Archive of SID

مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق)/ دورهٔ ۶، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۸/ ص ۳۷۶-۳۶۱
DOI: 10.22059/jhsci.2020.292322.516

آسیب‌پذیری زیرساخت‌های نواحی جنوبی استان خوزستان در شرایط تغییر اقلیم

آرش رحیمی (rarash1969@gmail.com)
دانشجوی دکتری تخصصی آب‌وهواشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

رضا برنا*
دانشیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

جعفر مرشدی
استادیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

جبرائیل قربانیان
استادیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۸/۸/۲۰- تاریخ پذیرش ۱۳۹۸/۱۱/۲۷)

چکیده

یکی از مهم‌ترین مباحث و چالش‌های پیش روی بشر، پدیدهٔ تغییر اقلیم و اثرهای آن بر تأسیسات، صنایع و زیرساخت‌های یک مکان است. استان خوزستان و به‌خصوص بخش جنوبی آن از قطب‌های مهم صنعتی، تجاری و بندرگاهی کشور است. در دههٔ اخیر پدیده‌های جوی همچون ریزگردها، امواج گرمایی و بارش‌های سیل‌آسا سبب اختلال در فعالیت این زیرساخت‌ها و صنایع شده است. یکی از آثار تغییرات اقلیمی، ناهنجاری در شدت و تکرار وقوع فرین‌های اقلیمی است. هدف این پژوهش، آشکارسازی پهنه‌بندی آسیب‌پذیری زیرساخت‌های نواحی جنوبی استان خوزستان در شرایط تغییر اقلیم است. به این منظور ابتدا ایستگاه‌ها براساس دورهٔ آماری مرتب شدند. هشت ایستگاه انتخاب شد و با استفاده از دو آزمون تحلیل روند یعنی آزمون تحلیل روند تخمینگر شیب سنس و آزمون تحلیل روند من-کندال روند سری زمانی ۲۹ سالهٔ این عناصر در طی دورهٔ آماری پایه (۱۹۸۹-۲۰۱۷)، بررسی شد. دوره تغییر اقلیم تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 گزارش پنجم CMIP5 استخراج شد. با استفاده از الگوریتم AHP ماتریس مقایسهٔ زوجی مخاطرات اقلیمی خسارت‌زا تشکیل شد. بعد از مشخص شدن وزن هر کدام از فاکتورها، در نرم‌افزار ArcGIS این وزن‌ها روی لایه‌های هر کدام از فاکتورهای اقلیمی اجرا شده و چهار پهنهٔ خسارت‌زایی اقلیمی مشخص شد. براساس وزن نهایی به‌دست‌آمده از ماتریس مقایسهٔ زوجی، سیلاب، گردوغبار و سپس امواج گرم به‌ترتیب با وزن نهایی ۰/۱۷، ۰/۱۶ و ۰/۱۵ بیشترین تأثیر را در شدت خسارت‌زایی اقلیمی برای زیرساخت‌های مختلف منطقه داشته‌اند. پهنهٔ با قابلیت مخاطره‌زایی بسیار زیاد در بخش‌های شمالی و مرکزی منطقهٔ تحقیق دیده می‌شود. طبقهٔ دارای خسارت‌زایی اقلیمی کم منطبق بر غربی‌ترین بخش از منطقهٔ تحت مطالعه است. تنش‌های حرارتی ناشی از موج گرم و شرجی در این منطقه کم‌رنگ‌تر است، اما گردوغبار و بارش‌های رگباری منجر به سیل در این پهنه از مخاطرات اقلیمی مهم به شمار می‌رود.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری، استان خوزستان، تغییر اقلیم، زیرساخت، نواحی جنوبی.

* نویسندهٔ مسئول
Email: bornareza@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

زیرساخت‌های حیاتی با ارائهٔ خدماتی که برای عملکرد جامعه ضروری‌اند، ستون فقرات جامعه را تشکیل می‌دهند. اختلال در عملکرد زیرساخت‌های حیاتی ممکن است پیامدهای گسترده‌ای بر سلامت، امنیت، ایمنی و اقتصاد جامعه داشته باشد [۱]. زیرساخت‌ها، شاهرگ‌های تعیین‌کنندهٔ بقای مناطق صنعتی و شهری در دنیای امروزند. این شریان‌ها برای تولید و توزیع کالاها و خدمات در واحدهای صنعتی و شهری به کار می‌روند و امکان زندگی در شهرها و توسعهٔ مناطق صنعتی نیز به کیفیت و کمیت کارکرد این شریان‌ها بستگی دارد. از آن جمله می‌توان به شبکهٔ برق، آب آشامیدنی، نفت و گاز و سوخت‌رسانی، ارتباطات، مخابرات و اینترنت اشاره کرد. هر کدام از این شبکه‌ها ساختارهای مختص به خود دارند و برای خدمت‌رسانی و انتقال و توزیع خدماتشان از روش‌های مختلفی استفاده می‌کنند [۱۵]. آسیب‌پذیری، یک عیب یا کاستی در طراحی، اجرا، عملکرد یا مدیریت زیرساخت تعریف می‌شود. آن هنگام که زیرساخت مذکور با خطر و تهدید مواجه می‌شود آنها را مستعد خرابی یا ناتوان می‌کند یا ظرفیت آن را برای دوباره به‌دست آوردن شرایط ثابت جدید کاهش می‌دهد. ارزیابی تهدید و ریسک در زیرساخت‌ها شامل روش‌های تعیین، تحلیل، کمّی‌سازی و کشف ارتباطات، میان ویژگی‌های است که مهاجم را به سمت هدف خاصی سوق می‌دهد و موجب تشخیص نقاط آسیب‌پذیر برای ارائهٔ راهکارهای پدافندی خواهد بود [۱۳]. امروزه یکی از جنبه‌های مهم و درخور توجه در برنامه‌ریزی توسعه‌ای، تأکید و توجه به آسیب‌پذیری کشور و از همه مهم‌تر آسیب‌پذیری زیرساخت‌های صنعتی در مقابل بلایای طبیعی و مخاطرات اقلیمی است [۳]، چراکه از کار افتادن زیرساخت‌ها و تأسیسات مهم و حیاتی به بر هم خوردن تعادل سیستم‌های کنترل و عملیات و مراکز مهم تصمیم‌گیری در حیات جوامع انسانی منجر می‌شود [۱۰]. تغییر اقلیم یک پدیدهٔ پیچیده اتمسفری- اقیانوسی در مقیاس جهانی و بلندمدت است که از عواملی چون فعالیت‌های خورشیدی، آتش‌فشانی، اقیانوسی و افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو با اثرهای متقابل تأثیر می‌پذیرد. تغییر اقلیم سبب می‌شود که برخی مناطق مرطوب‌تر و برخی مناطق خشک‌تر شده و شدت و تواتر حوادث حدی مانند سیلاب و خشک‌سالی افزایش یابد [۱۸]. نوسان‌های آب‌وهوایی و تغییرات اقلیمی امروزه از مهم‌ترین مخاطراتی هستند که به‌صورت مزمن حیات بشری را از جنبه‌های مختلفی تحت تأثیر قرار داده‌اند. تغییرات آب‌وهوایی دارای اثرهای جانبی پردامنه‌ای هستند که گاهی این اثرها به‌صورت پس‌خورهای مثبت و منفی ظاهر می‌شود [۷]. عوامل آب‌وهوایی بر عملکرد زیرساخت‌ها و شریان‌های حیاتی تأثیرگذار است. پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر زیرساخت‌ها برای مدیران و تصمیم‌گیرندگان مشکل است، زیرا اثر عوامل آب‌وهوایی در

