

Trend assessment of factors affecting Hendijan dust storms using driving forces-pressure-state-impact-response framework

Mohammad Jafar Soltani¹, Baharak Motamedvaziri^{2*}, Ali Akbar Norouzi³, Hassan Ahmadi⁴,
Jamal Mosaffaei⁵

¹PhD Student, Department of Forest, Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

²Associate Professor, Department of Forest, Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

³Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iran

⁴Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, University of Tehran, Karaj, Iran

⁵Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iran

Received: 16 March 2022

Accepted: 25 April 2022

Extended abstract

Introduction

Dust event is one of the natural events that occur widely in the world, especially in dry areas. One of the main and effective factors in the occurrence of this phenomenon is the geographical location and climatic conditions of the regions affected by this phenomenon. The purpose of this research is to analyze the cause-and-effect relationships of dust events in Hendijan region with the approach of the Driver-Pressure-Situation-Effect-Response (DPSIR) framework.

Materials and methods

The DPSIR process is an analysis based on the "cause-disability" relationship of factors for policy-making and management planning. The DPSIR framework is a systems thinking framework that assumes cause-and-effect relationships between environmental and socio-economic systems. This conceptual framework uses a cycle of causes and results for the proper integration of basic economic, social and environmental data and information, specifies the relationship between environmental processes and human factors, and also leads to an understanding of the relationship between policy levels and environmental studies. The trend of each component of DPSIR was also evaluated by applying quantitative criteria for the time period of 2007-2019.

Results and discussion

The results of the research showed that the total index of all DPSIR components has an upward trend for the studied period. The slope of the trend related to D, P, S, I and R components was equal to 0.06, 0.03, 0.02, 0.05 and 0.02, respectively. Although some responses were made to reduce the influence of others. The components of DPSIR have been adopted to improve the dust situation, but the research results and the process of changes showed that they were not sufficient and integrated. In this research, a variety of answers related to the components of the driving force, pressure, situation, and effects were identified. The results showed that dust concentration and dusty days in the region increased during the study period and more attention was paid to reactive responses and less focus on preventive responses. Also, paying attention to the response of increasing the efficiency of irrigation due to the high correlation between the state of dust concentration and pressure factors such as the amount of rainfall, soil moisture, and exploitation of water resources in the research area, special attention to the development of water extraction systems as one of the most important responses. Management issues due to the existence of negative and high correlation with the dust situation during the years of research, adequate and sustainable supply of water resources by reducing and minimizing the diversion dams downstream of the Kowsar and Ask dams due to the increase

* Corresponding author: bmvaziri@gmail.com

in dust concentration with the increase of flood diversion operations and construction Reservoir and diversion dams since 2009, Considering the water rights of wetlands in the region with the aim of preventing wetlands from drying up and creating a dust center, especially in the west of Hendijan city, and carefully choosing the appropriate plant species, as well as carrying out desertification operations (planting saplings, mulching, building windbreaks). With the ecological conditions of the region, due to the negative correlation between the desertification operation and the reduction of dust concentration since 2014, it can help to improve the dust situation in the research area.

Conclusion

In this regard, it is recommended to respond to driving forces (D) and pressures (P) so that while improving the conditions and adverse effects caused by it, the drivers and pressures that create the current situation can also be controlled. Based on this, the incomplete implementation of the answers is another reason for not achieving management goals and making the situation and the number of dusty days more unfavorable. It is also suggested to implement the integrated watershed management program in Hendijan city through the development of a joint water, agriculture, and natural resources program upstream of the watershed in order to clarify the effective measures of the water production, distribution, and consumption chain in the upstream lands.

Keywords: Cause and effect analysis, DPSIR framework, Hierarchical analysis process, Integrated watershed management, Trend change

Cite this article: Soltani, M.J., Motamedvaziri, B., Norouzi, A.A., Ahmadi, H., Mosaffaei, J., 2023. Trend assessment of factors affecting Hendijan dust storms using driving forces-pressure-state-impact-response framework. *Watershed Engineering and Management* 15 (2), 297–313.

