع زیرسطحی از میزان شوری خلیج کاسته شده تا این‌که در پایان سال ۱۴۱۲ خورشیدی دارای میانگین ۲۸ گرم برلیتر خواهد شد. در این سناریو کل شوری بر جای مانده بر روی سواحل خلیج گرگان ۲۶۱۹۲۹۰ تن می‌باشد.

جدول ۸- میزان شوری در سواحل و میزان شوری در خلیج گرگان تحت سناریو بدبینانه.

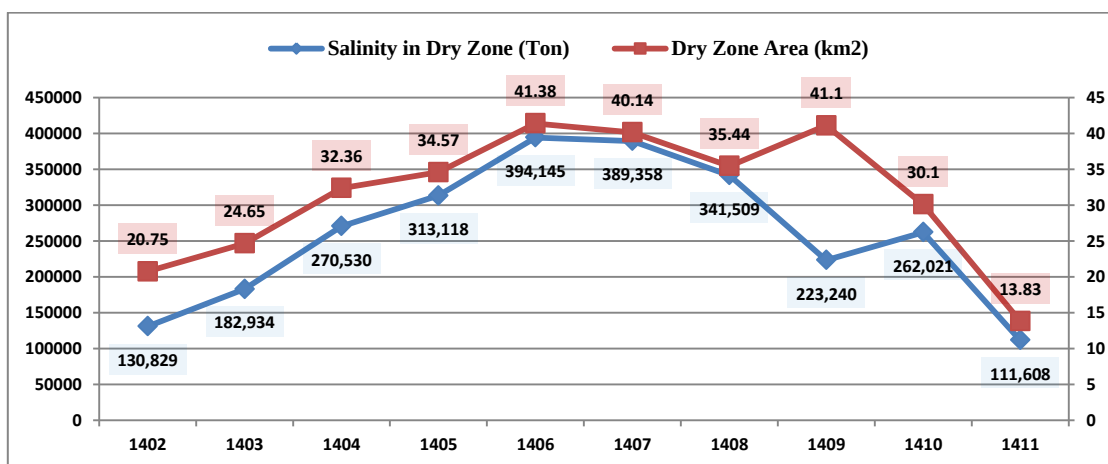
Table 8. The salinity in the coasts and the amount of salinity in the Gorgan Bay in the pessimistic scenario.

سال	مساحت خلیج (km ²)	حجم خلیج (km ³)	میزان خشکی‌زایی (km ²)	شوری خلیج (gr/lit)	میزان شوری به‌جامانده در سواحل خلیج (Ton)
Year	Area (km ²)	Volume (km ³)	Dryness (km ²)	Bay Salinity (gr/lit)	The amount of salinity remaining on the Bay coasts (Ton)
1402	293.7	0.32	20.75	29.6	134356
1405	203	0.13	34.6	38	331353
1408	85.2	0.02	35.4	37.6	366129
1411	0.1	0.00002	13.8	28	112334



شکل ۹- منحنی تغییرات شوری خلیج در مقایسه با تغییرات مساحت خلیج گرگان در سناریو بدبینانه.

Figure 9. The curve of salinity changes in the bay compared to the Gorgan Bay area changes in the pessimistic scenario.



شکل ۱۰- منحنی میزان شوری دریافتی توسط سواحل در مقایسه با تغییرات مساحت خلیج گرگان در سناریو بدبینانه.

Figure 10. The salinity amount curve received by the coasts compared to the Gorgan Bay drying land in the pessimistic scenario.