www.SID.ir

Archive of SID

مکان‌های جغرافیایی مختلف، متفاوت است. آب‌وهوا ممکن است بر بسیاری از جنبه‌های سیستم زیرساخت‌ها به‌ویژه ایمنی، دسترسی و بهره‌وری اقتصادی تأثیرگذار باشد [۲]. افزایش شدت خشک‌سالی، سیلاب، آتش‌سوزی و افزایش دمای ناشی از اثرات تغییر اقلیم می‌تواند به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم سازه‌ها و ابنیهٔ صنعتی مانند ساختمان‌ها و جاده‌ها را تهدید کند [۱۷]. همچنین کاهش سطح آب‌های زیرزمینی به‌دلیل کاهش آب رودخانه‌ها و افزایش تقاضا برای آب ممکن است سبب افزایش نشست زمین و تأثیر بر تأسیسات زیرزمینی و زیرساخت‌های صنعتی شود. تغییر اقلیم نیز می‌تواند بر شبکهٔ حمل‌ونقل و سازه‌های انتقال آب، برق و انرژی اثرهای منفی داشته باشد. در نهایت تغییر اقلیم سبب افزایش هزینه‌های نگهداری و ترمیم خسارات وارد بر مناطق صنعتی خواهد شد [۱۲]. پژوهش‌های علمی خارجی و داخلی متعددی در این زمینه انجام گرفته است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود:

هلستروم با معرفی یک چارچوب برنامه‌ریزی تحلیلی و فرموله کردن و کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌های حیاتی، اذعان می‌کند که تغییرات پدیدآمده به‌واسطهٔ فناوری، به‌عنوان یک نقطهٔ عطف، نقش مهمی را در توسعه زیرساخت‌ها ایفا می‌کند. بنابراین پویایی چنین تغییراتی باید هنگام ارزیابی آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها در طول زمان مدنظر قرار گیرد [۱۸]. براساس دیدگاه لی و همکاران، بیش از دوسوم تهدیدهای معطوف به زیرساخت‌ها و شریان‌های حیاتی است و نقش مهم شریان‌های حیاتی در فرایند مدیریت جامع بحران شهری و ارتباط تنگاتنگ این شبکه‌ها با هم از یک‌سو و ارزش اقتصادی آنها از سوی دیگر سبب می‌شود که توجه ویژه‌ای به آنها داشته باشیم [۲۲]. جوهانسون و هنریک، 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 ازنظر آسیب‌پذیری بررسی و ارزیابی کرده و نقاط آسیب‌پذیر قاره را شناسایی کردند [۱۹]. یودیه و همکاران، در پژوهشی با عنوان یک چارچوب مفهومی برای ارزیابی آسیب‌پذیری تأثیر تغییرات آب‌و هوایی بر زیرساخت‌های بحرانی نفت و گاز در دلتای نیجر، از روند سلسله‌مراتبی (AHP) استفاده کردند و دریافتند که تأثیر تغییرات آب‌وهوایی در دلتا نیجر بسیار شدید است، چراکه حوادث شدید آب‌وهوایی در سطوح مختلف بر زیرساخت‌های بحرانی نفت و گاز تأثیر می‌گذارند. به‌طور معمول، مدیران دارایی‌ها و سازمان‌های دولتی چارچوب مشخصی برای ارزیابی آسیب‌پذیری این سیستم‌ها ندارند. در این تحقیق توصیه می‌شود که از روش‌های دیگر مناسب و رویکردهای سیستماتیک برای آزمودن انعطاف‌پذیری چارچوب استفاده شود [۲۴]. ردر و همکاران، به ارزیابی تغییرات شاخص‌های شدید منجر به خطرهای آب‌وهوایی در زیرساخت‌های حیاتی در اروپا براساس چارچوب INTACT پرداختند. برای شناسایی تغییرات ایجادشده توسط تغییر آب‌وهوا، شاخص‌های مناسب آب‌وهوایی

www.SID.ir

Archive of SID

شدید (EWIS)، به‌عنوان عاملی از ویژگی‌های جوی اصلی تجزیه‌وتحلیل شد. این ویژگی‌ها سبب وقایعی با تأثیر زیاد بر زیرساخت‌ها، برای تعدادی از تحقیقات موردی تعریف‌شده و رویکردهای مختلف برای به‌دست آوردن پیش‌بینی‌های آب‌وهوایی محلی می‌شود [۲۳]. فخرالدین و همکاران، تحقیقی را با هدف ارزیابی حد تاب‌آوری شهری پایتخت تونگا در برابر تأثیر تغییرات آب‌وهوایی و بلایای طبیعی انجام دادند. در این مقاله با معرفی یک ارزیابی یکپارچهٔ فاجعه و کاهش ریسک آب‌وهوا، مخاطرهٔ خطرهای طبیعی در پایتخت تونگ نوکالوفا شناسایی شد و نیز چارچوب‌های سیاستگذاری و نظارتی ارزیابی شد که رویکرد نوکالوفا را برای مدیریت حوادث و تغییرات آب‌وهوا تعریف می‌کند [۱۷]. از جمله پژوهش‌های صورت‌گرفته در ایران می‌توان به کار زهرایی و همکاران اشاره کرد که نشان‌دهندهٔ الگوی متفاوت تأثیر تغییرات اقلیم در قسمت‌های مختلف کشور است. در زمینهٔ نحوهٔ درنظر گرفتن اثرهای تغییر اقلیم و پیش‌بینی‌های انجام‌گرفته دربارهٔ روند آن در طراحی تأسیسات زیربنایی و ارزیابی عملکرد تأسیسات موجود به‌خصوص در بخش توسعهٔ منابع آب، تحقیقات کافی حتی در دانشگاه‌های کشور صورت نگرفته است [۹]. بهرامی و همکاران در پژوهش خود دریافتند که بین تغییرات اقلیمی و سیستم‌های شهری رابطهٔ متقابلی وجود دارد. یکی از راهکارهای اساسی مدیریت و به حداقل رساندن پیامدهای منفی تغییرات اقلیمی، ایدهٔ انطباق است؛ ایده‌ای که قصد دارد با راهکارهایی اجرایی توسط نظام برنامه‌ریزی شهری از طریق طرح‌ریزی، ایجاد سطوح متخلخل و بام‌های سبز، بر انعطاف‌پذیری و پایداری سیستم‌های شهری در مقابل اثرهای تغییر اقلیم بیفزاید [۵]. پژوهش محمدخانی و جمالی به تجزیه‌وتحلیل آسیب‌پذیری ایران در برابر پدیدهٔ تغییرات اقلیمی با استفاده از شاخص آسیب‌پذیری اقلیمی CVI در مقیاس استانی می‌پردازد و هدف آن، کمک به سیاستگذاران برای انتخاب چاره‌ای مناسب در کاهش آثار نامطلوب است. در این راستا ۲۲ زیرشاخص برای نشان دادن سه عنصر اصلی آسیب‌پذیری (در معرض قرار گرفتن، حساسیت و ظرفیت تطبیقی) شناسایی شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که استان‌های همدان و البرز بیشترین آسیب‌پذیری به تغییرات اقلیمی و در نتیجه بیشترین ظرفیت تطبیقی را دارند [۱۵]. جمالی در مقاله‌ای در زمینهٔ آسیب‌شناسی نیروگاه‌های برق‌آبی در مواجهه با تأثیرات تغییر اقلیم در حوضهٔ آبریز کرخه دریافت که قواعد بهره‌برداری مبتنی بر داده‌های مشاهده‌ای حوضه، در افق زمانی کوتاه مناسب‌اند، ولی در افق‌های میانه و دور چندان مناسب نیستند. بنابراین برای افزایش سازگاری، مدیریت تطبیقی، ضروری خواهد بود [۶]. امیدوار و التج در پژوهشی به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر حمل‌ونقل ریلی و روش‌های محاسبهٔ ریسک عواقب آن پرداختند. نتایج این مقاله در شناخت انواع شکست اجزای حمل‌ونقل ریلی در اثر تغییرات اقلیم و انتخاب روش مناسب تحلیل ریسک وقوع حوادث مرتبط به‌منظور کاهش خطرپذیری شبکهٔ ریلی و انتخاب روش‌های مقابله و تطابق کاربرد