© 2023, The Author(s). Published by Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



تحلیل روند عوامل موثر بر گرد و غبار هندیجان با رویکرد چارچوب پیشران - فشار-وضعیت-اثر-پاسخ

محمدجعفر سلطانی^۱، بهارک معتمد وزیری^{۲*}، علی اکبر نوروزی^۳، حسن احمدی^۴ و جمال مصفايي^۵

^۱ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

^۲ دانشیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

^۳ استاد، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

^۴ استاد، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۵ دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۵

چکیده مبسوط

مقدمه

پدیده گرد و غبار، از حوادث طبیعی است که به صورت وسیعی در سطح جهان به خصوص در مناطق خشک رخ می دهد. از عوامل اصلی و موثر در رخداد این پدیده، موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی مناطق تحت تاثیر آن است. هدف این پژوهش، تحلیل روابط علت و معلولی رویدادهای گرد و غبار در منطقه هندیجان با رویکرد چارچوب پیشران-فشار-وضعیت-اثر-پاسخ (DPSIR) است.

مواد و روش ها

فرایند DPSIR، تحلیلی مبتنی بر رابطه علت-معلولی عوامل، برای سیاست گذاری و برنامه ریزی مدیریتی است. چارچوب DPSIR یک چارچوب تفکر سیستمی است که فرض می کند، رابطه های علت و معلولی بین سیستم های محیطی و اقتصادی-اجتماعی وجود دارد. این چارچوب مفهومی، چرخه های از دلایل و نتایج را برای تلفیق مناسب داده ها و اطلاعات پایه اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی به کار می گیرد و ارتباط فرایندهای محیط زیست را با عوامل انسانی مشخص ساخته و همچنین، منجر به درک ارتباط سطوح سیاست گذاری و مطالعات محیط زیست می شود. در این پژوهش، روند هر مولفه DPSIR نیز با اعمال معیارهای کمی برای دوره زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۷ مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تحقیق نشان داد که شاخص کل همه مؤلفه های DPSIR، برای دوره مورد مطالعه روند صعودی دارند. شیب روند مربوط به مولفه های D، P، S، I و R به ترتیب برابر با ۰/۰۶، ۰/۰۳، ۰/۰۲، ۰/۰۵ و ۰/۰۲ بوده است. اگرچه برخی از پاسخ های انجام شده برای کاهش تاثیر سایر مؤلفه های DPSIR در جهت بهبود وضعیت گرد و غبار اتخاذ شده اند، ولی نتایج تحقیق و روند تغییرات نشان می دهند که کافی و یکپارچه نبوده اند. همچنین، در این پژوهش، انواع پاسخ های مربوط به مولفه های نیروی محرکه، فشار، وضعیت و اثرات شناسایی شد. نتایج نشان داد که غلظت گرد و غبار و روزهای غبار آلود منطقه در طول دوره مطالعه افزایش یافته و توجه بیشتری به پاسخ های واکنشی و تمرکز کمتری بر پاسخ های پیشگیرانه شده است. همچنین، توجه به پاسخ بالا بردن راندمان آبیاری به دلیل همبستگی زیاد بین وضعیت غلظت گرد و غبار و

عوامل فشار از جمله میزان بارندگی، رطوبت خاک و بهره‌برداری از منابع آب در منطقه پژوهش، ضروری است. توجه ویژه به توسعه سامانه‌های استحصال آب به‌عنوان یکی از مهمترین پاسخ‌های مدیریتی به‌دلیل وجود همبستگی منفی و زیاد با وضعیت گرد و غبار در طول سال‌های پژوهش و تامین مناسب و پایدار منابع آبی با کاهش و به حداقل رساندن سدهای انحرافی پایین‌دست سدهای کوثر و آسک، به‌دلیل افزایش غلظت گرد و غبار با افزایش عملیات انحراف سیلاب و احداث سدهای مخزنی و انحرافی از سال ۱۳۸۹، اهمیت دارد. در نظر گرفتن حقایق تالاب‌ها در منطقه با هدف جلوگیری از خشک شدن تالاب‌ها و ایجاد کانون گرد و غبار به‌ویژه در غرب شهرستان هندیجان و دقت در انتخاب گونه گیاهی مناسب و همچنین، انجام عملیات بیابان‌زدایی (کاشت نهال، مالچ‌پاشی، احداث بادشکن) سازگار با شرایط اکولوژیکی منطقه به‌دلیل همبستگی منفی بین عملیات بیابان‌زدایی و کاهش غلظت گرد و غبار از سال ۱۳۹۴ می‌تواند به بهبود وضعیت گرد و غبار در منطقه تحقیق کمک نماید.