بحث

شکل‌گیری خلیج گرگان پیوند تنگاتنگی با چگونگی شکل‌گیری زبانه ماسه‌ای میانکاله دارد و زبانه ماسه‌ای میانکاله نیز نقش برجسته‌ای در دگرگونی‌های فیزیکوشیمیایی خلیج گرگان به ویژه در دوران کاهش تراز آب دریا، به سبب اندک شدن پیوند خلیج گرگان با دریا دارد. زبانه ماسه‌ای میانکاله از ۳۸۰۰ سال پیش تا به این زمان روند تکاملی خویش را از سوی باختر به خاور در پیش گرفته است (۲) و این تکامل هم‌چنان ادامه دارد تا سرانجام روزی به کرانه‌های ساحلی استان گلستان در بخش چابقلی پیوسته گردد (۱۴). از دیگر سو در دوران کاهش تراز آب، زبانه ماسه‌ای میانکاله نقش‌پرداز نوع بوم‌سازگان‌های خشکی نیز بوده است. روزگاری بستر خلیج گرگان (در ژرفای ۱/۵ متری رسوبات) بخشی از بوم‌سازگان‌های خشکی با پوشش گیاهی و درختی گوناگون بوده است (۱۵).

بررسی رسوبات نوکنده در بخش میانی سواحل جنوبی خلیج گرگان نشان داده است که در زمان گسست پیوند خلیج با دریا و در اثر تبخیر آب به دام افتاده در خلیج، امکان تشکیل ژپس‌های گل رزی در آن وجود داشته است (۲). نیاز به بیان است که ژپس‌های گل رزی در شوری بیش از ۵ برابر شوری دریاهای آزاد ایجاد می‌گردند. در کتاب حدود العالم به سال ۳۶۰ خورشیدی (۹۸۲ میلادی) آورده است که، لمراسک شهرکیست بر دامن کوه که از یک فرسنگی آن نمک به جهت گرگان و طبرستان استحصال می‌گردد (۱۶). امروزه لمراسک در فاصله چند کیلومتری از بخش جنوب غربی خلیج گرگان قرار دارد. وارشچنکو بر پایه فاصله دیوار شهر دربند از دریا، تراز آب را در بازه سال‌های ۹۴۵-۹۳۵ میلادی بین منفی ۳۶ تا ۳۵ متر بیان نموده است (۱۷). این گواه‌های تاریخی نشان می‌دهد که در دوران

کاهش تراز و با گسست پیوند خلیج از دریا امکان ایجاد شوره‌زار بر روی بستر خلیج به سبب به دام افتادن آب شور دریا و حتی تشکیل ژپس‌های نمکی وجود دارد.

فرنود این پژوهش در بخش مدل‌سازی هندسی نشان داده است که خلیج گرگان در سناریوهای خوش‌بینانه، بینابینی و بدبینانه به‌نوبت در سال‌های ۱۴۴۲، ۱۴۱۶ و ۱۴۱۲ خورشیدی به زندگانی خود پایان خواهد داد. از دیگر سو روند رو به کاهش تراز آب در سال‌های گذشته نشان داده است که به‌همراه کاهش مساحت و حجم خلیج بر میزان شوری افزوده گردیده و سالانه زمین‌های بیرون آمده از زیر آب خلیج با شوری بیش‌تری روبه‌رو خواهند بود.

فرنود پژوهش در بخش برآورد میزان شوری خلیج گرگان نشان داده است که در صورت برقراری پیوند خلیج با دریا تنها با یک کانال، رفته‌رفته بر میزان شوری خلیج در سال‌های آینده افزوده خواهد شد. افزایش شوری خلیج گرگان با کاهش مساحت خلیج (و یا کاهش حجم) پیوند تنگاتنگی دارد. افزایش شوری در خلیج گرگان به سبب تامین آب شور دریا بدون نگاه به جستار تعویض آب و خروج آب شور در این حوضه تبخیری می‌باشد.

میزان شوری در سناریو خوش‌بینانه به سبب انباشت آب دریا در خلیج افزایش بسیاری خواهد یافت به گونه‌ای که در این سناریو با گذشت ۴۰ سال میزان شوری خلیج به عدد ۱۷۰ گرم بر لیتر خواهد رسید. میزان افزایش شوری در سناریوهای میانه و بدبینانه در برابر سناریو خوش‌بینانه کم‌تر می‌باشد، چراکه در این سناریوها سالانه بخش قابل‌توجهی از حجم خلیج گرگان به‌سبب کاهش تراز آب کاسته شده و آب خلیج به دریا منتقل می‌گردد.