www.SID.ir

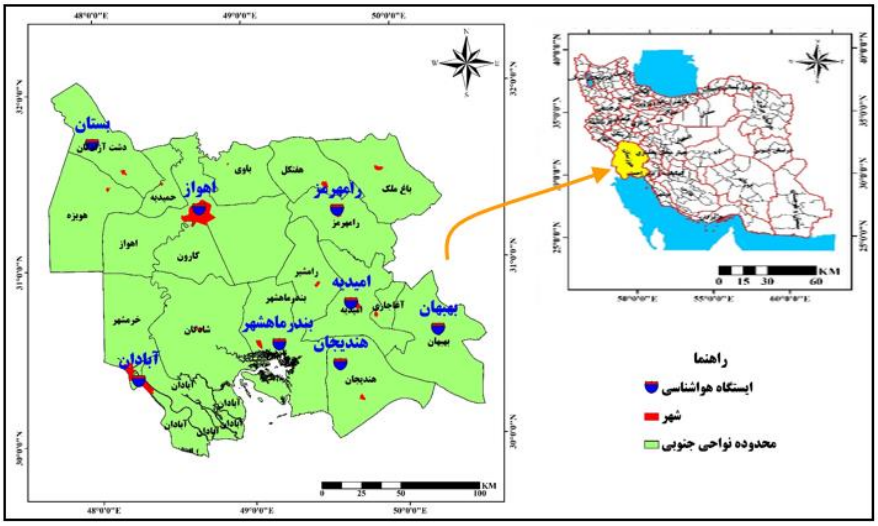
Archive of SID

دارد [۲]. دالایی و همکاران دریافتند که فراوانی شاخص‌های بارش کاهش و روند شدت رخداد آنها در مناطق سواحل خزر، شمال غرب و غرب ایران در دورهٔ تحقیق افزایش داشته است [۸]. یافته‌های پژوهش زرقانی و همکاران نشان می‌دهد که افزایش سطح آب دریاها به‌دلیل تغییرات شدید در اکوسیستم نواحی ساحلی، نفوذ آب شور، ایجاد زمین‌های مرطوب و باتلاقی، طغیان‌ها و توفان‌ها، فرسایش شدید، از بین رفتن سکونتگاه‌ها و زیرساخت‌های شهری، صنعتی و تهدید کشاورزی، شیلات و دیگر منابع معیشتی، به تهدید جدی توسعه، رفاه، امنیت و ثبات جوامع و کشورها منجر می‌شود [۱۱].

هدف این پژوهش، کاستن آسیب‌پذیری زیرساخت‌های حیاتی و حساس و مهم صنعتی نواحی جنوبی استان خوزستان در شرایط بحرانی ناشی از نوسان‌های آب‌وهوایی و تغییر اقلیم است. زیرساخت‌های حیاتی، بخشی از بنیان‌های اصلی مناطق صنعتی به‌شمار می‌آیند که با آسیب آنها بیشتر منطقه تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

موقعیت جغرافیایی منطقهٔ تحقیق

منطقهٔ تحقیق بخشی از دشت خوزستان در جنوب غربی ایران است که در ناحیهٔ بین عرض‌های جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۲ درجهٔ شمالی و طول شرقی ۴۸ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۵۰ درجه واقع شده است [شکل ۱].



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی نواحی جنوبی استان خوزستان و ایستگاه‌های تحت مطالعه

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. موقعیت ایستگاه‌های نیمهٔ جنوبی استان خوزستان

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
رامهرمز	۴۹,۵۹	۳۱,۲۷
امیدیه	۴۹,۶۸	۳۰,۷۴
بهبهان	۵۰,۲۱	۳۰,۶
هندیجان	۴۹,۷	۳۰,۲۴
بندر ماهشهر	۴۹,۱۵	۳۰,۵۴
اهواز	۴۸,۷۴	۳۱,۳۴
بستان	۴۸,۰۱	۳۱,۷
آبادان	۴۸,۲۱	۳۰,۳۷