نتیجه‌گیری

در این راستا، توصیه می‌شود به نیروهای محرک (D) و فشارها (P) پاسخ داده شود، تا ضمن بهبود شرایط و اثرات نامطلوب ناشی از آن، پیشران‌ها و فشارهای ایجادکننده وضعیت فعلی نیز قابل کنترل باشند. بر این اساس، اجرای ناقص پاسخ‌ها، دلیل دیگری برای عدم دستیابی به اهداف مدیریتی و نامطلوب‌تر شدن وضعیت و تعداد روزهای غبارآلود است. همچنین، اجرای برنامه یکپارچه مدیریت حوزه آبخیز در شهرستان هندیجان از طریق تدوین برنامه مشترک آب، کشاورزی و منابع طبیعی در بالادست حوزه آبخیز به‌منظور تبیین اقدامات موثر زنجیره تولید، توزیع و مصرف آب پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تحلیل علت و معلولی، چارچوب DPSIR، روند تغییرات، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، مدیریت جامع آبخیز

مقدمه

پایین خاک، عدم وجود رطوبت در هوا و پدیده‌های هواشناسی مختلف از جمله گردبادها اشاره نمود (Klingmuller et al., 2016). تحلیل پدیده گرد و غبار در بخش‌های غربی ایران نشان داده است که کاهش سطح پوشش گیاهی و به تبع آن، کاهش رطوبت خاک می‌تواند بافت خاک را تغییر داده و به تولید گرد و غبار منجر شود که این عوامل را می‌توان دلایل اصلی پدیده گرد و غبار در استان خوزستان دانست (Mosaffaie et al., 2015). خشکسالی‌های طولانی‌مدت، کمبود آب و تغییرات قابل توجه در میزان بارش در مقیاس منطقه‌ای در ایران به ثبت رسیده است (Neelamani et al., 2016).

رسوب و نشست گرد و غبار می‌تواند در مقیاس منطقه‌ای، باعث اثرات نامطلوب مستقیم و غیرمستقیم بر گیاهان، جانوران و سلامت انسان شود (Abd el-wahab et al., 2018). تغییر در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی گرد و غبار توسط تعدادی از محققان در مقیاس منطقه‌ای در کویت (Al-dousar et al., 2018)،

طوفان‌های ماسه و گرد و غبار که معمولاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک رخ می‌دهند، به‌عنوان پدیده‌های طبیعی در نظر گرفته می‌شوند که مقادیر زیادی ذرات معلق^۱ به‌وجود می‌آورند. این ذرات، عمدتاً نتیجه بادهای شدید، کاهش رطوبت سطحی خاک و پوشش گیاهی اندک در این مناطق هستند. ذرات معلق موجود در هوا از جمله گرد و غبار تولیدشده در مناطق خشک، اغلب منشأ طبیعی دارند (Mosaffaie et al., 2018; Shahsavani et al., 2020) و این وقایع طبیعی که اغلب به‌طور خاص در طول فصل بهار رخ می‌دهند (Broomandi et al., 2017)، می‌توانند مقادیر قابل توجهی ذرات معلق، مواد زیستی (به‌شکل گاز) و آلاینده‌ها را در فواصل طولانی در مسیر باد حمل نمایند (Shahsavani et al., 2020; Rezaei et al., 2014).

