

پهنه بندی میزان خطر پذیری نواحی جنوبی استان خوزستان در شرایط تغییر اقلیم با تأکید بر زیرساخت‌های صنعتی

آرش رحیمی^۱

رضا برنا^{۲*}

bornareza@yahoo.com

جعفر مرشدی^۳

جبرائیل قربانیان^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۶/۱۴

چکیده

زمینه و هدف: تغییر اقلیم را می‌توان یکی از بزرگترین چالش‌های محیط‌زیست دوران اخیر دانست که نشان‌دهنده تغییرات غیرمعمول در اقلیم درونی اتمسفر زمین و پیامدهای ناشی از آن در قسمت‌های مختلف کره زمین است که تهدیدی جدی برای محیط‌زیست به شمار می‌رود. هدف از این پژوهش تهیه نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری زیرساخت‌های نواحی جنوبی خوزستان در شرایط تغییر اقلیم می‌باشد.

روش بررسی: بدین منظور با استفاده از منابع پیشین و مصاحبه با کارشناسان یازده متغیر مجموع بارش سالانه، میانگین دمای فصل گرم و سرد، روند بارش‌های حدی بیش از ۵ میلی‌متر روزانه، تعداد کدهای گردوغبار، رخداد امواج گرم بالای صدک ۹۵ م، تغییرات بارش، جا به جایی خط ساحلی، تغییرات آب زیرزمینی، سیلاب و آبگرفتگی و تغییرات دما در طی سال ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۰ مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از دو آزمون تحلیل روند یعنی آزمون تحلیل روند تخمین‌گر شیب سنس و آزمون تحلیل روند من-کندال روند سری زمانی ۳۲ ساله این عناصر طی دوره آماری پایه (۱۹۸۵-۲۰۱۷)، بررسی شد.

یافته‌ها: نواحی جنوبی منطقه مورد مطالعه خوزستان دارای میانگین دمای معادل بیش از ۳۸ درجه سانتی-گراد در سال بوده است در حالی که بخش‌های شمالی و مرکز منطقه مورد مطالعه دارای دمای بیشتر از ۳۸/۵ درجه سانتی-گراد در سال بوده است. بخش جنوبی خوزستان دارای بارش سالانه‌ای معادل بیش از ۲۷۳ میلی‌متر در سال بوده است در حالی که بخش‌های جنوبی منطقه مورد مطالعه دارای بارش کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر در سال و در برخی موارد حدود ۱۵۶ میلی‌متر در سال بوده است.

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج نشان می‌دهد که پهنه مخاطره‌آمیز زیاد و بسیار زیاد ۸۰ درصد منطقه را در بر گرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، زیرساخت، بارش، دما، خوزستان.

۱- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی اهواز، ایران.

۲- دانشیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی اهواز، ایران. * (مسئول مکاتبات)

۳- استادیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی اهواز، ایران.

Zoning of the degree of risk in the southern areas of Khuzestan province in the conditions Climate change with emphasis on industrial infrastructure

Arash Rahimi¹

Reza Barna^{2*}

timoorba@yahoo.com

Jafar Morshidi[†]

Jibraeel Ghorbhani

Admission Date: September 5, 2022

Date Received: November 5, 2022

Abstract

Background and Objective: climate change can be considered one of the biggest environmental challenges of the recent era, which indicates unusual changes in the internal climate of the earth's atmosphere and its consequences in different parts of the globe, which is a serious threat to the environment. The purpose of this research is to prepare a vulnerability zoning map of infrastructures in the southern regions of Khuzestan in the conditions of climate change.

Material and Methodology: for this purpose, using previous sources and interviews with experts, eleven variables of total annual precipitation, average temperature of hot and cold season, the trend of maximum precipitation of more than 5 mm per day, the number of dust codes, the occurrence of heat waves above the 95th percentile, precipitation changes, displacement of coastline, underground water changes, floods and inundation and temperature changes during 2019 to 2019 were investigated. By using two trend analysis tests, i.e. Sence slope estimator trend analysis test and Mann-Kendall trend analysis test, the trend of the 32-year time series of these elements during the basic statistical period (1985-2017) was investigated.

Findings: The southern parts of the studied region of Khuzestan had an average temperature of more than 38 degrees Celsius per year, while the northern and central parts of the studied region had a temperature of more than 38.5 degrees Celsius per year. The southern part of Khuzestan has an annual rainfall equivalent to more than 273 mm per year, while the southern parts of the studied area have less than 200 mm of rainfall per year and in some cases about 156 mm per year.

Discussion and Conclusion: The results show that high and very high risk areas cover 80% of the region.

Keywords: climate change, infrastructure, precipitation, temperature, Khuzestan.

1- Doctoral student of Hydrology and Meteorology, Department of Geography, Ahvaz branch, Islamic Azad University of Ahvaz, Iran.

2- Associate Professor of Department of Geography, Ahvaz Branch, Ahvaz Islamic Azad University, Iran.
*(Corresponding Author)

3- Assistant Professor of Geography Department, Ahvaz Branch, Ahvaz Islamic Azad University, Iran.

مقدمه

عصر حاضر، عصر آسیب‌پذیری شهری است، زیرا همزمان با پیچیده شدن حیات شهری، شهرها در ابعاد مختلف با مخاطرات طبیعی مواجه می‌شوند (۱). بدون شک تقویت امنیتی تأسیسات شهری در بهبود عرضه خدمات و کاهش آسیب‌پذیری به ویژه در زمان‌های بحران نقش اساسی دارد. در این بین تأسیسات و تجهیزاتی چون سیستم‌های حمل و نقل، شبکه‌های تهیه و توزیع کالا، آب و فاضلاب، برق، گاز و... که اساسا شریان‌های اصلی هر شهر را تشکیل می‌دهند، از نقش و جایگاه مهم‌تری برخوردار است (۲). برای انجام اقدامات مؤثر در کاهش آسیب‌پذیری و ریسک زیرساخت‌های حیاتی، شناسایی و ارزیابی تهدیدات (۳). از ارکان مهم برنامه‌ریزی و مدیریت می‌باشد (۴). یکی از مهم‌ترین تهدیدات حال حاضر شهرها و زیرساخت‌های حیاتی تغییر اقلیم می‌باشد. آب و هوا یکی از ارکان بنیادین زندگی بشر محسوب می‌شود و با پیشرفت و توسعه در جهان حفاظت از آن روز به روز اهمیت بیشتری می‌یابد (۵).

امروزه، تغییر اقلیم از جمله مسائل مهم محیط‌زیستی جهان است. تغییر اقلیم به هرگونه تغییر معنی دار در معیارهای اقلیمی اشاره دارد که برای یک دوره طولانی ادامه دارند (۶). به عبارت دیگر، تغییر اقلیم شامل تغییرات جدی در دما، بارش یا الگوهای باد است که در طی چندین دهه یا بیشتر ایجاد می‌شوند. در طی ۱۰۰ سال گذشته، میانگین دمای سطح زمین به میزان ۱ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است. در طی ۱۰۰ سال آینده، اقلیم شناسان پیش بینی کرده اند که میانگین دمای سطح زمین همچنان بالا برود (۷). تغییر اقلیم را می‌توان یکی از بزرگترین چالش‌های محیط‌زیست دوران اخیر دانست که نشان‌دهنده تغییرات غیرمعمول در اقلیم درونی اتمسفر زمین و پیامدهای ناشی از آن در قسمت‌های مختلف کره زمین است که تهدیدی جدی برای محیط‌زیست به شمار می‌رود (۸). وقوع تغییرات اقلیمی حتی به صورت جزئی، بر تمام ارکان زندگی بشر و حیات طبیعی، اثرات قابل توجهی خواهد گذاشت. گزارش IPCC حاکی از آن است که به دلیل

افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در دهه‌های گذشته در جو زمین، خروج امواج حرارتی (طول موج بلند) از زمین با موانع بیشتری روبه‌رو شده که افزایش دمای هوا را به دنبال داشته است. این افزایش به میزان ۰/۳ تا ۰/۶ درجه سانتی‌گراد در طول قرن گذشته بوده که در دهه‌های اخیر، شتاب بیشتری یافته است. تغییر اقلیم باعث افزایش مخاطرات طبیعی از جمله سیل و خشکسالی می‌گردد (۹). از طرفی دیگر، تغییرات اقلیمی با افزایش مخاطرات طبیعی ارتباطی دوگانه دارند. در واقع تغییرات اقلیمی تحت تأثیر فعالیت‌های بشر منجر به گسترش بروز مخاطرات به ویژه در نواحی شهری شده‌اند (۱۰).

White و همکاران (۲۰۱۴)، در پژوهشی با عنوان مدل محاسباتی آسیب‌پذیری دارایی برای حفاظت استراتژیک از زیرساخت‌های حیاتی، مدلی را برای ارزیابی آسیب‌پذیری دارایی‌ها همراه با مقیاسی از ریسک استراتژیک و احتمال شکست دارایی‌ها در مقابل حمله‌های انتحاری با استفاده از نظریه بازی ارائه می‌دهند (۱۱). Udie و همکاران (۲۰۱۸)، در پژوهشی با عنوان یک چارچوب مفهومی برای ارزیابی آسیب‌پذیری تأثیر تغییرات آب و هوایی بر زیرساخت‌های بحرانی نفت و گاز در دلتای نیجر، از روند سلسله‌مراتبی (AHP) استفاده می‌گردد، تأثیر تغییرات آب و هوایی در دلتا نیجر بسیار شدید است، چرا که حوادث شدید آب و هوایی در سطوح مختلف بر روی زیرساخت‌های بحرانی نفتی و گاز تأثیر می‌گذارند. به طور معمول، مدیران دارایی‌ها و سازمان‌های دولتی چارچوب مشخصی برای ارزیابی آسیب‌پذیری این سیستم‌ها ندارند. در این مطالعه توصیه می‌شود از روش‌های دیگر مناسب و رویکردهای سیستماتیک برای تست انعطاف‌پذیری چارچوب استفاده شود (۱۲). Reder و همکاران (۲۰۱۸)، به ارزیابی تغییرات شاخص‌های شدید که منجر به خطرات آب و هوایی در زیرساخت‌های حیاتی در اروپا بر اساس چارچوب INTACT پرداخته‌اند. برای شناسایی تغییرات ایجاد شده توسط تغییر آب و هوا، شاخص‌های مناسب آب و

ساحلی، نفوذ آب شور، ایجاد زمین های مرطوب و باتلاقی، طغیان ها و طوفان ها، فرسایش شدید، از بین رفتن سکونت گاه ها و زیرساخت های شهری، صنعتی و تهدید کشاورزی، شیلات و سایر منابع معیشتی منجر به تهدید جدی توسعه، رفاه، امنیت و ثبات جوامع و کشورها هستند (۱۶).