با ادامه کاهش تراز آب سرانجام زمانی فرا می‌رسد که دبی آب شیرین وارد شده به خلیج از حوزه آبخیز

به سبب کاهش حجم خلیج بر دبی آب ورودی از دریا چیره گردیده و از این رو در سال‌های پایانی روند رو به افزایش میزان شوری آرام آرام در هر سناریو رو به کاهش می‌گذارد. این جستار در سناریوهای خوش‌بینانه، بینابینی و بدبینانه به‌نوبت در سال‌های ۱۴۳۰، ۱۴۱۰ و ۱۴۰۶ خورشیدی روی خواهد داد.

از دیگر سو افزایش شوری در خلیج گرگان سبب آسیب‌رسانی به زمین‌های بیرون آمده از زیر آب‌های خلیج گرگان به سبب دریافت نمک گردیده و از این رو خاک بستر خلیج گرگان به همراه افزایش شوری فاقد کارکرد بوم‌شناختی مناسب شده و در سال‌های آینده این اراضی آرام آرام به سمت شورزار با ارزش اقتصادی (بازاری و غیربازاری) ناچیز سوق داده خواهند شد. نمونه بارز چنین بوم‌سازگانی در همسایگی خلیج گرگان با نام تالاب گمیشان و تالاب حسن‌قلی در استان گلستان وجود دارد و بخش برجسته‌ای از اراضی مذکور به سبب تبخیر آب دریای به دام افتاده در تالاب در دوران کاهش تراز آب در دهه‌های پیشین به شورزار مبدل گردیده است. تا پیش از سال ۱۳۹۹، خشکی‌های بوجود آمده در اثر کاهش سطح آب توانایی پذیرش پیش‌گامانی هم‌چون سالیکورنیا، انار وحشی و درختچه‌های گز را داشته است، چراکه میانگین شوری خلیج گرگان تا پیش از این سال کم‌تر از ۱۵ گرم برلیتر بوده است. ولی پس از سال ۱۳۹۹ و به سبب افزایش شوری در خلیج گرگان و شور شدن خاک سواحل خلیج، روند جایگزینی بوم‌شناختی جوامع خشکی‌زی در خشکی‌ها به کندی انجام می‌پذیرد.

بستر امروزی خلیج گرگان در خلال ده‌ها هزار سال گذشته از طریق رودخانه‌ها رسوبات ارزشمند جنگل‌های هیرکانی را در خود انباشته است و این خاک توانایی تشکیل بوم‌سازگان‌های جدید خشکی را خواهد داشت. داشتن رودخانه‌های فصلی، آبخوان‌ها

و اقلیم مدیترانه‌ای مناسب همگی از درون‌داشته‌های هستند که نوید آینده خوب را بر روی بستر خلیج گرگان می‌دهند، ولی این جستار مشروط به کنترل مراحل جانشینی بوم‌شناختی و جلوگیری از افزایش شوری، آلودگی و مواد مغذی در خلیج گرگان می‌باشد. به سخن بهتر، خلیج گرگان می‌تواند متأثر از فرآیند جانشینی بوم‌شناختی به یک مرتع، تالاب درون‌خشکی و یا جنگل هیرکانی بدل گردد، مشروط به کنترل عوامل فیزیکوشیمیایی آن و جلوگیری از تشکیل دیسکلیماکس و به ویژه کنترل میزان شوری در خلیج گرگان که افزایش آن بیش‌ترین آسیب را به خلیج گرگان و اراضی نوپیدا وارد خواهد آورد.

توجه به این نکته ضروری است که برآورد شوری در این پژوهش بر اساس مفروضات در نظر گرفته شده و به ویژه فرض پیوند خلیج با دریا تنها از طریق کانال آشورآده و هم‌چنین تداوم روند رو به کاهش تراز آب دریا هم‌گام با سناریوهای بالاگفت انجام پذیرفته است و در صورت عدم برقراری انگاره‌های بالاگفت میزان شوری در آینده تغییر خواهد کرد و در گام‌های بعدی نیاز برای اجرای یک مدل‌سازی پویا برای در نگاه داشتن کنشگرهای در حال تغییر الزامی می‌باشد.