روش تحقیق

تحقیق حاضر از نظر هدف، کاربردی- توسعه‌ای است. ازنظر روش، این تحقیق از نوع تحقیقات توصیفی- تحلیلی و پیمایشی است. این پژوهش با استفاده از روش‌های آماری، توصیفی و اسنادی به تجزیه‌وتحلیل اثر تغییرات اقلیم و آسیب‌پذیری ناشی از آن بر زیرساخت‌های صنعتی و عمرانی و نواحی جنوبی استان خوزستان می‌پردازد. به این منظور ابتدا ایستگاه‌ها براساس دورهٔ آماری مرتب شده و سپس ایستگاه‌های دارای دورهٔ آماری مشترک انتخاب شدند. در مجموع ۸ ایستگاه انتخاب شد که موقعیت ایستگاه‌ها در شکل ۱ و جدول ۱ مشاهده می‌شود. عناصر اقلیمی بررسی‌شده در این دوره عبارت‌اند از: 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 ۹۵ام. با استفاده از دو آزمون تحلیل روند یعنی آزمون تحلیل روند تخمینگر شیب سنس و آزمون تحلیل روند من-کندال روند سری زمانی ۲۹ ساله این عناصر در طی دورهٔ آماری پایه (۱۹۸۹-۲۰۱۷)، بررسی شد. تغییرات سطح آب زیرزمینی منطقه نیز با استفاده از داده‌های تخلیهٔ آب زیرزمینی منطقهٔ شرکت آب منطقه‌ای خوزستان بررسی شد. دورهٔ تغییر اقلیم تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 گزارش پنجم CMIP5، با استفاده از مدل (The Hadley Centre Global Environmental Model version 2) HadGEM2-ES استخراج شد. در نهایت سه عنصر اقلیمی، دمای کمینه و بیشینه، بارش تحت دو خط سیر انتشار مذکور برای منطقه شبیه‌سازی شده و تغییرات اقلیمی سال ۲۰۷۰ نسبت به دورهٔ پایه بررسی شد. با استفاده از الگوریتم AHP ماتریس مقایسهٔ زوجی مخاطرات اقلیمی خسارت زا تشکیل شد و وزن هر کدام از عوامل اقلیمی در شدت خسارت‌زایی در جنوب خوزستان با استفاده از نرم‌افزارAHP Calculator online مشخص شد. بعد از مشخص شدن وزن هر یک از فاکتورها، در

www.SID.ir

Archive of SID

نرم‌افزار ArcGIS این وزن‌ها روی لایه‌های هر کدام از فاکتورهای اقلیمی اجرا شده و چهار پهنهٔ خسارت‌زایی اقلیمی مشخص و مساحت این پهنه‌ها و نوع مخاطرات آنها مشخص شد. در نهایت زیرساخت‌هایی که در هر پهنه تحت تأثیر مخاطرات اقلیمی قرار می‌گیرد تحلیل شد.

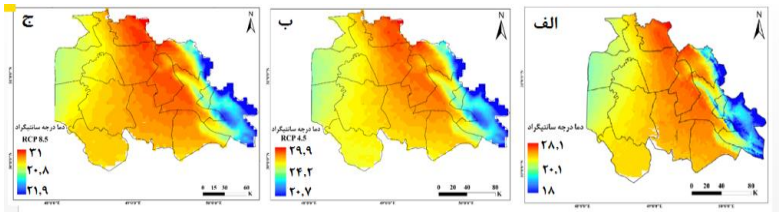
نتایج تحقیق

بررسی ویژگی‌های اقلیمی دورهٔ تغییر اقلیم

در این بخش ویژگی‌های دما و بارش سال ۲۰۷۰ تحت دو سناریوی RCp4.5 و RCP8.5 ارائه شده است. این داده‌ها براساس مدل گردش عمومی جو GCM با استفاده از مدل (The Hadley Centre Global Environmental Model version 2 (HadGEM2-ES استخراج شد که رزولوشن فضایی آنها برای منطقهٔ تحت مطالعه بزرگ بوده است. از این‌رو با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی آماری LARS_WG6 برای موقعیت منطقهٔ تحت مطالعه یعنی جنوب استان خوزستان ریزمقیاس نمایی شده‌اند.

میانگین سالانهٔ دما

میانگین سالانهٔ دمای سال ۲۰۷۰ براساس شبیه‌سازی مدل گردش عمومی GCM توسط خروجی ریزمقیاس آماری LARS_WG6 برای موقعیت منطقهٔ تحقیق یعنی جنوب استان خوزستان تولید شده است. در سناریوی RCP4.5 الگوی توزیع فضایی دمای میانگین سالانه نسبت به دورهٔ پایه (۱۹۸۹ تا ۲۰۱۷) تغییر نکرده (۲ب)، به‌طوری که در این سال نواحی مرکزی منطقهٔ تحت مطالعه گرم‌تر از اطراف بوده است؛ اما میانگین دمای منطقه در این سناریو بین ۲۰ تا ۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد بوده است، درحالی که در دورهٔ کنونی (۲الف)، میانگین دما بین ۱۸ تا ۲۸/۲ درجهٔ سانتی‌گراد بوده است. همچنین این وضعیت در سناریوی بدبینانه RCP8.5 در دورهٔ ۲۰۷۰ بین ۲۲ تا ۳۱ درجهٔ سانتی‌گراد است (۲ج).



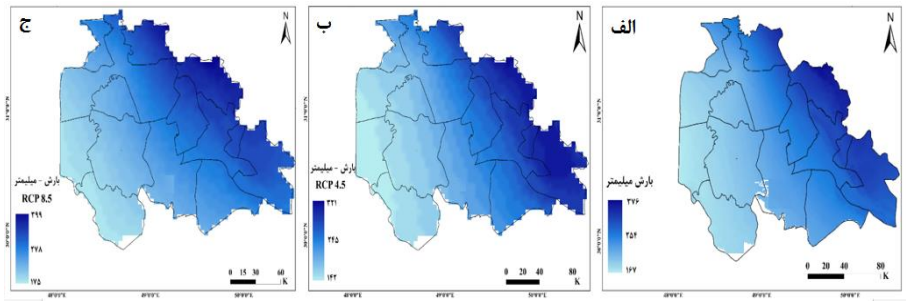
شکل ۲. الف) توزیع فضایی میانگین دمای منطقهٔ تحقیق در دورهٔ کنونی؛ ب) توزیع فضایی میانگین دمای سال ۲۰۷۰ تحت سناریوی RCP4.5؛ ج) توزیع فضایی میانگین دمای سال ۲۰۷۰ تحت سناریوی RCP8.5.

www.SID.ir

Archive of SID

مجموع سالانهٔ بارش

مجموع سالانهٔ بارش سال ۲۰۷۰ براساس شبیه‌سازی مدل گردش عمومی GCM توسط خروجی ریزمقیاس آماری LARS_WG6 برای موقعیت منطقهٔ تحقیق یعنی جنوب استان خوزستان تولید شده است.



شکل ۳. الف) توزیع فضایی میانگین بارش منطقه مطالعاتی دوره کنونی؛ ب) توزیع فضایی میانگین بارش سال ۲۰۷۰ تحت سناریوی RCP4.5؛ ج) توزیع فضایی میانگین بارش سال ۲۰۷۰ تحت سناریوی RCP8.5.