تغییر اقلیم به عنوان یکی از خطرهای جدی که توسعه پایدار را در ابعاد مختلف محیط زیست، سلامت انسان، امنیت غذایی، فعالیت های اقتصادی، منابع طبیعی و ساختارهای زیربنایی تهدید می کند، مورد ارزیابی قرار گرفته است. کشور ما نیز از اثرات این پدیده در سال های آتی مصون نخواهد ماند. این پدیده بر وضعیت اقتصادی، اجتماعی و محیط زیست منطقه خوزستان نیز تاثیر دارد و عدم ارائه و اعمال راهکارهای سازگاری با اثرات منفی آن در حال حاضر می تواند هزینه های سنگینی را بر منطقه در سال های آتی ایجاد کند. شریان های حیاتی شبکه هایی هستند که از شبکه های دربرگیرنده ی صنعت، سازمان ها، شهرها و مردم تشکیل می شوند و یک روند توزیع و انتقال جریان از تولید به مصرف کننده را ایجاد می کنند. یکی از مهم ترین عناصری که در سطح یک منطقه می تواند مورد آسیب های جبران ناپذیری قرار گیرد، عناصر و تاسیسات و تجهیزات و زیرساخت های مرتبط با صنایع است. بنابراین مناطقی که این عناصر را دربر دارند در حد توان باید از مسایل و مشکلات بری بوده و دارای تدابیر خاص و آمادگی های لازم در مواقع بحران باشند، چرا که حیات کشور و منطقه خوزستان وابسته به این تاسیسات و زیرساخت ها می باشد. با توجه به اهمیت فراوان صنایع و زیرساخت های صنعتی در ایران و استان خوزستان و احتمال تأثیرات اساسی سوانح طبیعی و حوادث، به ویژه سوانح انسان ساخت و با توجه به سانحه خیزی کشور و هم چنین تهدیدهای قابل ملاحظه ی طبیعی و غیرطبیعی، لازم است که مدیریت ریسک در برابر بحران ها و استراتژی های مدیریتی مناسب جهت کاهش آسیب پذیری تاسیسات بیشتر مورد توجه قرار گیرد. هدف از این پژوهش پهنه بندی میزان خطرپذیری نواحی جنوبی استان خوزستان در شرایط تغییر اقلیم با تأکید بر زیرساخت های صنعتی می باشد. مناطق جنوبی خوزستان به مانند بندر ماهشهر، بندر امام

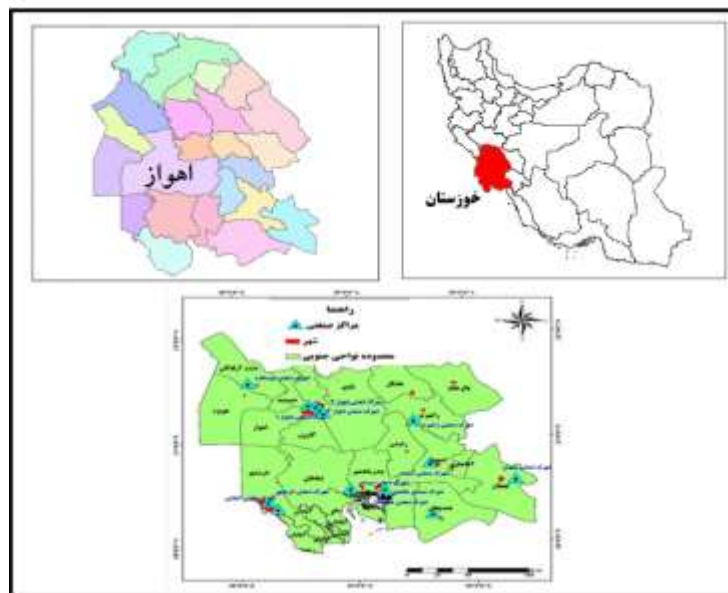
هوایی شدید (EWIS)، به عنوان عاملی از ویژگی های جوی اصلی که باعث وقایع با تاثیر بالا بر زیرساخت ها، برای تعدادی از مطالعات موردی تعریف شده و رویکردهای مختلف برای به دست آوردن پیش بینی های آب و هوایی محلی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (۱۳). براساس مطالعات Fakhruddin و همکاران (۲۰۲۰)، افزایش شدت خشکسالی، سیلاب، آتش سوزی و افزایش دمای ناشی از اثرات تغییر اقلیم می تواند به طور مستقیم یا غیرمستقیم سازه ها و ابنیه صنعتی مانند ساختمان ها و جاده ها را تهدید کند (۱۴). Soltani و همکاران (۲۰۱۸)، مقاله ای با عنوان تحلیل و ارزیابی ریسک زیرساخت های منطقه ای از منظر پدافند غیرعامل نمونه موردی: منطقه صنعتی پارس یک جنوبی را ارائه داده اند. نتایج نشان می دهد، از نظر اهمیت دارایی ها به ترتیب تاسیسات نفت و گاز با ۸/۸۶، زیرساخت ارتباطات با ۸/۶۴، تاسیسات برق با ۶/۷۱ و تاسیسات آب و فاضلاب با ۶/۴۵ حائز بیشترین ارزش هستند. همچنین دوازده تهدید مورد ارزیابی قرار گرفت که در این بین احتمال وقوع حملات هوایی و موشکی با ۹/۲۱، حملات شیمیایی - میکروبی و هسته ای با ۹/۱۷ و تهدیدات زیستی با ۸/۷۲ بیشترین احتمال وقوع را دارا هستند. بیشترین آسیب پذیری و ریسک زیرساخت ارتباطات در برابر بمب های الکترومغناطیسی به ترتیب با ۹/۱۱۴ و ۶۸۸/۴۷، تاسیسات برق در برابر بمب های الکترومغناطیسی و گرافیتی به ترتیب با ۸/۴۴۶ و ۴۰۷/۴۷، تاسیسات نفت و گاز در برابر تهدیدات بمب گذاری به ترتیب با ۸/۴۸۴ و ۶۵۵/۴۶، تاسیسات آب و فاضلاب در برابر تهدیدات سایر تروریسم و زیستی به ترتیب با ۸/۳ و ۴۶۶/۸۲ می باشد و در پایان راهکارهای کاهش آسیب پذیری و ریسک بیان شده است (۱۵). Zaeqani و همکاران (۲۰۱۸)، مقاله ای با عنوان تحلیل تغییر اقلیم و پیامدهای آن مطالعه موردی: افزایش سطح آب دریا را ارائه داده اند. این پژوهش با روش توصیفی - تحلیلی و با استناد به منابع معتبر به دنبال بررسی و تحلیل تاثیر افزایش سطح آب های دریاها بر محیط زیست طبیعی و فعالیت ها و مراکز و سکونتگاه های انسانی است. یافته های پژوهش نشان می دهد، افزایش سطح آب های دریاها به دلیل تغییرات شدید در اکوسیستم نواحی

صنعتی شهدا آبادان، ناحیه صنعتی دارخوین، شهرک صنعتی اهواز ۱، شهرک صنعتی اهواز ۲، شهرک صنعتی اهواز ۳، شهرک صنعتی اهواز ۴، شهرک صنعتی اهواز ۵، شهرک صنعتی بهبهان، ناحیه صنعتی زیدون بهبهان، ناحیه صنعتی سردشت زیدون (بهبهان)، شهرک صنعتی بندرماهشهر، شهرک صنعتی بندر امام خمینی (ره)، شهرک صنعتی هندیجان، شهرک صنعتی خرمشهر، شهرک صنعتی سوسنگرد، ناحیه صنعتی چذابه، ناحیه صنعتی هوپزه، ناحیه صنعتی مرعی دشت آزادگان، ناحیه صنعتی شاور، ناحیه صنعتی مریچه رامهرمز، شهرک صنعتی رامهرمز، ناحیه صنعتی طالقانی رامهرمز، ناحیه صنعتی چاه سالم امیدیه، ناحیه صنعتی رامشیر). اینک ۲۱۲۸ واحد صنعتی با متراژ ۱۳۸۷ هکتار و سرمایه گذاری ۴۲۶۷۰ میلیارد ریال اقدام به استقرار در شهرک ها و نواحی صنعتی استان نموده‌اند که تعداد ۹۸۸ طرح با سرمایه گذاری ۷۴۰۴ میلیارد ریال و اشتغال ۱۸۳۷۹ نفر به بهره برداری رسیده است (۱۷) (شکل ۱).

خمینی(ره)، آبادان دارای صنایع پتروشیمی و نفتی بسیار هستند.