گرد و غبار معمولاً زمانی رخ می‌دهد که بارش سالانه بسیار کمتر از میانگین بارش باشد. از دلایل دیگر ایجاد گرد و غبار، می‌توان به دمای بالا، بادهای شدید، رطوبت

¹ Particular Matter (PMs)

ذرات معلق می‌توانند توسط شرایط هواشناسی خاص تا مناطق مسکونی نیز انتقال یابند. در این موارد، غلظت این ذرات می‌تواند با توجه به کیفیت هوا در استانداردهای بهداشتی مربوطه، بالاتر نیز در نظر گرفته شود (Kang et al., 2012; Marsham et al., 2013).

قرار گرفتن در معرض ذرات معلق در طول وقوع گرد و غبار، منبع اصلی کاهش سطح سلامت است (Shahsavani et al., 2020). تنفس ذرات معلق می‌تواند باعث حساسیت‌های شدید و بیماری‌های پوستی، سردردهای شدید و مزمن، مشکلات تنفسی، حملات قلبی و افزایش ضربان قلب شود (Ashrafi et al., 2014). برخی افراد، زمانی که در معرض PM_{10} قرار می‌گیرند، ممکن است با مشکلات تنفسی مواجه شوند یا این که این ذرات ممکن است مشکلات تنفسی زمینه‌ای از جمله آسم را در افراد تشدید نمایند (Englert, 2004). بنابر گزارش سازمان بهداشت جهانی^۱، تقریباً چهار تا هشت درصد کل موارد فوتی در دنیا ناشی از مشکلات آلودگی هوا است (Kathuria, 2002; Krewski et al., 2005).

چندین پژوهش، اثرات قابل توجه PMS موجود بر میزان فوت روزانه در طول دوره‌های گرد و غبار در مقایسه با روزهای پاک را نشان داده‌اند (Tobias et al., 2011, 2012; Neophytou et al., 2013). موارد فوت ناشی از مشکلات قلبی-تنفسی یا میزان موارد بستری در بیمارستان، در طول بروز گرد و غبار در استان خوزستان گزارش شده است. اما، علی‌رغم مقادیر بالای PM ثبت شده، تا کنون هیچ مطالعه‌ای برای تحلیل علت و معلولی وقوع گرد و غبار انجام نشده است. پدیده گرد و غبار یکی از پدیده‌های اقلیمی است که در سال‌های اخیر از حالت طبیعی خود خارج شده و در نقاط مختلف جهان از جمله ایران به وقوع می‌پیوندد. این پدیده در بخش‌های غربی ایران و به‌خصوص در جنوب غرب آن بسیار متداول است. استان خوزستان در جنوب غرب ایران یکی از مناطقی است که به‌علت موقعیت جغرافیایی و مجاورت آن با بیابان‌های کشورهای عراق، سوریه و عربستان، هرساله با این پدیده مواجه است. علاوه بر این، تغییرات در

عربستان سعودی (Al-dousari et al., 2020) و استرالیا (Al-dousari et al., 2019)، بررسی و تأیید شد. در دهه‌های اخیر، طوفان‌های ماسه و گرد و غبار به‌طور مکرر نواحی غربی، جنوبی و به‌خصوص جنوب غرب ایران را تحت تأثیر قرار داده و باعث افزایش گرد و غبار و غلظت بالای PM_{10} روزانه شده است (Goudie, 2014; Nourmoradi et al., 2016; Feng et al., 2002). در سال‌های اخیر، تعداد روزهای غبارآلود افزایش یافته است و این مسئله نشان می‌دهد که ذرات گرد و غبار می‌توانند فواصل طولانی را طی کنند (Crooks et al., 2016).

تغییر آب و هوا باعث افزایش گرد و غبار ناشی از فرایند شتاب‌یافته بیابان‌زایی در کوتاه‌مدت شده است و (Shahsavani et al., 2020) نشان داده‌اند که از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰، ایران شاهد روند سریع بروز گرد و غبار بوده است که اغلب در نتیجه مداخلات انسانی رخ داده‌اند. (Ghasem et al., 2012). دو دوره پیک گرد و غبار (دوره‌های ۱۹۹۰-۱۹۸۲ و ۲۰۰۸-۲۰۰۵) را در جنوب و غرب ایران در ارتباط با تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی ذکر نموده‌اند. با توجه به روندهای آتی، احتمال وقوع میزان بارش‌های سیل‌آسا و سیلاب‌های بیشتر، حداکثر دمای بسیار بالا و دوره‌های طولانی مدت خشکسالی در جنوب غرب ایران وجود دارد (Mosaffaie, 2016).