(۳ ب) سناریوی RCP4.5 الگوی توزیع فضایی مجموع بارش سالانه نسبت به دورهٔ پایه (۱۹۸۵ تا ۲۰۱۷) تغییر نکرده است، به‌طوری که در این سال نیز از غرب به شرق منطقهٔ تحقیق بر مقدار بارش دریافتی افزوده می‌شود، اما مجموع بارش منطقه بین ۱۴۲ تا ۳۲۱ میلی‌متر بوده است؛ درحالی که در دورهٔ پایه مجموع بارش بین ۱۶۷ تا ۳۷۶ میلی‌متر بوده است (۳الف). در سناریوی RCP8.5 نیز الگوی توزیع فضایی مجموع بارش سالانه بین ۱۷۵ تا ۳۹۹ میلی‌متر بوده است که روند کاهشی در مناطق دشت و روند افزایشی در مناطق کوهستانی دارد (۳ج).

تحلیل آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها

در این بخش لایهٔ شدت آسیب‌پذیری در پهنهٔ بخش‌های جنوبی استان خوزستان تشکیل می‌شود. در مرحلهٔ اول با به‌کارگیری فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) ماتریس مقایسهٔ زوجی تشکیل می‌شود. در این ماتریس مقایسهٔ زوجی که برپایهٔ ۱۹ پرسشنامه توسط کارشناسان مدیریت بحران استان تکمیل شده است، اولویت خسارت‌زایی هر کدام از فاکتورهای اقلیمی مشخص می‌شود در نهایت با استفاده از نرم‌افزار OnlineAHP Calculator وزن‌های اختصاصی هر کدام از فاکتورهای اقلیمی مشخص شده و بردار وزن‌دهی نهایی تشکیل می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

تشکیل ماتریس مقایسهٔ زوجی

وزن‌گذاری یا اهمیت‌دهی هر کدام از لایه‌های اطلاعاتی اقلیم‌شناختی و محیطی ابتدا با تشکیل ماتریس مقایسهٔ زوجی آغاز می‌شود. در جدول ۲ ماتریس خام مقایسهٔ زوجی ارائه شده است که در واقع دربرگیرندهٔ حد اهمیت هر فاکتور نسبت به دیگر فاکتورهای تحت بررسی است. همان‌طور که در این ماتریس مقایسهٔ زوجی مشاهده می‌شود، قطر اصلی ماتریس که در واقع حد اهمیت هر فاکتور را نسبت به خودش نشان می‌دهد، برابر ۱ است که به‌معنای حد اهمیت یکسان یا برابر است. ارقام بیشتر از ۱ گویای اهمیت بیشتر فاکتور یا عامل موجود در سطر در مقایسه با عامل یا فاکتور موجود در ستون است برای مثال، حد اهمیت یا ترجیح عامل بارش در شدت خسارت‌زایی برای زیرساخت‌های منطقه، دوبرابر عامل دمای فصل گرم بوده است، درحالی که همین عامل نصف عامل گردوغبار اهمیت داشته است.

جدول ۲. ماتریس مقایسهٔ زوجی برای استخراج وزن‌های نهایی براساس الگوریتم AHP

ماتریس دوتوئی	بارش	دمای فصل گرم	گردوغبار	سیلاب	تغییرات بارش	تغییرات دما	جابه‌جایی خط ساحلی (پیشروی آب دریا)	دمای فصل سرد	میانگین دمای سالانه	تغییرات آب زیرزمینی (تخلیهٔ منابع آب زیرزمینی)	امواج گرم	کدهای اختصاصی هر لایه
بارش	۱	۲	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۲	۰/۵	۲	۲	۰/۵	۰/۵	۱
دمای فصل گرم		۱	۰/۵	۰/۳	۰/۵	۱	۰/۵	۱	۱	۰/۵	۰/۳	۲
گردوغبار			۱	۰/۵	۲	۲	۳	۴	۴	۱	۰/۵	۳
سیلاب				۱	۲	۳	۲	۵	۳	۲	۲	۴
تغییرات بارش					۱	۲	۰/۵	۳	۲	۱	۰/۵	۵
تغییرات دما						۱	۰/۵	۲	۲	۰/۵	۰/۵	۶
جابه‌جایی خط ساحلی (پیش روی آب دریا)							۱	۳	۰/۳	۰/۵	۰/۵	۷
دمای فصل سرد								۱	۰/۵	۰/۵	۰/۲	۸
میانگین دمای سالانه									۱	۰/۵	۰/۵	۹
تغییرات آب زیرزمینی (تخلیهٔ منابع آب زیرزمینی)										۱	۰/۵	۱۰
امواج گرم											۱	۱۱

www.SID.ir

Archive of SID

با وارد کردن ماتریس مقایسهٔ زوجی خام در نرم‌افزار AHP Calculator Online، وزن‌های نهایی هر کدام از فاکتورها در تولید نقشهٔ نهایی عرصه‌های در معرض آسیب‌پذیری مخاطرات اقلیمی از قبیل گردوغبار، سیلاب، امواج گرم، جابه‌جایی خط ساحلی یا پیشروی آب دریا، تغییر اقلیم، شناسایی نواحی مستعد تبدیل شدن به کانون محلی گردوغبار در استان خوزستان محاسبه شد. در جدول ۳ وزن‌های نهایی هر کدام از فاکتورها ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، براساس ماتریس مقایسهٔ زوجی به‌دست‌آمده، سیلاب، گردوغبار و سپس امواج گرم به‌ترتیب با وزن نهایی ۰/۱۷، ۰/۱۶ و ۰/۱۵ بیشترین تأثیر را در شدت خسارت‌زایی اقلیمی برای زیرساخت‌های مختلف منطقه داشته‌اند، درحالی که دمای فصل سرد، تغییرات دما و میانگین دمای سالانه از کم‌اهمیت‌ترین فاکتورها در ایجاد خسارات اقلیمی برای زیرساخت‌های منطقه بوده‌اند.

جدول ۳. ماتریس وزن‌های نهایی هر کدام از لایه‌های محیطی و اقلیم‌شناختی دخیل در تشکیل و توسعهٔ کانون‌های محلی گردوغبار در استان خوزستان

علائم	نام	وزن روش AHP
P	بارش	۰/۰۸
TW	دمای فصل گرم	۰/۰۶
D	گردوغبار	۰/۱۶
F	سیلاب	۰/۱۷
Pv	تغییرات بارش	۰/۰۷
Tv	تغییرات دما	۰/۰۳
Sv	جابه‌جایی خط ساحلی (پیشروی آب دریا)	۰/۱۱
TC	دمای فصل سرد	۰/۰۲
Tave	میانگین دمای سالانه	۰/۰۵
WTv	تغییرات آب زیرزمینی (تخلیهٔ منابع آب زیرزمینی)	۰/۱۰
HW	امواج گرم	۰/۱۵