نتیجه‌گیری

احتمال ادامه کاهش تراز آب و خشکی‌زدگی کامل خلیج گرگان با توجه به گذشته تاریخی این پیکره آبی و شرایط هیدرواقلمی آینده نمی‌بایست از نگاه پژوهش‌گران و مسئولان نادیده انگاشته گردد. از این رو به‌جای رویارویی با کاهش تراز آب دریای کاسپی باید به دنبال راه‌کارهای بود که به همراه سازگاری هم‌گام با روند رو به کاهش تراز آب دریا، سبب کاهش شوری خلیج، آلودگی و مواد مغذی در سال‌های آینده و جلوگیری از ایجاد شرایط نامطلوب

ثروت‌های بوم‌شناختی در خلیج گرگان پیشنهاد می‌نمایند:

۱- از هرگونه تصمیم‌سازی درباره افزایش تراز آب در خلیج گرگان با هدف احیای دوباره آن خودداری گردیده و تمامی برنامه‌ها باید سازگار با ویژگی‌های افت و خیز تراز آب دریا باشد.

۲- هرچه سریع‌تر نسبت به افزایش تعویض آب در خلیج گرگان اقدام گردد. برای افزایش تعویض آب در خلیج گرگان می‌توان نسبت به تامین حقابه رودخانه‌های بالادست، پالایش پساب شهری و کشاورزی و سپس ورود آن به خلیج گرگان و اقدامات مهندسی هم‌چون احداث کانال (های) جدید با کارکرد بالا و یا پمپاژ آب دریا به داخل و خارج خلیج گرگان با هدف کاهش شوری اقدام گردد.

۳- جلوگیری از ایجاد شورزار و کمک به اراضی نوپیدا در خلیج برای تبدیل به بوم‌سازگان‌های خشکی با کارکرد بوم‌شناختی بالا هم‌چون مرتع، جنگل و تالاب درون خشکی باید در نگاه پژوهش‌گران و مسئولان قرار گیرد.

۴- انجام یک طرح پژوهشی با هدف آینده‌پژوهی در خلیج گرگان و تعیین شیوه‌های سازگار هم‌گام با شرایط اقلیمی آینده و سپس اجرای نتایج آن توسط دستگاه‌های اجرای کشور پیشنهاد می‌گردد.

برای بوم‌سازگان خلیج گرگان و پدیدار شدن شورزار بر روی اراضی نوپیدا در خلیج گرگان گردد.

در صورت پیوند خلیج گرگان با دریا تنها از راه کانال آشورآده، افزایش میزان شوری در خلیج گرگان به سبب کاهش میزان تعویض آب امری قطعی بوده و این جستار در سناریو خوش‌بینانه بیش‌تر از سناریوهای بینابین و بدبینانه نمود پیدا خواهد کرد.

در صورت اتصال خلیج با دریا تنها از راه کانال آشورآده در سال‌های کاهش تراز دریای کاسپی، خلیج گرگان هم‌چون یک حوضه تبخیری عمل خواهد نمود که با ادامه یافتن روند کاهش تراز، با افزایش میزان شوری به سبب افزایش دریافت آب از دریا روبه‌رو خواهد بود. ازاین‌رو بهترین سناریو برای خلیج گرگان کاهش سریع تراز آب در دریای کاسپی و عدم اجازه به خلیج گرگان برای دریافت آب شور بیش‌تر از دریا و کاهش شوری در اراضی خشکی‌زده و نوپیدا خواهد بود.

آنچه بیش‌تر از تامین آب از دریا باید در نگاه کنش‌گران و تصمیم‌سازان خلیج گرگان باشد جستار تعویض آب می‌باشد، چراکه تامین آب دریا برای خلیج گرگان بدون در نگاه داشتن تعویض آب شور در خلیج گرگان به یک دیس‌کلیماکس منتهی خواهد شد.