گرد و غبار می‌تواند کیفیت هوا را به شیوه‌های مختلف تحت تأثیر قرار داده و بر ویژگی‌های زیستی و شیمیایی و همچنین، اقلیم جهانی تأثیر گذارد (El-Askary et al., 2006). گرد و غبار باعث جابه‌جایی آلاینده‌ها و عوامل بیماری‌زا، کاهش تابش آفتاب، کاهش دید، تأثیر بر حمل و نقل هوایی و جاده‌ای، افزایش احتمال تشکیل ابر و بروز اثر پوشش حرارتی می‌شود (Broomandi et al., 2017; Mosaffaie and Salehpour Jam, 2021; Shahsavani et al., 2020). فرایندهای آلودگی، از جمله جابه‌جایی، تجمع و چگالش در طول وقوع پدیده‌های گرد و غبار می‌توانند اثرات ثانویه گرد و غبار را افزایش دهند (Lee et al., 2007; Zauli Sajani et al., 2011; Mosaffaie et al., 2015).

¹ World Health Organization (WHO)

کنترل آن و اثرات گرد و غبار بر سلامت انسان و جوامع طبیعی در این منطقه با استفاده از یک دیدگاه ترکیبی شناسایی شوند.

در این تحقیق، از چارچوب نیروی محرکه، فشار، وضعیت، اثر و پاسخ^۱ (DPSIR) که یک ابزار مناسب برای تحلیل مشکلات مرتبط با محیط زیست به شمار می‌رود، برای تحلیل روند عوامل مؤثر بر گرد و غبار هندیجان استفاده شده است. (Gary et al., 2015). نشان داده‌اند که چارچوب DPSIR یک روش ارزشمند برای تحلیل مشکلات محیط‌زیستی و یافتن راه‌حل آن‌ها است که مدیران می‌توانند از این چارچوب در کنار علوم اقتصادی، اجتماعی و طبیعی استفاده نمایند و در این چارچوب، فعالیت انسان یک مؤلفه از اکوسیستم در نظر گرفته می‌شود (Zaldívar et al., 2008).

چارچوب DPSIR کاربرد گسترده‌ای در تحلیل مسائل محیط زیستی و یافتن روابط علت و معلولی در میان فعالیت‌های انسان و اثرات آن‌ها داشته است (OECD et al., 1993; EEA, 1995; Bidone and Lacerda, 2003; Borja et al., 2006; Bell, 2012; Kagalou et al., 2012; Namaalwa et al., 2013; Lalande et al., 2014; Shao et al., 2014; Sun et al., 2016; Gari et al., 2018). چارچوب DPSI ابزاری برای پاسخ‌گویی به پرسش‌های چه، چرا و چگونه با تحلیل مسائل اجتماعی-اقتصادی و اکولوژیکی فراهم می‌آورد. «چه رخ داده است؟» این پرسش با مؤلفه S تعریف می‌شود و در این تحقیق نیز بر آن تمرکز شده است و در گام بعد، آگاهی از چرایی رخداد مورد نظر است. چارچوب DPSIR با شناسایی و تلفیق مولفه‌های پیشران (D) و فشار (P)، چرایی رخداد را نشان می‌دهد که در نهایت، در این پژوهش سعی شده است به پرسش «نحوه مقابله با آن» پاسخ داده شود و برای این کار، مستقیماً این پاسخ را با استفاده از مؤلفه‌های S و I و تمرکز بر مؤلفه‌های P یا D به‌دست آورد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: منطقه هندیجان با مساحتی برابر با ۳۳۴۵۴ هکتار، در جنوب شرق استان خوزستان واقع شده است و یکی از مناطقی است که تحت تأثیر گرد و

پوشش گیاهی ناشی از فعالیت‌های انسان و عوامل طبیعی نیز به ایجاد مراکز داخلی تولید گرد و غبار منجر شده است.