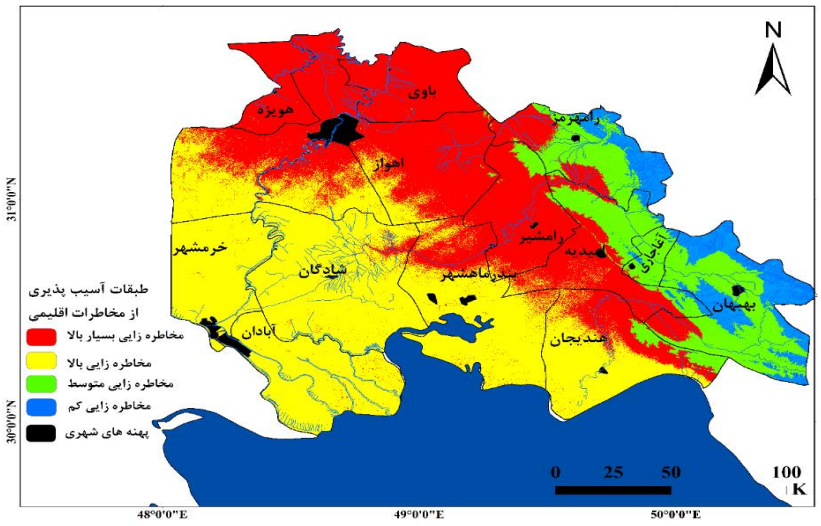
تابع تلفیق وزن‌دار عوامل اقلیمی دخیل در مخاطرات آسیب‌زا برای زیرساخت‌های مختلف جنوب استان خوزستان به‌صورت رابطهٔ ۱ بیان می‌شود:

$$IFV = (0.08 \times P) + (0.06 \times TW) + (0.16 \times D) + (0.17 \times F) + (0.07 \times Pv) + (0.03 \times Tv) + (0.11 \times Sv) + (0.02 \times TC) + (0.05 \times Tave) + (0.10 \times WTv) + (0.15 \times HW) \quad (۱)$$

www.SID.ir

Archive of SID

تابع برهم‌نهی وزن‌دار شناسایی پهنه‌های در معرض آسیب‌دیدگی مخاطرات اقلیمی IFV عبارت است از شدت آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها از مخاطرات اقلیمی و مؤلفه‌های دیگر در بردار وزن نهایی معرفی شده‌اند. این ترکیب خطی چندمتغیره که شامل یازده مؤلفهٔ اقلیمی مخاطره زاست، می‌تواند عرصه‌های مختلف منطقهٔ تحت مطالعه را از لحاظ شدت خسارت‌زایی عوامل اقلیمی مشخص کند. با اجرای این تابع یازده‌متغیرهٔ وزن‌دار در ابزار RASTER Calculator نرم‌افزار ArcGIS نقشهٔ طبقات مخاطرهٔ اقلیمی که قابلیت خسارت‌زایی برای زیرساخت‌های مختلف استان خوزستان را دارند مشخص شد. نقشهٔ تولیدشده حاصل اجرای تابع یادشده به‌صورت شکل ۴ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در این نقشه چهار طبقهٔ مخاطره‌آمیز اقلیمی آشکار شده است. پهنهٔ باقابلیت مخاطره‌زایی بسیار شدید که در بخش‌های شمالی و مرکزی منطقهٔ تحت مطالعه دیده می‌شود، شهرستان‌های اهواز، هویزه، باوی، رامشیر، حمیدیه، بخش‌های شمالی بندر ماهشهر و هندیجان و نیز شهرستان امیدیه را در بر گرفته است.



شکل ۴. نقشهٔ طبقات مخاطرهٔ اقلیمی استان خوزستان

طبقهٔ با خسارت‌زایی اقلیمی کم منطبق بر غربی‌ترین بخش از منطقهٔ تحقیق است. این ناحیه منطبق بر ناهمواری‌ها و ارتفاعات منطقه در شهرستان‌های بهبهان، رامهرمز و آغاجاری است. تنش‌های حرارتی ناشی از موج گرم و شرجی در این منطقه کم‌رنگ‌تر است، اما گردوغبار و بارش‌های رگباری منجر به سیل در این پهنه از مخاطرات اقلیمی مهم به شمار می‌رود. این

www.SID.ir

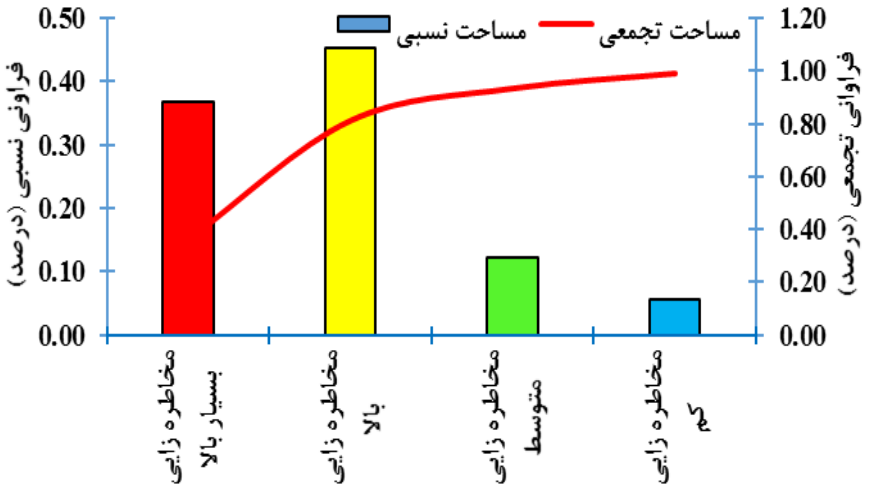
Archive of SID

منطقه مساحتی برابر ۶ درصد از کل منطقهٔ تحقیق برابر ۱۸۰۶ کیلومتر مربع را در بر گرفته است [جدول ۴].

در نهایت طبقهٔ با خسارت‌زایی متوسط همان‌طور که در شکل ۵ دیده می‌شود، در بخش‌های شمال غرب منطقهٔ تحقیق دیده می‌شود. این طبقهٔ خسارت‌زایی اقلیمی، مساحتی در حدود ۳۸۷۷ کیلومتر مربع برابر با ۰/۱۲ از مساحت کل منطقهٔ تحت مطالعه را به خود اختصاص داده است.