پیشنهادهای

در پایان پژوهش‌گران موارد زیر را برای کاهش زیان‌های وارده به خلیج و تبدیل تهدیدات به

منابع

1. Leroy, S. A. G., Kakroodi, A. A., Kroonenberg, S. B., Lahijani, H. A. K., Alimohammadian, H., & Nigarov, A. (2013). Holocene vegetation history and sea level changes in the SE corner of the Caspian Sea: relevance to SW Asia climate. *Quat. Sci. Rev.* 72.
2. Bagheri, H., & Amini, A. (2020). Reconstruction and study of late Quaternary climate change in southeastern part of Caspian Sea. *Quaternary Journal of Iran*, 6(3), 433-448. <https://doi.org/10.22034/irqua.2020.702376>.
3. Ramezani Mouzirji, F., Yaghoobi, M., & Ghanghermeh, A. A. (2011). Caspian Sea Level Predication Based on Fuzzy Regressor System. *Journal of Water and Wastewater*, 22(3), 90-98. [In Persian]

4. Poya Tarh Pars Consulting Engineers, PTPCE. (2017). Identifying and Presenting Emergency Rescue Solutions of Gorgan Bay and Miankaleh Wetland, Golestan Regional Water Company, 473 p. [In Persian]
5. National Institute of Oceanography and Atmospheric Sciences, NIOAS. (2020). Comprehensive studies to save Gorgan Bay through integrated management and related basin. Research project, 1399 p. [In Persian]
6. Sharbaty, S. (2019). Investigation of Locating a New Communication Channel in the Gorgan Bay Cased on Water Exchange Time. *Hydrophysic*, 5(1), 97-109. **Doi: 20.1001.1.24767131.1398.5.1.9.6.**
7. Salmanmahiny, A. R., & Safidiyan, S. (2013). A Hydrological Classification of International Wetlands of Iran. *Environmental Researches*, 3(6), 45-56. [In Persian]
8. Behrozi, R. (2007). Iran wetlands. Geographical organization of the armed forces, 812 p. [In Persian]
9. DHI. (2018). MIKE21 FM and HD User Manuals. 98 p.
10. Tatarnikov, V. O., & Ocheretny, M. A. (2022). Long-term forecast of the Caspian Sea level in the face of global warming. Scientific Conference on Climate Change in the Caspian Sea Region, 27-28 October 2021, Iran, Tehran. 91-93 p.
11. Koriche, S. A., Singarayer, J., & Clock, H. L. (2021). The fate of the Caspian Sea under projected climate change and water extraction during the 21st century. *Environmental Research Letter*, 16 (094024), 11 p. **doi.org/10.1088/1748-9326/ac1af5.**
12. Ansarifar, M. M., Salarijazi, M., Ghorbani, K., & Kaboli, A. R. (2018). Estimation of Monthly Oscillations of the Groundwater Exchange in Coastal Area. *Ecohydrology*, 5(4), 1233-1240. [In Persian]
13. [https:// hydroweb. theia- and. fr / hydroweb/ view/L_caspian? lang=en& basin=Caspian&lake.](https://hydroweb.theia-and.fr/hydroweb/view/L_caspian?lang=en&basin=Caspian&lake)
14. Amini, A., Moussavi Harami, R., Lahijani, H., & Mahboubi, A. (2012). Holocene Sedimentation Rate in Gorgan Bay and Adjacent Coasts in Southeast of Caspian Sea. *JBASR*, 2(1), 289-297.
15. Leroy, S., Reimer, P. J., & Lahijani, H. K. (2022). Caspian Sea levels over the last 2200 years, with new data from the S-E corner, *Geomorphology*, **[https://doi.org/ 10.1016/ j.geomorph. 2022.108136.](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108136)**
16. Hudud al-Alam. (1973). Hudud al-Alam "The regions of the world": a Persian Geography, 372 AH/982 AD, edited by: Tehrani, S. J., Majles Publication, Tehran, Iran, 342 p. [In Persian]
17. Varushchenko, S., Varushchenko, A., & Klige, R. (1987). Changes in the Regime of the Caspian Sea and Closed Basins in Time. Nauka, Moscow. [In Russian]
18. Erlich, M., & Houghton-Carr, H. (2000). Hydrological and Hydrodynamical Studies and Predictions of the Caspian Sea Water Level Rise Impact of Climate Factors and Man's Activities Casseas. FP7 project, grant n. 284552 - Final Report October 2000. 340 p.
19. Elguindi, N., & Giorgi, F. (2006). Projected changes in the Caspian Sea level for the 21st century based on the latest AOGCM simulations, *Geophys. Res. Lett*, 33, L08706, **doi: 10.1029/2006GL025943.**
20. Elguindi, N., & Giorgi, F. (2007). Simulating future Caspian Sea level changes using regional climate model outputs. *Clim Dyn*. 28, 365-379. **DOI: 10.1007/s00382-006-0185-x.**
21. Renssen, H., Loughheed, B. C., Aerts, J. C. J. H., deMoel, H., Ward, P. J., & Kwadijk, J. C. J. (2007). Simulating long-term Caspian Sea level changes: The impact of Holocene and future climate conditions. *Earth and Planetary Science Letters*, 261, 685-693. **doi:10.1016/j.epsl.2007.07.037.**
22. Arpe, K., & Leroy, S. (2007). The Caspian Sea Level forced by the atmospheric circulation, as observed and modeled. *Quaternary International*,