مواد و روش‌ها

شهرک های صنعتی استان خوزستان در سال ۱۳۷۰ با هدف ایجاد بستر مناسب به منظور استقرار صنایع و حمایت از صنایع کوچک جذب سرمایه گذاری، تاسیس گردید و فعالیت خود را به طور گسترده آغاز نمود. مطالعات منطقه‌ای امکان سنجی و مکان یابی شهرک ها و نواحی صنعتی، تملک، پیگیری اخذ اسناد مالکیت شهرک ها، طراحی سایت‌های صنعتی، اجرای پروژه های عمرانی برای آماده سازی اراضی و ایجاد امکانات زیربنایی مورد نیاز، با هدف سامان دهی بافت صنعتی استان از جمله فعالیت های شرکت در زمینه شهرک سازی می‌باشد. در حال حاضر استان خوزستان دارای ۷۰ شهرک و ناحیه صنعتی شامل: ۳۳ شهرک و ۳۷ ناحیه صنعتی با مساحتی بالغ بر ۸ هزار هکتار آماده واگذاری زمین به سرمایه گذاران می‌باشد (شهرک صنعتی امیدیه، شهرک صنعتی آغاچاری، شهرک صنعتی آبادان ۱، شهرک صنعتی آبادان ۲، ناحیه



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی صنایع نواحی جنوبی استان خوزستان (۱۳۹۹)

Figure 1. Map of geographical location of industries in the southern regions of Khuzestan province (2019)

مجموع بارش سالانه، میانگین دمای فصل گرم و سرد، روند بارش‌های حدی بیش از ۵ میلی‌متر روزانه، تعداد کدهای گردوغبار، رخداد امواج گرم بالای صدک ۹۵ م، مورد بررسی

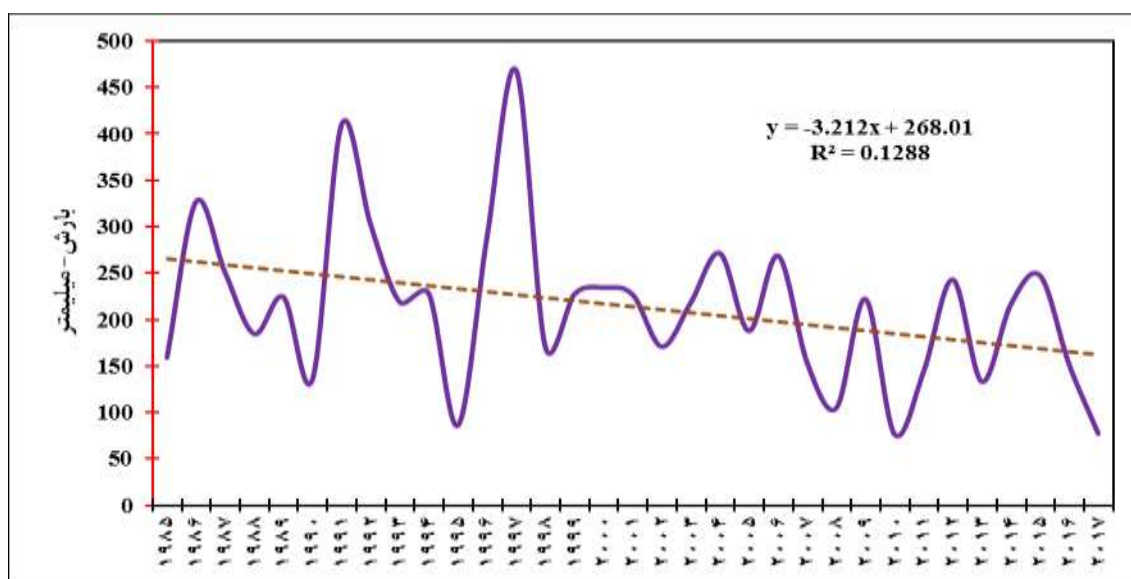
در ابتداء طی سال ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۰ عناصر اقلیمی در دوره پایه یعنی طی دوره ۳۲ ساله (۱۹۸۵-۲۰۱۷) مورد بررسی قرار گرفتند. عناصر اقلیمی که در این دوره بررسی شدند عبارتند از:

سیر انتشار مذکور برای منطقه شبیه سازی شد و تغییرات اقلیمی سال ۲۰۷۰ نسبت به دوره پایه بررسی شد. در نهایت با استفاده از الگوریتم آنتروپی شانون که از طریق ۲۵ پرسشنامه توسط کارشناسان مدیریت بحران استان تکمیل شده‌اند، اولویت خسارت‌زایی هر کدام از فاکتورهای اقلیمی، مشخص می‌شود در نهایت با استفاده از نرم افزار ARC/MAP 10.2 وزن‌های اختصاصی هر کدام از فاکتورهای اقلیمی مشخص شده است و با استفاده از مدل فازی نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری منطقه تهیه گردید.

نتایج

برای ارزیابی روند سالانه سری زمانی ۳۲ ساله (۱۹۸۵-۲۰۱۷) بارش منطقه مورد مطالعه، از آماره برآوردگر شیب Sens استفاده شده که به صورت شکل ۲ ارائه شده است. همان طور که در این نمودار سری زمانی مشاهده می‌گردد روند سری زمانی بارش منطقه مورد مطالعه طی ۳۲ سال اخیر کاهشی بوده است که میزان کاهش سالانه بارش بر اساس روند ناپارامتریک برازش داده شده برابر ۳/۲ در سال بوده است.

قرار گرفت. با استفاده از دو آزمون تحلیل روند یعنی آزمون تحلیل روند تخمین‌گر شیب سنس و آزمون تحلیل روند من-کندال روند سری زمانی ۳۲ ساله این عناصر طی دوره آماری پایه (۱۹۸۵-۲۰۱۷)، بررسی شد. دو فاکتور غیراقلیمی یعنی وضعیت آب‌های زیرزمینی منطقه و جا به جایی خط ساحلی (پیش روی آب دریا) نیز مورد بررسی قرار گرفت. جا به جایی خط ساحلی با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۵ برای سال ۱۹۹۰ و ۲۰۰۵ و لندست ۸ برای سال ۲۰۱۸ بررسی شده است. تغییرات سطح آب زیرزمینی منطقه نیز با استفاده از داده‌های تخلیه آب زیرزمینی منطقه شرکت آب منطقه‌ای خوزستان بررسی شد. در مرحله بعد در دوره تغییر اقلیم تحت دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 گزارش پنجم تغییر اقلیم یعنی CMIP5، ویژگی‌های اقلیمی منطقه شبیه سازی شد. از یکی از مدل‌های CMIP5 به نام CESM1(CAM5) تحت دو خط سیر خوش‌بینانه یعنی RCP2.6 و بدبینانه یعنی RCP8.5 برای سال ۲۰۶۵، استفاده شد و در نهایت با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS WG6 برای ۴ ایستگاه اهواز، آبادان، امیدیه و آغاچاری، ریزمقیاس‌نمایی شد. سه عنصر اقلیمی، دمای کمینه و بیشینه، بارش تحت دو خط

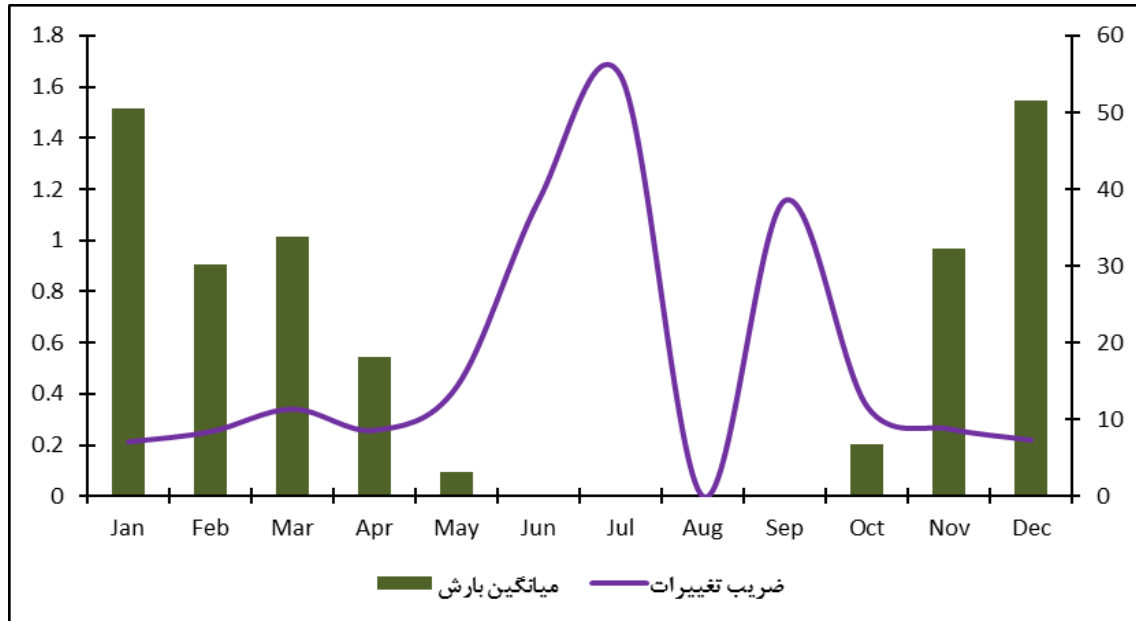


شکل ۲- نمودار میزان بارش در منطقه مطالعاتی طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۱۷ (۱۳۹۹)

Figure 2. Rainfall graph in the study area during the statistical period of 1985-2017 (2019)

تغییرپذیری بارش منطقه مورد مطالعه در فصل گرم و کمترین آن در فصل سرد سال بوده است.

در شکل ۳ که خروجی نرم افزار آشکارسازی تغییر اقلیم سازمان هواشناسی کشور است تغییرات ماهانه بارش منطقه مطالعاتی ارائه است همان طور که مشاهده می گردد، بیشترین



شکل ۳- نمودار نوسانات بارش ماهانه طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۱۷ (۱۳۹۹)

Figure 3. Chart of monthly rainfall fluctuations during the statistical period of 1985-2017(2019)

در سطح اطمینان ۰/۹۵ نبوده است. آماره آزمون مذکور برابر ۱/۱۴- بوده است که در محدوده $\pm ۱/۹۶$ قرار گرفته است و نشان دهنده عدم معنی دار بودن روند آشکار شده توسط تست تخمین گر شیب Sens می باشد (جدول ۱).