جدول ۴. مساحت طبقات خسارت‌زایی

طبقات مخاطره‌آمیز	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت نسبی (درصد)	مساحت تجمعی (درصد)
مخاطره‌زایی بسیار شدید	۱۱۶۶۰/۱۳	۰/۳۷	۰/۳۶
مخاطره‌زایی شدید	۱۴۳۷۷/۲۵	۰/۴۵	۰/۸۱
مخاطره‌زایی متوسط	۳۸۷۷/۰۴	۰/۱۲	۰/۹۴
مخاطره‌زایی کم	۱۸۰۶/۴۱	۰/۰۶	۰/۹۹



شکل ۵. مساحت طبقات خسارت‌زایی

www.SID.ir

Archive of SID

بحث و نتیجه‌گیری

سامانه‌های اقلیمی از عناصر طبیعی‌اند که همهٔ ابعاد زندگی حیات جانداران را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند. زیست و حیات عناصر زنده نیز از شرایط اقلیمی متأثر می‌شود. عناصر جامد و ساختهٔ دست بشر نیز از عناصر اقلیمی متأثر می‌شود. دما، بارش، رطوبت، باد، آفتاب و فشار از عناصری هستند که می‌توانند سازه‌ها، ماشین‌آلات، تأسیسات، ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها را تحت تأثیر قرار دهند و بر عملکرد و بازدهی آنها تأثیر بگذارند. به همین دلیل هر سازه‌ای را برای کار و فعالیت در شرایط اقلیمی خاصی می‌سازند تا بهترین کارایی و بازدهی را داشته باشد. تغییر رفتار، میزان یا شدت هر کدام از عناصر اقلیمی، بر بازدهی و عملکرد این سازه‌ها تأثیر می گذارد یا آنها را در معرض خطر قرار می‌دهد. هدف این تحقیق آشکارسازی اثر تغییر اقلیم بر زیرساخت‌های بخش جنوبی استان خوزستان بود. در بررسی شدت آسیب‌پذیری زیرساخت‌های نواحی جنوبی استان خوزستان در شرایط تغییر اقلیم، لایهٔ شدت آسیب‌پذیری در پهنهٔ بخش‌های جنوبی استان خوزستان تشکیل شد. در مرحلهٔ اول با به‌کارگیری فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی ((AHP) وزن‌های اختصاصی هر کدام از فاکتورهای اقلیمی مشخص شده و بردار وزن‌دهی نهایی تشکیل شد. هر کدام از فاکتورها در تولید نقشهٔ نهایی عرصه‌های در معرض آسیب‌پذیری مخاطرات اقلیمی از قبیل گردوغبار، سیلاب، امواج گرم، جابه‌جایی خط ساحلی یا پیشروی آب دریا، تغییر اقلیم، شناسایی نواحی مستعد تبدیل به کانون محلی گردوغبار در استان خوزستان، محاسبه شد. براساس ماتریس مقایسهٔ زوجی به‌دست‌آمده، سیلاب، گردوغبار و سپس امواج گرم به‌ترتیب با وزن نهایی ۰/۱۷، ۰/۱۶ و ۰/۱۵ بیشترین تأثیر را در شدت خسارت‌زایی اقلیمی برای زیرساخت‌های مختلف منطقه داشته‌اند. همچنان که ملاحظه شد در یک دههٔ اخیر پدیدهٔ ریزگردها و امواج گرم اثرهای مخربی بر شبکهٔ انتقال و توزیع برق حمل‌ونقل و آتش‌سوزی‌های صنایع و پالایشگاه‌های استان داشته است. مطالعات جمالی و همکاران دربارهٔ پدیده امواج گرمایی استان خوزستان و رحم‌خدا و همکاران دربارهٔ پدیده ریزگردهای استان خوزستان در سه دههٔ اخیر مؤید افزایش تعداد و شدت امواج گرم و تعداد روزهای همراه با پدیدهٔ ریزگرد در استان خوزستان است. درحالی که دمای فصل سرد، تغییرات دما و میانگین دمای سالانه از کم‌اهمیت‌ترین فاکتورها در ایجاد خسارات اقلیمی برای زیرساخت‌های منطقه بوده‌اند. در نقشهٔ خروجی در ابزار RASTER Calculator نرم‌افزارArcGIS چهار طبقهٔ مخاطره‌آمیز اقلیمی آشکار شده است. پهنهٔ با قابلیت مخاطره‌زایی بسیار زیاد که در بخش‌های شمالی و مرکزی منطقهٔ تحقیق دیده می‌شود، شهرستان‌های اهواز،

www.SID.ir

Archive of SID

هویزه، باوی، رامشیر، حمیدیه، بخش‌های شمالی بندر ماهشهر و هندیجان و نیز شهرستان امیدیه را در برگرفته است. طبقهٔ با مخاطره‌زایی اقلیمی زیاد بخش وسیعی از شهرستان‌های خرمشهر، نواحی جنوبی شهرستان اهواز، نواحی جنوبی بندر ماهشهر، شادگان، هندیجان و آبادان را در بر می‌گیرد. این طبقهٔ مخاطره‌زایی اقلیمی بعد از طبقهٔ مخاطره‌زایی بسیار زیاد، می‌تواند بیشترین خسارات را به زیرساخت‌های منطقهٔ تحقیق وارد کند. در عرصهٔ مخاطره‌زایی اقلیمی بسیار شدید، تأسیسات زیرساختی از قبیل راه‌های ارتباطی، پالایشگاه‌های استخراج نفت، شهرها و روستاها، خطوط انتقال نیرو و خطوط انتقال آب در معرض مخاطرات متعدد اقلیمی قرار می‌گیرند. تنش حرارتی ناشی از دماهای زیاد و امواج گرم در این بخش از منطقهٔ تحت مطالعه بیشتر از دیگر بخش‌های منطقه است. در این منطقه تأثیر امواج گرم به‌ویژه در طی دورهٔ ژوئن تا آگوست (خرداد تا اواخر مرداد) در مخاطره‌زایی اقلیمی بسیار زیاد است. دماهای بسیار زیاد به‌ویژه رکوردهای دمایی بیش از ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد، آتش‌سوزی‌های گسترده‌ای در عرصه‌های مرتعی و اراضی زراعی دیم ایجاد می‌کند. در پهنه‌های پالایشگاهی مخاطرهٔ آتش‌سوزی در پالایشگاه‌ها به‌دلیل تنش‌های حدی دما که سبب اشتعال گازهای فرار پالایشگاهی می‌شود، همهٔ زیرساخت‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

منابع

[۱]. اسکندری، محمد؛ امیدوار، بابک؛ توکلی ثانی، محمدصادق (۱۳۹۳). «تحلیل خسارت شریان‌های حیاتی با در نظر گرفتن اثرات وابستگی در اثر حملات هدفمند»، *دوفصلنامهٔ مدیریت بحران*، شمارهٔ ویژه‌نامهٔ هفتهٔ پدافند غیرعامل، ص ۳۰-۱۹.

[۲]. امیدوار، بابک؛ و التج، سهیلا (۱۳۹۴). «اثرات تغییر اقلیم بر حمل‌ونقل ریلی و روش‌های محاسبهٔ ریسک عواقب آن»، پنجمین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، تهران، سازمان هواشناسی.

[۳]. امینی ورکی، سعید؛ مدیری، مهدی؛ شمسایی زفرقندی، فتح‌الله؛ و قنبری‌نسب، علی (۱۳۹۳). «شناسایی دیدگاه‌های حاکم بر آسیب‌پذیری شهرها در برابر مخاطرات محیطی و استخراج مؤلفه‌های تأثیرگذار در آن با استفاده از روش کیو»، *دوفصلنامهٔ مدیریت بحران*، شمارهٔ ویژه‌نامهٔ هفتهٔ پدافند غیرعامل، ص ۵-۱۸.

www.SID.ir

Archive of SID

[۴]. برون، اشرف؛ ظهوریان پردل، منیژه؛ لشکری، حسن؛ شکیبا، علیرضا؛ و محمدی، زینب (۱۳۹۸). تحلیل همدیدی نقش پرفشار عربستان در امواج گرم تابستانه استان خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی اهواز، رسالهٔ دکتری.