یکی از کانون‌های گرد و غبار در استان خوزستان که در سال‌های اخیر سبب وقوع مکرر پدیده گرد و غبار شده است، شهرستان هندیجان است. این منطقه از خوزستان دارای پتانسیل‌های فراوان برای تبدیل شدن به یک منطقه بسیار ویژه و مهم اقتصادی است که متأسفانه بر اثر سوء مدیریت تبدیل به یکی از هفت کانون گرد و غبار در استان خوزستان شده است. رودخانه هندیجان یا زهره یکی از پتانسیل‌های منطقه است که متأسفانه در سال‌های اخیر با ایجاد دو سد بر روی آن، تبدیل به یک خشک‌رود شده است. این رودخانه در گذشته نه چندان دور، باعث رونق کشاورزی در منطقه بوده است. با کم آب شدن و در نهایت، خشک شدن رودخانه هندیجان، زمین‌های زراعی زیادی به حال خود رها شده‌اند که در حال تبدیل شدن به کانون‌های جدید گرد و غبار هستند و رها شدن زمین‌های کشاورزی باعث بروز مشکلات اجتماعی فراوانی شده است.

دشت هندیجان که از نوع دشت‌های ساحلی محسوب می‌شود، به‌علت‌های طبیعی و انسانی، به یکی از مراکز تولید گرد و غبار تبدیل شده است. از عوامل عمده طبیعی می‌توان به وجود دشت‌های ساحلی با پوشش نمکی و بادهای قدرتمند اشاره نمود که از سمت صحرای عربستان به داخل ایران وارد شده است و با برداشت از خاک‌های رسی و سیلتی دشت هندیجان، باعث ایجاد طوفان‌های گرد و غبار در خوزستان و به تبع آن، سایر استان‌های همجوار شده است. ویژگی‌های طبیعی منطقه مورد مطالعه و تغییر در کاربری آن، باعث شده است تا این منطقه به‌عنوان یکی از مراکز فعال گرد و غبار در نظر گرفته شود. هرچند، تحقیقات زیادی برای شناسایی مراکز بروز گرد و غبار در ایران و در منطقه مورد مطالعه انجام گرفته است، اما توجه اندکی به وقوع گرد و غبار در منطقه هندیجان، از نقطه نظر دلیل و اثر این پدیده معطوف شده است. بنابراین، در این تحقیق، سعی شده است که عوامل مؤثر بر بروز این رویداد،

¹ Driving Force, Pressure, State, Impact, Response

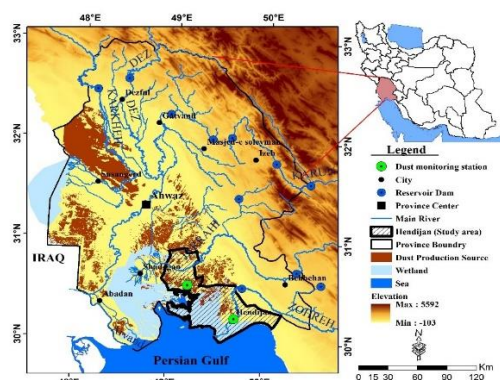
برنامه و بودجه ایران (PBO, 2019) نیز به این منظور به کار گرفته شدند. در نهایت، داده‌ها و اطلاعات صنعتی و کشاورزی از داده‌های آماری منتشر شده توسط وزارت جهاد کشاورزی جمع‌آوری شدند.

روش تحقیق: برای تحلیل علت و معلولی بروز گرد و غبار در هندیجان و ارائه پاسخ‌های مدیریتی صحیح، این پژوهش در سه مرحله اصلی انجام گرفت. (۱) انتخاب کمیت و مولفه‌های اصلی چارچوب (DPSIR, ۲) تحلیل علت-معلولی وقوع پدیده گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه و (۳) تحلیل روند مؤلفه‌های DPSIR در دوره آماری سال‌های مورد پژوهش.