آماره ناپارامتریک تخمین گر شیب سنس نشان داد که روند سری زمانی بارش منطقه با شیب سالانه ۳/۲ میلی متر کاهش پیدا کرده است اما برای ارزیابی اینکه این میزان کاهش معنی دار بوده است یا خیر؟ از آماره ناپارامتریک تحلیل روند من کندال استفاده شد. آزمون تحلیل روند من کندال نیز بیانگر آن بود که روند آشکار شده یعنی ۳/۲- میلی متر در سال، یک روند معنی دار

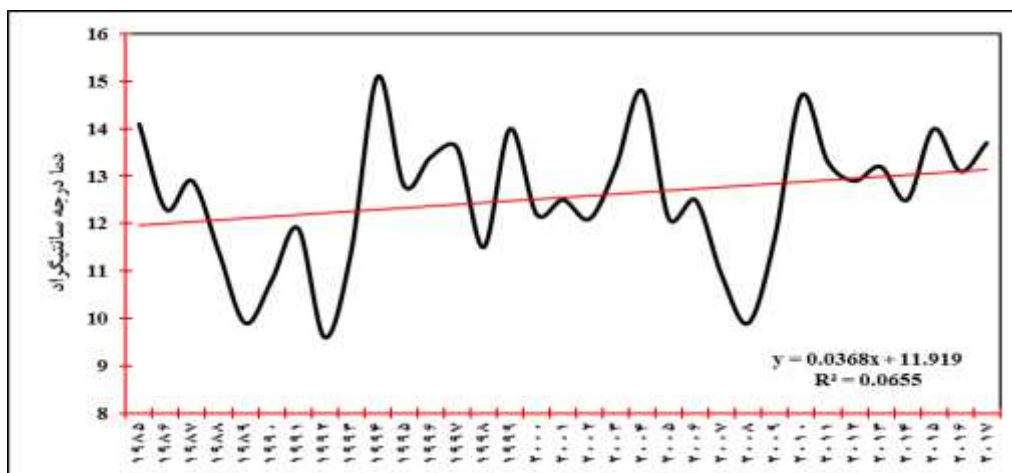
جدول ۱- آزمون های تحلیل روند سری زمانی بارش طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۱۷ در سطح اطمینان ۰/۹۵ (P_value = 0.05) (۱۳۹۹)

Table 1. Analysis tests of the time series of precipitation during the statistical period of 1985-2017 at the confidence level of 0.95 (P_value = 0.05)(2019)

آماره معنی داری آزمون	مقدار	نام متغیر	آزمون های تحلیل روند
-	بارش	نام متغیر مورد بررسی	آزمون آشکارسازی روند من کندال (Man-Kendall)
-	۱۹۸۵-۲۰۱۷	طول دوره آماری	
۰/۰۵	1 ± 96	T بحرانی	
۰/۰۸	-۱/۱	T من-کندال	
-	۳/۲- میلی متر در سال	شیب (Q)	تخمین گر ناپارامتریک شیب Sens
-	۲۶۸	عرض از مبدأ (B)	

حالی که بخش‌های جنوبی منطقه مورد مطالعه دارای بارش کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر در سال و در برخی موارد حدود ۱۵۶ میلی‌متر در سال بوده است. برای ارزیابی روند سالانه سری زمانی ۳۲ ساله دمای فصل سرد سال در منطقه مورد مطالعه، از آماره برآوردگر شیب Sens استفاده شده که به صورت شکل ۴ ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل سری زمانی مشاهده می‌گردد روند سری زمانی دمای فصل سرد سال منطقه مورد مطالعه طی ۳۲ سال اخیر افزایشی بوده است که میزان افزایش دمای فصل سرد سال بر اساس روند ناپارامتریک برازش داده شده برابر ۰/۰۳۶ درجه سانتی‌گراد در سال بوده است.

از خروجی نرم افزار آشکارسازی تغییر اقلیم سازمان هواشناسی، مشاهده می‌گردد که میانگین بارش منطقه مورد مطالعه (بخش جنوبی استان خوزستان) طی ۳۰ سال اخیر روند کاهشی داشته است به طوری که میانگین بارش دهه اول ۳۰ سال گذشته یعنی از سال ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۴ برابر با ۲۴۴/۴ میلی‌متر بوده است در حالی که در دهه دوم ۳۰ سال اخیر یعنی از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۴ برابر با ۲۳۶ میلی‌متر بوده است و در دهه سوم ۳۰ سال اخیر یعنی طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ برابر با ۱۷۵ میلی‌متر بوده است. در شکل ۴، توزیع میانگین بارش سالانه (مجموع بارش) طی دوره ۳۲ ساله ارائه شده است. نواحی شمالی منطقه مورد مطالعه یعنی بخش جنوبی خوزستان دارای بارش سالانه‌ای معادل بیش از ۲۷۳ میلی‌متر در سال بوده است در



شکل ۴- نمودار روند سری زمانی میانگین دمای فصل سرد سال در منطقه مطالعاتی طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۱۷ (۱۳۹۹)

Figure 4. Time series trend diagram of the average temperature of the cold season of the year in the study area during the statistical period of 1985-2017 (2019)

۰/۰۳۶ درجه سانتی‌گراد در سال، یک روند معنی‌دار در سطح اطمینان ۰/۹۵ نبوده است. آماره آزمون مذکور برابر ۰/۷- بوده است که در محدوده $\pm 1/96$ قرار گرفته است و نشان دهنده عدم معنی‌دار بودن روند آشکار شده توسط تست تخمین‌گر شیب Sens می‌باشد (جدول ۲).

آماره ناپارامتریک تخمین‌گر شیب سنس نشان داد که روند سری زمانی دمای فصل سرد سال منطقه با شیب سالانه ۰/۰۳۶ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است اما برای ارزیابی این که این میزان کاهش معنی‌دار بوده است یا خیر؟ از آماره ناپارامتریک تحلیل روند من‌کندال استفاده شد. آزمون تحلیل روند من‌کندال نیز بیانگر آن بود که روند آشکار شده یعنی

جدول ۲- آزمون‌های تحلیل روند سری زمانی میانگین دمای فصل سرد سال طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۱۷

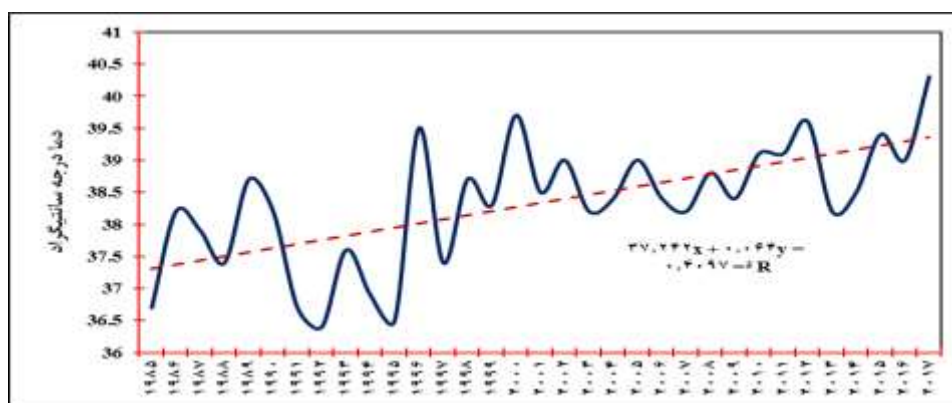
در سطح اطمینان ۰/۹۵ ($P_value = 0.05$) (۱۳۹۹)

Table 2. Time series trend analysis tests of the average temperature of the cold season during the statistical period of 1985-2017 at the confidence level of 0.95 ($P_value = 0.05$)(2019)

آزمون‌های تحلیل روند	نام متغیر	مقدار	آماره معنی داری آزمون
آزمون آشکارسازی روند من کندال (Man-Kendall)	نام متغیر مورد بررسی	دمای فصل سرد سال	-
	طول دوره آماری	۱۹۸۵-۲۰۱۷	-
	T بحرانی	۱±/۹۶	۰/۰۵
	T من-کندال	-۰/۷	۰/۰۹
تخمین گر ناپارامتریک شیب Sens	شیب (Q)	۰/۰۳۶ درجه سانتی‌گراد در سال	-
	عرض از مبدأ (B)	۱۱/۹	-

آماره برآوردگر شیب Sens استفاده شده که به صورت نمودار شکل ۵ ارائه شده است. همان طور که در این نمودار سری زمانی مشاهده می‌گردد روند سری زمانی دمای فصل گرم سال منطقه مورد مطالعه طی ۳۲ سال اخیر افزایشی بوده است که میزان افزایش دمای فصل سرد گرم سال بر اساس روند ناپارامتریک برازش داده شده برابر ۰/۰۶۴ میلی‌متر در سال بوده است.

در شکل ۵ توزیع میانگین دمای فصل سرد سال (ماه‌های نوامبر تا مارس) طی دوره ۳۲ ساله ارائه شده است همان طور که مشاهده می‌گردد نواحی شرق منطقه مورد مطالعه یعنی بخش جنوبی خوزستان دارای میانگین دمای معادل ۱۲ درجه سانتی‌گراد در سال بوده است در حالی که بخش‌های جنوب و مرکز منطقه مورد مطالعه دارای دمای بیشتر از ۱۴ درجه سانتی‌گراد در سال بوده است. برای ارزیابی روند سالانه سری زمانی ۳۲ ساله دمای فصل گرم سال در منطقه مورد مطالعه، از



شکل ۵- نمودار میانگین دمای فصل گرم سال در منطقه مطالعاتی طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۱۷ (۱۳۹۹)

Figure 5. Graph of the average temperature of the warm season of the year in the study area during the statistical period of 1985-2017 (2019)

میزان کاهش معنی دار بوده است یا خیر؟ از آماره ناپارامتریک تحلیل روند من کندال استفاده شد. آزمون تحلیل روند من کندال نیز بیانگر آن بود که روند آشکار شده یعنی ۰/۰۶۴ درجه

آماره ناپارامتریک تخمین گر شیب سنس نشان داد که روند سری زمانی دمای فصل گرم سال منطقه با شیب سالانه ۰/۰۶۴ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است، اما برای ارزیابی این که این

سانتی‌گراد در سال، یک روند معنی دار در سطح اطمینان ۰/۹۵ بوده است. آماره آزمون مذکور برابر ۱/۹۹ بوده است که در محدوده $\pm 1/96$ قرار نگرفته است و نشان دهنده معنی دار بودن

روند آشکار شده توسط تست تخمین گر شیب Sens می‌باشد (جدول ۳).