[۵]. بهرامی، یوسف؛ مرصوصی، نفیسه؛ قادری مطلق، ایرج؛ و احمدی، کریم (۱۳۹۳). «تأثیر اقلیم بر پایداری سیستم‌های شهری»، کنفرانس بین‌المللی توسعهٔ پایدار، راهکارها و چالش‌ها با محوریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری، تبریز، دبیرخانهٔ دائمی کنفرانس بین‌المللی توسعهٔ پایدار، راهکارها و چالش‌ها.

[۶]. جمالی، سعید (۱۳۹۳). «آسیب‌شناسی نیروگاه‌های برقابی در مواجهه با اثرات تغییر اقلیم؛ مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبریز کرخه»، *فصلنامهٔ سد و نیروگاه برقابی ایران*.

[۷]. جمالی‌زاده، ناهید؛ ظهوریان پردل، منیژه؛ لشکری، حسن؛ شکیبا، علیرضا؛ و محمدی، زینب (۱۳۹۸). «تحلیل همدیدی و ساختار دینامیکی الگوهای تابستانه استان خوزستان»، *فصلنامهٔ جغرافیای طبیعی*، سال دوازدهم، ش ۴۴.

[۸]. دالایی، حمیده؛ فرجزاده، منوچهر؛ گندم‌کار، امید؛ و نامی، محمدحسن (۱۳۹۵). «تحلیل آسیب‌پذیری ایران از شاخص‌های حدی بارشی در دورهٔ ۲۰۱۰-۱۹۸۱»، سومین کنفرانس ملی مدیریت بحران وHSE در شریان‌های حیاتی، صنایع و مدیریت شهری، تهران، دبیرخانهٔ دائمی کنفرانس.

[۹]. دهقانی، طیبه؛ سلیقه، محمد؛ و علیجانی، بهلول (۱۳۹۷). «تأثیر تغییر اقلیم بر پراکنش رطوبت ویژه در سواحل شمالی خلیج فارس»، *فصلنامهٔ جغرافیای طبیعی*، سال یازدهم، ش ۹۳.

[۱۰]. رحم‌خدا، میثم (۱۳۹۸). تحلیل آماری- همدیدی نقش بیابان‌های جنوبی عراق در ریزگردهای استان خوزستان، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.

[۱۱]. زرقانی، سیدهادی؛ مفیدی، عباس؛ و شفیعی‌نیا، مهدی (۱۳۹۷). «تحلیل تغییر اقلیم و پیامدهای آن؛ مطالعهٔ موردی: افزایش سطح آب دریا»، دومین کنفرانس ملی آب‌و هواشناسی ایران، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد.

[۱۲]. زهرایی، بنفشه؛ روزبهانی، عباس؛ و توتچی، اردلان (۱۳۸۸). «سازگاری با تغییر اقلیم: یک ضرورت در توسعهٔ برنامهٔ آموزش مهندسی زیرساخت‌ها در بخش توسعهٔ منابع آب»، اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌ها، تهران: دانشگاه تهران.

[۱۳]. صارمی، حمیدرضا؛ و حسینی امینی، حسن (۱۳۹۰). «حفاظت از تأسیسات و تجهیزات شهری با استفادهٔ بهینه از محیط طبیعی درون شهری با رویکرد پدافند غیرعامل (نمونهٔ موردی شهر بروجرد)»، *فصلنامهٔ مطالعات مدیریت شهری*، ش ۶، ص ۶۷-۵۲.

www.SID.ir

Archive of SID

[۱۴]. عبداله‌خانی، علی (۱۳۸۶). تهدیدات امنیت ملی (شناخت و روش)، تهران: مؤسسهٔ فرهنگی مطالعات و تحقیقات بین‌المللی ابرار معاصر تهران.

[۱۵]. محمدخانی، مهسا؛ و جمالی، سعید (۱۳۹۳). «ارزیابی آسیب‌پذیری به تغییرات اقلیمی: کاربرد شاخص آسیب‌پذیری اقلیمی در ایران، ششمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران»، مشهد: دبیرخانهٔ دائمی کنفرانس بین المللی مدیریت جامع بحران.

[۱۶]. مساح بوانی، علیرضا؛ ابوالقاسمی، شیرین؛ ارواحی، علی؛ و رییس‌دانا، پونه (۱۳۹۵). «برنامهٔ اقدام سازگاری با اثرات تغییر اقلیم در زاگرس مرکزی»، اولین همایش ملی منابع طبیعی و توسعهٔ پایدار در زاگرس مرکزی، شهرکرد: دانشگاه شهرکرد.

[17]. Fakhruddin, B. S.; Reinen-Hamill, R.; & Robertson, R. (2019). "Extent and evaluation of vulnerability for disaster risk reduction of urban Nuku'alofa, Tonga", *Progress in Disaster Science*, 2, 100017. https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2019.100017.

[18]. Hellström, T. (2007)**.** "Critical infrastracture and systemic vulnerability: Towards a planning framework", *Juornal of Safety Science*, 45(3), pp: 415-430. (doi:10.1016/j. ssci.2006.07. 007).

[19]. Johansson, Jonas; & Hassel, Henrik (2010)**.** "An approach for modelling interdependent infrastructures in the context of vulnerability analysis", *Reliability Engineering & System Safety*, 95(12), pp: 1335-1344.

[20]. Johansson, Jonas; Hassel, Henrik; & Zio, Enrico (2013)**.** "Reliability and vulnerability analyses of critical infrastructures: Comparing two approaches in the context of power systems", *Reliability Engineering & System Safety*, 120, pp: 27-38.

[21]. IPCC, (2014)**.** Climate Change: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R. K. Pachauri and L. A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, p: 151.

[22]. Lee, E.E.; Mitchell, J.E.; & Wallace, W.A. (2007)**.** "Restoration of Services in Interdependent Infrastructure Systems: A Network Flow Approach", in *IEEE Transaction on Systems Magazine*, 37, pp: 1303-1318.

[23]. Reder, A.; Iturbide, M.; Herrera, S.; Rianna, G.; Mercogliano, P.; & Gutiérrez, J.M. (2018)**.** "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.

[24]. Udie, Justin; Bhattacharyya, Subhes; & Ozawa-Meida, Leticia (2018). "A Conceptual Framework for Vulnerability Assessment of Climate Change Impact on Critical Oil and Gas Infrastructure in the Niger Delta", *Climate* 2018, 6, 11; doi:10.3390/cli6010011. www.mdpi. com/journal/climate.

www.SID.ir