انتخاب شاخص: انتخاب شاخص‌های کلیدی می‌تواند اثر قابل توجهی بر نتایج تحلیل و نتایج پژوهش داشته باشند. بر اساس OECD^۱، شاخص‌های مورد استفاده باید تعداد کافی داشته باشند تا اطلاعات مورد نیاز را فراهم آورند، اما تعداد آن‌ها نباید آنقدر زیاد باشند که در روند تحقیق خلل ایجاد نمایند. به عقیده Gari et al., (2018)، مرحله انتخاب شاخص‌ها بر اساس هدف مدنظر توسط محقق بسیار حائز اهمیت است.

یک شاخص زمانی مناسب در نظر گرفته می‌شود که بتوان آن‌را کمی‌سازی و اندازه‌گیری کرد یا بتوان آن‌را به روشی ساده تعریف نمود و این شاخص باید معتبر، ساده و قابل اعتماد باشد. بر طبق OECD (1993)، شاخص‌های انتخابی به خط‌مشی اتخاذ شده، تحلیل دقیق و قابلیت اندازه‌گیری بستگی دارند. پس از انجام تحلیل‌های محیط‌زیستی، اجتماعی و اقتصادی در منطقه مورد مطالعه (شهرستان هندیجان)، شاخص‌های متعددی برای ارزیابی در چارچوب DPSIR انتخاب شدند. لازم به ذکر است که ممکن است شاخص‌های معتبر بیشتری برای برخی مؤلفه‌ها وجود داشته باشند، اما کمبود داده موجب عدم انتخاب آن‌ها شده است. شاخص‌های انتخاب شده، با یک ارزیابی کمی از فشارها و تغییرات در وضعیت و شدت اثرات و برای ارزیابی اثرات پاسخ‌ها به کار رفته‌اند. همچنین، ارزیابی با انجام یک مقایسه بین نوع و تکرار پاسخ و تغییری که در هر یک از مؤلفه‌های DPSIR رخ داده است، انجام گرفت.

غبار با منشأ داخلی و خارجی قرار دارد (شکل ۱). مطالعات بسیاری در طول سال‌های اخیر بر اساس داده‌های ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دور برای شناسایی منشأ گرد و غبار انجام گرفته است که این منطقه را در رتبه اول جهانی از نظر میانگین سالانه ذرات معلق قرار داده است (WHO, 2006). هرچند، اکثر طوفان‌های گرد و غبار، ناشی از منابع خارج از منطقه هستند، ولی مراکز حساس داخلی نیز حدود ۳۰ درصد این مشکل را موجب شده‌اند.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در میان کانون‌های گرد و غبار استان خوزستان

Fig 1. Map of the study area

داده‌های مورد استفاده: در این پژوهش، از داده‌های متنوعی از جمله داده‌های هیدرولوژیکی، محیط‌زیستی، اجتماعی، صنعتی، هواشناسی و همچنین، کشاورزی استفاده شده است. داده‌های اصلی از سازمان‌های دولتی، نهادهای استانی یا آمار منتشر شده توسط دولت به‌دست آمدند. داده‌های مربوط به غلظت PM_{10} از دو ایستگاه متعلق به سازمان محیط‌زیست جمع‌آوری و داده‌های هواشناسی در منطقه مورد مطالعه از سازمان هواشناسی اخذ شدند. همچنین، سازمان آب و برق خوزستان و شرکت مدیریت منابع آب ایران، داده‌های هیدرولوژیکی مورد نیاز را فراهم نمودند. برای اطلاعات اجتماعی-اقتصادی، سالنامه‌های آماری منتشر شده توسط سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان خوزستان (MPOKP, 2019) مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین، گزارش‌ها و تحلیل‌های منتشر شده توسط سازمان

¹ Organization for Economic Co-operation and Development (OECD)