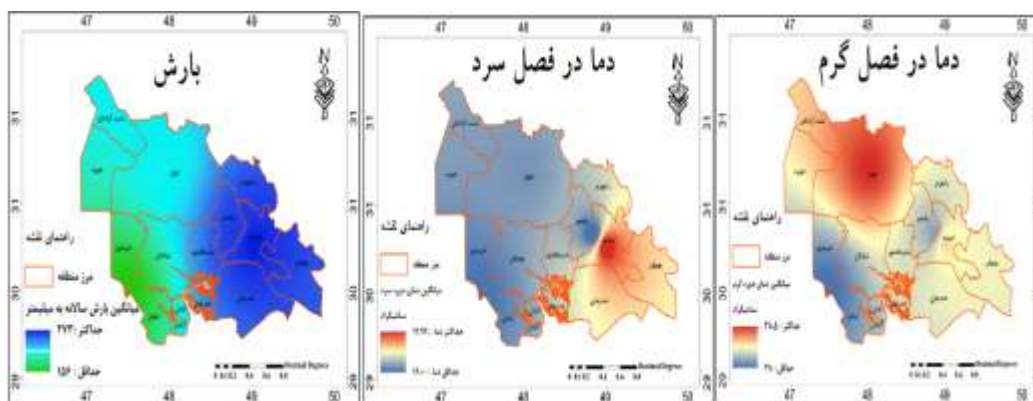
جدول ۳- آزمون‌های تحلیل روند سری زمانی میانگین دمای فصل گرم سال طی دوره آماری ۲۰۱۷-۱۹۸۵ در سطح اطمینان $(P_value = 0.05)$ (۱۳۹۹) ۰/۹۵

Table 3. Time series trend analysis tests of the average temperature of the hot season during the statistical period of 1985-2017 at the confidence level of 0.95 ($P_value = 0.05$) (2019)

آماره معنی داری آزمون	مقدار	نام متغیر	آزمون‌های تحلیل روند
-	دمای فصل گرم سال	نام متغیر مورد بررسی	آزمون آشکارسازی روند من کندال (Man-Kendall)
-	۱۹۸۵-۲۰۱۷	طول دوره آماری	
۰/۰۵	$1 \pm /96$	T بحرانی	
۰/۰۴	۱/۹۹	T من-کندال	
-	۰/۰۶۴ در سال	شیب (Q)	تخمین گر ناپارامتریک شیب Sens
-	۳۷/۲	عرض از مبدأ (B)	

که بخش‌های شمالی و مرکز منطقه مورد مطالعه دارای دمای بیشتر از $38/5$ درجه سانتی‌گراد در سال بوده است.

در شکل ۶ توزیع میانگین دمای فصل گرم سال طی دوره ۳۲ ساله ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد نواحی جنوبی منطقه مورد مطالعه خوزستان دارای میانگین دمای معادل بیش از 38 درجه سانتی‌گراد در سال بوده است در حالی



شکل ۶- نقشه توزیع فضایی میانگین دمای فصل گرم، سرد سال و بارش طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۱۷ (۱۳۹۹)

Figure 6. Spatial distribution map of the average temperature of the hot and cold seasons of the year and precipitation statistical period 1985-2017 (2019)

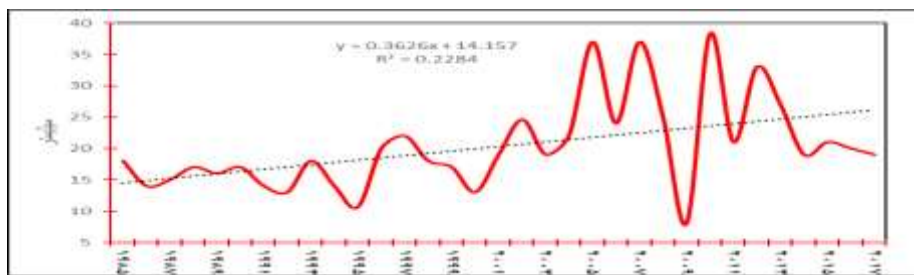
دمای منطقه مورد مطالعه (بخش جنوبی استان خوزستان) طی ۳۰ سال اخیر روند افزایشی داشته است به طوری که میانگین دمای دهه اول ۳۰ سال گذشته یعنی از سال ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۴ برابر با $25/2$ درجه سانتی‌گراد بوده است در حالی که در دهه دوم ۳۰ سال اخیر یعنی از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۴ برابر با $26/2$

در خروجی نرم افزار آشکارسازی تغییر اقلیم سازمان هواشناسی مشخص گردید، تغییرات ماهانه دمای میانگین ۳۲ سال اخیر منطقه مطالعاتی ارائه شده است همان‌طور که مشاهده می‌گردد، بیشترین تغییرپذیری دمای منطقه مورد مطالعه در فصل سرد و کمترین آن در فصل گرم سال بوده است. میانگین

مورد بررسی قرار گرفته است یا بارش سیلابی در واقع سنگین‌ترین بارش روزانه ثبت شده در هر سال در نظر گرفته شده است. همان‌طور که در شکل ۷ دیده می‌شود، سنگین‌ترین رکورد بارش‌های ثبت شده در ۲۴ ساعت، طی دوره آماری مورد بررسی در منطقه جنوب خوزستان طی دوره ۳۲ ساله مورد بررسی با شیب سالانه ۰/۳۶ میلی‌متر در سال روند افزایشی داشته است. این افزایش رکوردهای بارشی، به نوعی گویای افزایش ناهنجاری‌های بارشی در اقلیم منطقه می‌باشند.

درجه سانتی‌گراد بوده است و در دهه سوم ۳۰ سال اخیر یعنی طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ برابر با ۲۶/۴ درجه سانتی‌گراد بوده است.

سپس بارش حدی یا بارش سیلابی از طریق دو شاخص مورد بررسی قرار گرفت. در شاخص اول که در واقع مقدار بارش را نشان می‌دهد، سنگین‌ترین بارش روزانه، یعنی بالاترین بارشی که در ۲۴ ساعت رخ داده است، در هر سال به عنوان یکی از شاخص‌های رکورد بارش در نظر گرفته شده است. شاخص دوم تعداد روزهای با بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر در ۲۴ ساعت، بود که فراوانی این تعداد روزها، طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۱۷،



شکل ۷- نمودار سنگین‌ترین بارش‌های ثبت شده ۲۴ ساعت هر سال طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۱۷ (۱۳۹۹)

Figure 7. The graph of the heaviest rains recorded in 24 hours every year Statistical period 1985-2017 (2019)

روند آشکار شده یعنی ۰/۰۷۲ روز در سال، یک روند معنی دار در سطح اطمینان ۰/۹۵ نبوده است. آماره آزمون مذکور برابر ۰/۳۶ بوده است که در محدوده $\pm 1/96$ قرار نگرفته است و نشان دهنده معنی دار نبودن روند آشکار شده توسط تست تخمین گر شیب Sens می‌باشد (جدول ۴).

آماره ناپارامتریک تخمین گر شیب سنس نشان داد که روند سری زمانی رخدادهای حدی بارش (بارش‌های سیلابی) در منطقه مورد مطالعه با شیب سالانه ۰/۳۶ روز در سال افزایش داشته است اما برای ارزیابی این که این میزان کاهش معنی دار بوده است یا خیر؟ از آماره ناپارامتریک تحلیل روند من کندال استفاده شد. آزمون تحلیل روند من کندال نیز بیانگر آن بود که

جدول ۴- آزمون‌های تحلیل روند سری زمانی میانگین رخدادهای حدی بارش (بارش‌های سیلابی) طی دوره آماری ۲۰۱۷-

۱۹۸۵ در سطح اطمینان ۰/۹۵ ($P_value = 0.05$) (۱۳۹۹)

Table 4. Time series trend analysis tests of the average extreme rainfall events (flooding rains) during the statistical period of 1985-2017 at the confidence level of 0.95 ($P_value = 0.05$) (2019)

آزمون‌های تحلیل روند	نام متغیر	مقدار	آماره معنی داری آزمون
آزمون آشکارسازی روند من کندال (Man-Kendall)	نام متغیر مورد بررسی	رخدادهای حدی بارش (بارش‌های سیلابی)	-
	طول دوره آماری	۱۹۸۵-۲۰۱۷	-

۰/۰۵	۱±/۹۶	T بحرانی	تخمین گر ناپارامتریک شیب Sens
۰/۰۶	۰/۷	T من-کندال	
-	۰/۰۷۲ در سال	شیب (Q)	
-	۱۳/۲	عرض از مبدأ (B)	

امواج گرم یکی از مخاطرات اقلیمی است که در دهه اخیر فراوانی و شدت زیادی در استان خوزستان داشته است و هر ساله به ویژه در دوره گرم سال، رکوردهای حدی دماهای گرم ثبت می‌گردد. در این دوره حداکثر امواج گرمایی مربوط به سالهای اخیر می‌باشد به طوری که سه ساله اخیر نسبت به دو دهه قبل روند افزایش رخداد موج گرم به حدود ۲۰ موج در یک سال رسیده است. شکل ۸ فراوانی امواج رخداد را در دوره آماری مورد مطالعه نشان داده است. دیده می‌شود که حداکثر امواج گرمایی در سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۵ رخ داده است و کمترین رخداد موج گرم در سال‌های ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۴ دهه اول دوره مطالعاتی است و در دو دهه بعد با تغییرات اقلیمی روند افزایش امواج گرمایی شدت یافته است.

برای بررسی رخدادهای گرد و غبار از کدهای گرد و غبار ثبت شده ۴ ایستگاه هواشناسی منطقه مطالعاتی استفاده شده است. در ایستگاه سینوپتیک اهواز، طی دوره آماری ۳۲ ساله مورد بررسی یعنی از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۷ تعداد ۱۸۲۳ رخداد گردوغبار ثبت شده است، به عبارت دیگر در این ایستگاه

سینوپتیک حدود ۰/۱۵ از روزهای کل دوره آماری ۳۲ ساله، توام با گرد و غبار بوده است و به طور متوسط هر ساله ۵۵ روز توام با گرد و غبار ثبت شده است.

آماره ناپارامتریک تخمین گر شیب سنس نشان داد که روند سری زمانی تعداد رخدادهای گرد و غبار در سال در منطقه مورد مطالعه با شیب سالانه ۲/۱ روز در سال افزایش داشته است اما برای ارزیابی این که این میزان کاهش معنی دار بوده است یا خیر؟ از آماره ناپارامتریک تحلیل روند من کندال استفاده شد. آزمون تحلیل روند من کندال نیز بیانگر آن بود که روند آشکار شده یعنی ۲/۱ روز در سال، یک روند معنی دار در سطح اطمینان ۰/۹۵ بوده است. آماره آزمون مذکور برابر ۲ بوده است که در محدوده $\pm ۱/۹۶$ قرار گرفته است و نشان دهنده معنی دار بودن روند آشکار شده توسط تست تخمین گر شیب Sens می‌باشد (جدول ۵).