- 173-174, 144-152. doi:10.1016/j. quaint. 2007.03.008.
23. Meleshko, V. P., Kattsov, V. M., Govorkova, V. A., Sporyshev, P. V., Shkolnik, I. M., & Shneerov, B. E. (2008). Climate of Russia in the 21st Century. Part 3. Future Climate Changes Calculated with an Ensemble of Coupled Atmosphere–Ocean General Circulation CMIP3 Models Russian Meteorology and Hydrology, 33(9), 541-552.
24. Roshan, G. R., Moghbel, M., & Grab, S. (2012). Modeling Caspian Sea water level oscillations under different scenarios of increasing atmospheric carbon dioxide concentrations. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 9(24), 10 p.
25. Varlaan, P. (2014). The Future of the Caspian Sea Level. Annual Caspian Technical Conference and Exhibition, Astana, Kazakhstan, November 2014 SPE-172247-MS, <https://doi.org/10.2118/172247-MS>.
26. Saberi Louyeh, F., Alijani, B., & Khaledi, S. (2019). Caspian Sea south coast future climate change estimations through regional climate model. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 6(1), 111-138, DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.7. [In Persian]
27. Nandini-Weiss, S. D., Prange, M., Arpe, K., Merkel, U., & Schulz, M. (2020). Past and future impact of the winter North Atlantic Oscillation in the Caspian Sea catchment area. *Int. J. Climatol.* 40, 2717-2731. <https://doi.org/10.1002/joc.6362>.
28. Hoseini, S. M., & Soltanpour, M. (2020). Long-Term Prediction of Caspian Sea Level Under CMIP6 Scenarios Using Artificial Neural Networks. Coastal Engineering Proceedings, Tehran, Iran, December 2020, 8 p. DOI: 10.9753/icce.v36v.
29. Ivkina, N. I., & Galayeva, A. V. (2021). Assessment of Fluctuations in the Caspian Sea Level under the Influence of Climate change for the Future Until 2050. Proceedings of Scientific Conference on Climate Change in the Caspian Sea Region, 27-28 October 2021, DOI: 10.54668/2789-6323-2021-100-1-70-77.
30. Eeslami, Z., & Ghanghermeh, A. A. (2022). Forecast of water levels in the Caspian Sea based on the sixth IPCC report. *Physical Geography Research*, 54(2), 257-272. Doi: 10.22059/jphgr.2022.342669.1007701.