جدول ۵- آزمون‌های تحلیل روند سری زمانی تعداد رخدادهای گردوغبار در سال طی دوره آماری ۲۰۱۷-۱۹۸۵ در سطح اطمینان ۰/۹۵ (P_value = 0.05) (۱۳۹۹)

Table 5. Time series trend analysis tests of the number of dust events per year during the statistical period of 1985-2017 at the confidence level of 0.95 (P_value = 0.05) (2019)

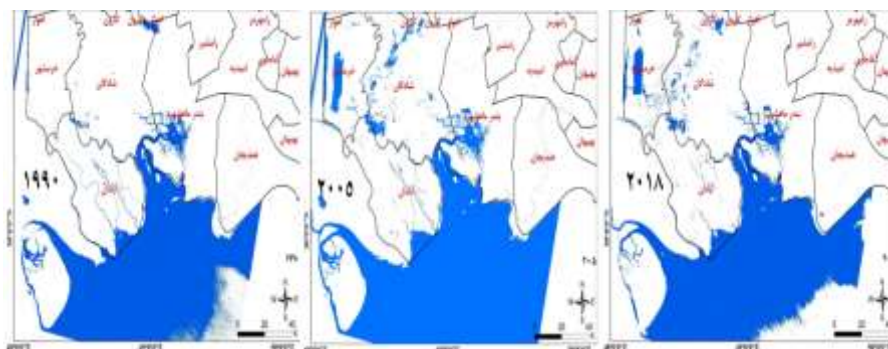
آماره معنی داری آزمون	مقدار	نام متغیر	آزمون‌های تحلیل روند
-	رخدادهای گردوغبار در سال	نام متغیر مورد بررسی	آزمون آشکارسازی روند من کندال (Man-Kendall)
-	۱۹۸۵-۲۰۱۷	طول دوره آماری	
۰/۰۵	۱±/۹۶	T بحرانی	
۰/۰۴	۲	T من-کندال	تخمین گر ناپارامتریک شیب Sens
-	۲/۱ روز در سال	شیب (Q)	
-	۱۸/۵	عرض از مبدأ (B)	

روند سری زمانی میزان تخلیه آب زیرزمینی توسط چاه‌های عمیق و نیمه عمیق در شکل ۱۱ ارائه شده است همان طور که مشاهده می‌گردد میزان تخلیه توسط چاه‌های عمیق و نیمه عمیق طی دوره آماری مورد مطالعه روند افزایشی قابل توجهی داشته است.

یکی دیگر از مهم‌ترین مخاطرات محیطی تهدید کننده زیرساخت‌های مختلف نواحی ساحلی، تغییرات و جا به جایی خط ساحلی است. در این بخش اقدام به بررسی جا به جایی خط ساحلی طی سه دور آماری ۱۹۹۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۸ گردید. با به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و ۸ یعنی سنجنده‌های TM و OLI و استخراج شاخص تفاضل نرمال شده آب^۱ که براساس باندهای سبز و مادون قرمز تغییرات خط ساحلی منطقه جنوب خوزستان در شهرستان‌های ساحلی این استان یعنی آبادان، بندرماهشهر و هندیجان و شادگان به دست آمد. در شکل ۱۲ خط ساحلی جنوب استان خوزستان در طی سه دوره آماری ۱۹۹۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۸ ارائه شده است.

بعد از بررسی‌های اقلیمی منطقه، اقدام به بررسی تغییرات منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بر اساس داده‌های منابع آب زیرزمینی شرکت مطالعات پایه منابع آب منطقه‌ای استان خوزستان گردید. روند تخلیه منابع آب زیرزمینی بخش جنوبی استان خوزستان عموماً از طرق چاه‌های عمیق و نیمه عمیق بوده است به طور متوسط بر اساس دوره آماری ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۵ چاه‌های نیمه عمیق به طور متوسط سالانه ۱۸۱ میلیون متر مکعب آب زیرزمینی منطقه را تخلیه کرده‌اند که برابر با ۱۴ درصد از کل تخلیه سالانه منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بوده است. در حالی که میزان تخلیه توسط چاه‌های عمیق براساس میانگین دوره آماری مذکور ۷۵۱ میلیون متر مکعب در سال بوده که برابر با ۵۷ درصد از کل تخلیه سالانه است. چشمه‌ها در همین دوره آماری به طور متوسط سالانه ۳۵۲ میلیون متر مکعب از منابع آب زیرزمینی منطقه را (۲۸ درصد) تخلیه کرده است. نقش قنات‌ها در تخلیه آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بسیار کم رنگ بوده است به نحوی که ۲/۶ میلیون متر مکعب (کمتر از ۱ درصد) در سال بوده است.

روند سری زمانی تغییرات میزان تخلیه منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد، چشمه‌ها در ابتدای دوره مورد مطالعه نقش پررنگی در تخلیه منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه داشته‌اند، در حالی که میزان تخلیه توسط چشمه‌ها به صورت معنی داری در سال‌های اخیر کاهش پیدا کرده است. در حالی که میزان تخلیه منابع آب زیرزمینی توسط چاه‌های عمیق و نیمه عمیق طی دوره مورد مطالعه روند افزایشی داشته است. همان طور که در شکل ۱۰ دیده می‌شود میزان تخلیه توسط قنات‌ها در همه سال‌ها بسیار ضعیف بوده است.



شکل ۸- نقشه مرز خط ساحلی بخش جنوبی استان خوزستان در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۸ (۱۳۹۹)

Figure 8. Coastline border map of the southern part of Khuzestan province in 1990, 2005 and 2018 (2019)

جدول ۵ میزان پیشروی آب دریا (جا به جایی خط ساحلی) ارائه شده است همان طور که مشاهده می‌گردد در دوره اول یعنی از ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵ خط ساحلی حدود ۲/۴ کیلومتر در سراسر نوار ساحلی منطقه مورد مطالعه به سمت خشکی جا به جا شده است در حالی که در دوره دوم یعنی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۸ میزان پیشروی آب دریا به سمت خشکی به طور متوسط ۲ کیلومتر بوده است.

همان طور که در شکل ۸ دیده می‌شود، جا به جایی عمومی خط ساحلی در جنوب خوزستان با استفاده از مرز آب و خشکی که از شاخص NDWI سنجنده‌های TM و OLI به دست آمد، طی سه دوره ۱۹۹۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۸ استخراج شده است. همان طور که در این شکل مشاهده می‌گردد، خط ساحلی جنوب خوزستان از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۵ یعنی طی ۱۶ سال در بخش وسیعی از نوار ساحلی به سمت خشکی جا به جا شده است در حالی که در دوره دوم یعنی از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۸ (طی ۱۳ سال) جا به جایی کمتری صورت گرفته است.

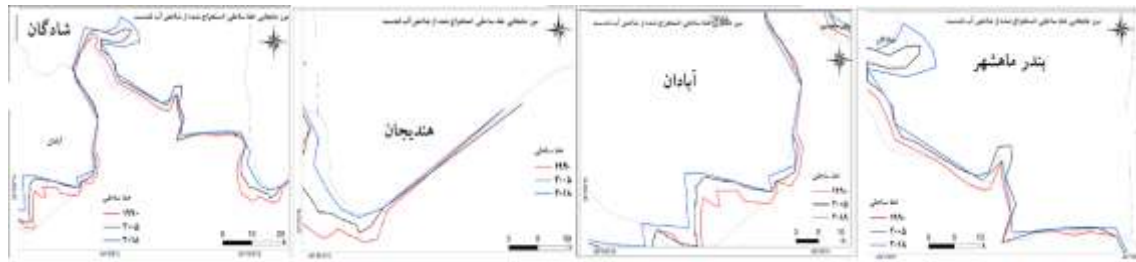
جدول ۵- میزان پیشروی آب دریا (جا به جایی خط ساحلی) (۱۳۹۹)

Table 5. The rate of sea water advance (displacement of the coastline) (2019)

دوره	میزان جا به جایی (میانگین)	سمت جا به جایی
۱۹۹۰-۲۰۰۵	۲/۴ کیلومتر	به سمت خشکی
۲۰۰۵-۲۰۱۸	۲ کیلومتر	به سمت خشکی

دوره مورد بررسی خط ساحلی به سمت خشکی جا به جا شده است میزان این جا به جایی در ساحل هندیجان از ۱۱۰ متر تا ۴ کیلومتر بوده است. میزان این جا به جایی در ساحل آبادان از ۱۱۰ متر تا ۴ کیلومتر، در ساحل شادگان از ۲ تا ۳ کیلومتر و در ساحل بندرماهشهر از ۲۰۰ متر تا ۳ کیلومتر بوده است.

در شکل ۹ میزان جابه‌جایی خط ساحلی و پیش روی آب دریا، در شهرستان‌های هندیجان، شادگان، بندرماهشهر و آبادان در جنوب استان خوزستان طی سه دوره ۱۹۹۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۵ با استفاده از شاخص NDWI سنجنده‌های TM و OLI ماهواره لندست ارائه شده است همان طور که مشاهده می‌شود طی سه



شکل ۹ - میزان جابه‌جایی خط ساحلی و پیش روی آب دریا، در شهرستان‌های مورد مطالعه در جنوب استان خوزستان طی

سه دوره ۱۹۹۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۵ با استفاده از شاخص NDWI سنجنده‌های TM و OLI ماهواره لندست (۱۳۹۹)

Figure 9. The amount of displacement of the coastline and sea front in the studied cities South of Khuzestan province during three periods of 1990, 2005 and 2015 using NDWI index TM and OLI sensors of Landsat satellite (2019)

در مرحله بعد به بررسی ویژگی‌های اقلیمی دوره تغییر اقلیم پرداخت شد. در این بخش ویژگی‌های دما و بارش سال ۲۰۶۵ تحت دو خط سیر انتشار دی اکسید کربن RCP2.6 (خط سیر خوش‌بینانه) و RCP8.5 (خط سیر بدبینانه) ارائه شده است این داده‌ها بر اساس یکی از مدل‌های CMIP5 به نام CESM1(CAM5) تولید شده‌اند که رزولوشن فضایی آن‌ها برای منطقه مورد مطالعه بزرگ بوده است لذا با استفاده از مدل ریز مقیاس نمایی آماری LARS_WG6 برای موقعیت منطقه مورد مطالعه یعنی ایستگاه‌های ۴ گانه مورد بررسی جنوب استان خوزستان یعنی آبادان، اهواز، امیدیه و آغاچاری

ریز مقیاس نمایی شده‌اند. داده‌های روزانه خروجی این مدل نیز در هر دو سناریو برای دما و بارش تولید شد. در مرحله بعد به تحلیل آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها با استفاده از مدل فازی پرداخته شد. در ابتدا با استفاده از روش آنتروپی شانون وزن ۱۱ متغیر مشخص گردید. جدول ۷ وزن نهایی متغیرهای موثر در آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها در مناطق جنوبی استان خوزستان را با استفاده از روش آنتروپی شانون نشان می‌دهد. بر اساس این جدول سیلاب و آب‌گرفتگی معابر از دیدگاه کارشناسان با وزن ۰/۲۳۲ مهم‌ترین متغیر شناخته شده است. سپس تغییرات در میزان بارش و وقوع بارش‌های سنگین با وزن ۰/۱۹۱ مهم‌ترین عامل می‌باشد.

جدول ۷- ماتریس وزن‌های نهایی هر کدام از لایه‌های محیطی و اقلیمی شناختی موثر با استفاده از آنتروپی شانون (Shanon

Entropy) در استان خوزستان (۱۳۹۹)

Table 7. Matrix of final weights of each of the effective environmental and climatological layers with Using Shannon Entropy in Khuzestan Province (2019)

وزن روش فازی (Fuzzy)	متغیر	وزن روش فازی (Fuzzy)	متغیر
۰/۰۹۸	جا به جایی خط ساحلی	۰/۰۷۵	بارش
۰/۰۱۹	دمای فصل سرد	۰/۰۳۸	دمای فصل گرم
۰/۰۴۱	میانگین دمای سالانه	۰/۱۵۸	گردوغبار
۰/۱۶۳	تغییرات آب زیرزمینی	۰/۲۳۲	سیلاب
۰/۱۷۵	امواج گرم	۰/۱۹۱	تغییرات بارش
		۰/۰۲۴	تغییرات دما

Tools→Overly→Fuzzy Overly
منطقه مورد مطالعه تهیه گردید (شکل ۱۰) (جدول ۸).

پس از مشخص شدن وزن نهایی هر متغیر، وزن‌ها در محیط نرم افزار ARC/MAP 10.2 بر روی لایه‌های رقومی هر متغیر اعمال گردید. سپس با استفاده از گزینه Spatial Analyst

جدول ۸- مساحت طبقات خسارت زایی (۱۳۹۹)

Table 8. Area of damage classes (2019)

طبقات مخاطره آمیز	مساحت (هکتار)	مساحت نسبی (درصد)
مخاطره زایی بسیار بالا	۱۲۱۶۲۲۸/۲۶	۳۸
مخاطره زایی بالا	۱۵۲۴۷۰۹/۸۷	۴۸
مخاطره زایی متوسط	۲۹۳۹۷۰/۶۸	۱۰
مخاطره زایی کم	۱۳۶۶۷۶/۶۱	۴

شکل ۱۰ نقشه میزان خطرپذیری مناطق جنوبی استان خوزستان را در چهار پهنه بسیار زیاد، زیاد، متوسط و کم نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- نقشه میزان خطرپذیری مناطق جنوبی استان خوزستان در اثر تغییر اقلیم (۱۳۹۹)

Figure 10. Map of the degree of vulnerability of the southern regions of Khuzestan province due to climate change (2019)

بحث و نتیجه گیری

با منشاء محلی (پهنه‌های خشک شده هورالعظیم) و خارجی با ترتیب بر روی لاین‌های انتقال نیرو، موجب پرت شدید انتقال نیرو و خوردگی شدید قطعات سیلکونی و سرامیکی انتقال نیرو روی دکل‌ها می‌شود. بارش گردوغبار تأثیرات فراوان و بسیار مخربی را بر سیستم‌های توزیع و انتقال برق داشته است. این پدیده بر زندگی چند میلیون نفر از ساکنان مهم‌ترین قطب

امواج گرم به صورت قابل توجهی بار مصرفی برق را که صرف تأمین نیازهای سرمایشی می‌شود، افزایش می‌دهد. نیروگاه‌های برقی و برق آبی منطقه مورد مطالعه در روزهای با حاکمیت موج گرم به شدت افزایش پیدا می‌کند. این اضافه بار هم در نیروگاه و هم زمان انتقال نیرو توسط خطوط انتقال نیرو موجب اتلاف بسیار بالای انرژی می‌شود. در این طبقه وجود گردوغبار

است. پیشروی آب دریا به ویژه زمانی که به دلیل بارش‌های شدید در بالادست، دبی رودخانه کارون بالا می‌رود، و سبب پیش روی‌های مقطعی خط ساحلی به سمت خشکی می‌شود، می‌تواند باعث آب گرفتگی تأسیسات بندرگاهی شود.

در عرصه با مخاطره اقلیمی کم، که عموماً در بخش‌های غربی منطقه واقع است، در فصل گرم، تنش‌های گرمایی و امواج گرم می‌تواند آتش سوزی‌های گسترده‌ای در عرصه‌های مرتعی آن‌ها ایجاد کند. کاهش سطح آب زیرزمینی در این عرصه‌ها به سبب تخلیه وسیع برای کشاورزی به ویژه کاشت نیشکر، گندم، چغندر قند، و گوجه فرنگی باعث ایجاد بحران در آب‌های زیرزمینی منطقه شده است. بارش‌های همرفتی شدید به ویژه در فصل بهار، می‌تواند خسارات زیادی به تأسیسات شهری و سدهای منطقه تحمیل کند. در این عرصه‌ها هم گردوغبار یکی از مهمترین مخاطرات اقلیمی به حساب می‌آید. اما تنش‌های حرارتی و امواج گرم کمی کم‌رنگ‌تر هستند. آلودگی هوای ناشی از فعالیت‌های پتروشیمی در این عرصه‌ها کمتر از دو عرصه ذکر شده در بالا می‌باشد.

نتایج این تحقیق با نتایج تحقیق Timmerman در سال ۱۹۸۱ (۱۸) هم خوانی دارد. در این تحقیق بر روی مفهوم آسیب‌پذیری را در قالب پژوهش‌های تغییر آب و هوا در نظر می‌گیرد. او آسیب‌پذیری را به عنوان درجه‌ای که یک سیستم ممکن است به صورت نامطلوب به وقوع یک رویداد خطرناک واکنش نشان دهد تعریف می‌کند. همچنین نتایج این پژوهش با تحقیق Johansson و Henrik در سال ۲۰۱۰ (۱۹) هم خوانی دارد. در پژوهش خود با ارزیابی سیستماتیک از آسیب‌پذیری زیرساخت‌های وابسته به هم، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، شبکه‌های برق و گاز را در سراسر اروپا از نظر آسیب‌پذیری مورد بررسی و ارزیابی قرار داده و نقاط آسیب پذیر قاره را شناسایی کردند. نتایج این پژوهش با تحقیق Johansson و همکاران در سال ۲۰۱۳ (۲۰) هم خوانی دارد. در پژوهشی با عنوان ارزیابی قابلیت اطمینان و آسیب‌پذیری زیرساخت‌های حیاتی: مقایسه دو روش در زمینه سیستم‌های انرژی، دو روش اصلی را برای کسب دانش مورد نیاز برای

کشاورزی، صنعتی و نفتی کشور یعنی جنوب استان خوزستان سایه افکنده و علاوه بر سخت کردن زندگی روزمره مردم، بسیاری از فعالیت‌ها و پروژه‌های اقتصادی، تولیدی و خدماتی را با مشکل روبه رو می‌کند. از میان صنایع مختلفی که مورد آسیب قرار می‌گیرند مطالعات تخصصی روی صنعت آب و برق استان خوزستان نشان داده است که ریزگردها، پست‌های برق این استان را به شدت تحت تأثیر قرار داده است. تعداد حوادث در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ به ترتیب از ۷۸۳ به ۱۲۳۴ مورد رسیده است؛ هم چنین این پدیده شبکه‌های توزیع برق را دچار مشکلات جدی نموده و قطعی‌ها و خاموشی‌های زیادی را به وجود آورده است که آمار آن از سال ۹۴ یعنی ۲۷۵ مورد به ۴۱۰ مورد در سال ۹۶ رسیده است. بارش ذرات ریزگرد روی مفره‌های انتقال نیروی برق علاوه بر خوردگی شدید، در صورت بالا رفتن رطوبت هوا و تشکیل مه، باعث گل گرفتگی شدید این قطعات، سنگین شدن سیم‌های برق و پارگی آن‌ها، می‌شود. دماهای بسیار بالای جنوب استان خوزستان می‌تواند خسارات بسیار چشم‌گیری بر روی سلول‌های فتوولتاییک تولید انرژی خورشیدی وارد کند. سلول‌های خورشیدی در برابر دماهای بالا بسیار آسیب پذیرند. به طور کلی در این عرصه مخاطره آمیز، دماهای بالا، امواج گرم، گردوغبار و بارش ریزگردها، مهم‌ترین عامل خسارت زا و تهدید کننده زیرساخت‌های منطقه اعم از پالایشگاه‌ها، نیروگاه‌ها و خطوط انتقال نیرو و کشاورزی می‌شود. در پهنه دوم یعنی عرصه‌هایی که پتانسیل مخاطره زای بالایی برای آسیب زدن به زیرساخت‌ها دارند، در کنار تنش‌های حرارتی، امواج گرم، ریزگردها و گردوغبار، مخاطراتی مانند شرعی، آبگرفتگی، پیشروی آب دریا، نیز وجود دارد. اما شایان ذکر است، در این عرصه تنش‌های حرارتی کمتر از عرصه ذکر شده در بالا است. در این بخش گرد و غبارها عموماً همراه با رطوبت شرعی خسارات بالایی بر روی خطوط انتقال نیرو وارد می‌کنند. گل گرفتگی مفره‌های انتقال برق، باعث قطعی‌های شدید برق به ویژه در هنگام امواج گردوغبار که عموماً در فصل گرم سال است، می‌شود. در این عرصه ریسک آتش سوزی در تأسیسات پالایشگاهی و مخازن نفت و گاز کمتر

می‌تواند به طور مستقیم یا غیرمستقیم سازه‌ها و ابنیه صنعتی مانند ساختمان‌ها و جاده‌ها را تهدید کند. همچنین نتایج این پژوهش با تحقیق Bahrami و همکاران در سال ۲۰۱۴ (۲۲) هم خوانی دارد. این مقاله با عنوان تأثیر اقلیم بر پایداری سیستم‌های شهری می‌باشد. بین تغییرات اقلیمی و سیستم‌های شهری رابطه متقابلی وجود دارد. سیستم‌های شهری از طریق عملکردها، کارکردها و فعالیت‌های متنوع خود باعث تغییرات اقلیمی می‌شوند و متقابلاً اقلیم نیز از طریق بارش‌های سنگین، طوفان، سیل و طغیان‌های رودخانه‌ای سیستم‌های شهری را مختل می‌کند. نتایج این پژوهش با تحقیق Jamali در سال ۲۰۱۴ (۲۳) هم خوانی دارد. در این پژوهش اثرات پتانسیل تغییر اقلیم بر نیروگاه‌های آبی در دست مطالعه، ساخت و بهره برداری حوضه کرخه، در سه افق زمانی بررسی شده است. بدین منظور یک مدل شبیه‌سازی منابع آب جهت برآورد میزان تولید انرژی برق-آبی تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم، توسعه داده شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد قواعد بهره برداری که مبتنی بر داده‌های مشاهده‌ای حوضه هستند، هر چند در افق زمانی کوتاه مناسب‌اند اما از بستری کافی در افق‌های میانه و دور برخوردار نمی‌باشند. بنابراین برای افزایش سازگاری، مدیریت تطبیقی، لازم الاجرا خواهد بود. همچنین نتایج این پژوهش با تحقیق Zarqani و همکاران در سال ۲۰۱۸ (۱۵) هم خوانی دارد. این پژوهش با روش توصیفی-تحلیلی و با استناد به منابع معتبر به دنبال بررسی و تحلیل تأثیر افزایش سطح آب‌های دریاها بر محیط‌زیست طبیعی و فعالیت‌ها و مراکز و سکونت‌گاه‌های انسانی است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد، افزایش سطح آب‌های دریاها به دلیل تغییرات شدید در اکوسیستم نواحی ساحلی، نفوذ آب شور، ایجاد زمین‌های مرطوب و باتلاقی، طغیان‌ها و طوفان‌ها، فرسایش شدید، از بین رفتن سکونت‌گاه‌ها و زیرساخت‌های شهری، صنعتی و تهدید کشاورزی، شیلات و سایر منابع معیشتی منجر به تهدید جدی توسعه، رفاه، امنیت و ثبات جوامع و کشورها می‌شود.

طراحی و بهبود زیرساخت‌های حیاتی پیشنهاد کرده‌اند که عبارت‌اند از: تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان و تحلیل آسیب‌پذیری. در ادامه نیز برای هر کدام، روش جداگانه‌ای را برای سنجش پیشنهاد داده‌اند. نتایج این پژوهش با تحقیق Udrie و همکاران در سال ۲۰۱۸ (۱۲) هم خوانی دارد. در این پژوهش با عنوان یک چارچوب مفهومی برای ارزیابی آسیب‌پذیری تأثیر تغییرات آب و هوایی بر زیرساخت‌های بحرانی نفت و گاز در دلتای نیجر، از روند سلسله‌مراتبی (AHP) استفاده می‌گردد، تأثیر تغییرات آب و هوایی در دلتا نیجر بسیار شدید است، چرا که حوادث شدید آب و هوایی در سطوح مختلف بر روی زیرساخت‌های بحرانی نفتی و گازی تأثیر می‌گذارند. به طور معمول، مدیران دارایی‌ها و سازمان‌های دولتی چارچوب مشخصی برای ارزیابی آسیب‌پذیری این سیستم‌ها ندارند. در این مطالعه توصیه می‌شود از روش‌های دیگر مناسب و رویکردهای سیستماتیک برای تست انعطاف‌پذیری چارچوب استفاده شود. همچنین نتایج این پژوهش با تحقیق Reder و همکاران در سال ۲۰۱۸ (۱۳) هم خوانی دارد. در این تحقیق به ارزیابی تغییرات شاخص‌های شدید که منجر به خطرات آب و هوایی در زیرساخت‌های حیاتی در اروپا بر اساس چارچوب INTACT پرداخته‌اند. برای شناسایی تغییرات ایجاد شده توسط تغییر آب و هوا، شاخص‌های مناسب آب و هوایی شدید (EWIS)، به عنوان عاملی از ویژگی‌های جوی اصلی که باعث وقایع با تأثیر بالا بر زیرساخت‌ها، برای تعدادی از مطالعات موردی تعریف شده و رویکردهای مختلف برای به دست آوردن پیش‌بینی‌های آب و هوایی محلی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج این پژوهش با تحقیق Lee و همکاران در سال ۲۰۱۹ (۲۱) هم خوانی دارد. بیش از دوسوم تهدیدات معطوف به زیرساخت‌ها و شریان‌های حیاتی است و نقش مهم شریان‌های حیاتی در فرآیند مدیریت جامع بحران شهری و ارتباط تنگاتنگ این شبکه‌ها با هم از یکسو و ارزش اقتصادی آن‌ها از سوی دیگر باعث می‌شود که توجه ویژه‌ای به آن‌ها داشته باشیم. نتایج این پژوهش با تحقیق Fakhruddin و همکاران در سال ۲۰۲۰ (۱۴) هم خوانی دارد. افزایش شدت خشکسالی، سیلاب، آتش‌سوزی و افزایش دمای ناشی از اثرات تغییر اقلیم

Pp.

<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100579>.

7. Singh, A.S., Zwickle, A., Bruskotter, J.T., Wilson, R. (2019). The perceived psychological distance of climate change impacts and its influence on support for adaptation policy. *Environmental Science Policy*, 73: 93-99.
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.04.011>.
8. Motahar, A.A.A. (2018). The effects of climate change on Iran's environment and its challenges in advancing the pattern of progress. 7th Iranian Islamic Model of Progress Conference from the basic model to the Iranian Islamic model of progress, pp. 1-20.
9. Blanco, A.V.R. (2016). Local initiatives and adaptation to climate change. *Disasters*, 30(1):140-147.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-9523.2006.00311.x>
10. Manafeloeyan, C., Saeedeh Zarabadi, Z., Behzadfar, M. (2018). Assessing the factors affecting climate resilience (Case study: Tabriz). *Journal of New Attitudes in Human Geography*, 12: 526-509.
11. White, R., Boulton, T., Chow, E. (2014). A computational asset vulnerability model for the strategic protection of the critical infrastructure, *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 7(3): 167-177.
12. Udie, J., Bhattacharyya, S., Ozawa-Meida, L. (2019). A Conceptual Framework for Vulnerability Assessment of Climate Change Impact on Critical Oil and Gas Infrastructure in the Niger Delta, *Climate* 6: 11-19.

References

1. Yazdani, M., Seyedin, A. (2016). Assessment of spatial vulnerability of infrastructure in Ardabil from the perspective of passive defense. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 17: 199-179.
2. Bakhshi Shadmehri Zarfani, S.H., Kharazmi, A. A. (2016). Analysis of passive defense considerations in urban infrastructure with emphasis on water infrastructure. *Journal of Geographical Research*, 31: 120-104.
3. Salehnasab, A., Khalilabad Police Station, H., Continuator, Y. (2019). Identification and evaluation of threats in the infrastructure of threats in the critical infrastructure of cities with a passive defense approach (Case study: 6 Region 6 of Tehran). *Journal of Urban Research and Planning*, 9: 99-114. Doi: [20.1001.1.20086849.1400.12.4.3.5](https://doi.org/10.1001.1.20086849.1400.12.4.3.5).
4. Trenberth Kevin, E., Philip, D. (2019). Jones Peter Ambenje, Roxana Bojariu, David asterling, Albert Klein Tank, David Parker, Fatemeh Rahimzadeh, James A. Renwick, Matilde Rusticucci, Brian Soden, Panmao Zhai. *IPCCWGIbervations: Surface and Atmospheric Climate Change*. 52: 308-312.
5. Abdi, P. (2005). Study of climate change in Ghezel Ozan watershed in Zanzan province and its impact on water resources in the region. *Sepehr Magazine*, 53: 38-47. (In persian)
6. Oliviera, J.V., Cohen, J.C.P., Pimente, M., Touringo, H.L.Z., Lobo, A., Sodre, G., Abdala, A. (2020). Urban climate and environmental perception about climate change in Belém, Pará, Brazil. *Urban Climate*, 31: 100579. 16

- infrastructures in the context of vulnerability analysis. *Reliability Engineering and System Safety*, 95(12):1335-1344.
<https://doi.org/10.1016/j.ress.2010.06.010>
20. Johansson, J., Henrik, H., Enrico, Z. (2013). Reliability and vulnerability analyses of critical infrastructures: Comparing two approaches in the context of power systems. *Reliability Engineering and System Safety*, 120: 27-38.
 21. Lee, EE., Mitchell, J.E., Wallace, W.A. (2019). Restoration of Services in Interdependent Infrastructure Systems: A Network Flow Approach. *IEEE Transaction on Systems Magazine*, 37: 1303-1318.
 22. Bahrami, Y. Marsousi, N. Absolute power, A. Ahmadi, K. (2014). The impact of climate on the sustainability of urban systems. *International Conference on Sustainable Development, Strategies and Challenges focusing on Agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism, Tabriz, Permanent Secretariat of the International Conference on Sustainable Development, Strategies and Challenges*.
 23. Jamali, S. (2014). Pathology of hydropower plants in the face of the effects of climate change; Case study: Karkheh catchment. *Quarterly Journal of Iran Hydropower Dam and Power Plant*. 1: 25-37.
<https://doi.org/20.1001.1.23225882.1393.1.2.3.5>.(In Persian)
 - DOI:10.3390/cli6010011. www.mdpi.com/journal/climate.
 13. Reder, A, Iturbide S., Herrera G., Rianna P. (2018). Mercogliano1,5 and J. M. Gutiérrez3 Assessing variations of extreme indices inducing weather-hazards on critical infrastructures over Europe the INTACT framework, *Climatic Change* <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2184-4>.
 14. Fakhruddin, B. S., Reinen-Hamill, R., Robertson, R. (2020). Extent and evaluation of vulnerability for disaster risk reduction of urban Nuku'alofa, Tonga. *Progress in Disaster Science*, 100017. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2019.100017-100027>. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2019.100017>.
 15. Soltani, S.R., Mousavi S., Zali, N. (2108). Risk analysis and assessment of regional infrastructure from the perspective of passive defense Case study: South Pars Industrial Zone. *Journal of Regional Planning*, 7: 83 - 94.
 16. Zarqani, S.H., Mofidi, A.S., Shafieinia, M. (2018). Climate change analysis and its consequences Case study: Sea level rise. *The Second National Conference on Meteorology of Iran, Mashhad, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian)*
 17. Vice President of Planning and Economic Affairs of Khuzestan Industrial Towns, 2017.
 18. Timmerman, P. (1981). *Vulnerability, resilience and the collapse of society*, Environmental Monograph.
 19. Johansson, J., Hassel, H. (2010). An approach for modelling interdependent