تحلیل علت و معلول حوادث گرد و غبار: از آنجایی

که چارچوب DPSIR ویژگی‌های بسیاری دارد، از آن برای ارزیابی رابطه‌های علت و معلولی حوادث گرد و غبار استفاده شد. OECD (Organization for Economic Co-operation and Development, European Environment Agency,) EEA و (1993) توسعه دهندگان چارچوب DPSIR هستند. منشأ آن از چارچوب S-R از سال ۱۹۷۹ بوده (Friend and Rapport, 1991) و بعدها توسط P-S-R توسعه یافته است (OECD, 1993) و در نهایت، چارچوب DPSIR تکامل یافت (EEA, 1995). برای دستیابی به اطلاعات پایه در مورد شاخص‌های DPSIR، از اسناد، وبسایت‌ها، مقالات، کتاب‌ها، مصاحبه‌ها و بررسی‌های میدانی پیش از ایجاد چارچوب DPSIR استفاده شد. برای استفاده از نظرات ذی‌نفعان، گروهی متشکل از کارشناسان منطقه‌ای متخصص رویدادهای گرد و غبار با ۲۰ نفر عضو (شش نفر کارشناس اداره مدیریت منابع طبیعی و آبخیزداری خوزستان؛ چهار نفر کارشناس اداره حفاظت محیط‌زیست خوزستان؛ چهار نفر کارشناس اداره آب منطقه‌ای خوزستان؛ چهار نفر کارشناس سازمان جهاد کشاورزی خوزستان؛ دو نفر کارشناس مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان) تشکیل شد. دو پرسش اصلی از اعضای کارگروه وجود داشت. (۱) دلایل و اثرات بروز گرد و غبار؟ (چه رخ داده است؟ و چرا رخ داده است؟)، و (۲) چه پاسخی برای این رویدادهای گرد و غبار باید داد (چگونه باید به این موضوع پرداخت؟). در نهایت، خروجی مصاحبه‌ها با استفاده از چارچوب DPSIR، ساختاربندی شدند. با توجه به وضعیت موجود، از آخرین وضعیت و اثر برای تعاریف EEA^۱ استفاده شد. بر طبق اصلاحات و تغییرات انجام شده، مؤلفه اثر بر رفاه انسان متمرکز شد و اثرات محیط‌زیستی به دسته وضعیت انتقال یافتند (Gari et al., 2018). همچنین، از تحقیقات دیگر (EEA, 1995; Elliott, 2002; Bidone and Lacerda, 2003; Borja et al., 2006; Haase and Nuissi, 2007; Bell, 2012; Kagalou et al., 2012; Namaalwa et al., 2013; Lalande et al., 2014; Sun et al., 2016; Gari et al., 2015, 2018) در این زمینه، برای بهره‌گیری بهتر از این چارچوب نیز استفاده شد.

علی‌رغم همه قابلیت‌های این چارچوب، محدودیت‌هایی نظیر انتخاب صحیح شاخص‌ها در هر مؤلفه، محدودیت دسترسی به داده‌ها، سبب عدم قطعیت‌هایی در ارائه پاسخ‌های مدیریتی مناسب خواهند شد. این پژوهش، با وجود این محدودیت‌ها، رویکرد مؤثری برای تحلیل وقوع پدیده گرد و غبار فراهم نموده است. در کل، این پژوهش نشان داد که در این منطقه، به‌کارگیری چارچوب DPSIR برای به تصویر کشیدن عوامل وقوع پدیده گرد و غبار مفید بوده و این چارچوب می‌تواند زنجیره‌های علت و معلولی را با موفقیت به یکدیگر مرتبط سازد. کارهای تحقیقاتی دیگر نشان‌دهنده قابلیت بالای روش DPSIR در تفسیر روابط بین علت‌ها و معلول‌های مرتبط با مشکلات محیط‌زیستی علی‌رغم محدودیت‌های موجود از لحاظ قابلیت دسترسی به داده‌ها هستند (Gari et al., 2018). **ارزیابی روند:** این پژوهش در دوره ۲۰۱۹-۲۰۰۷ انجام شده است. تحلیل یک روند در واقع می‌تواند به‌عنوان شبیه‌سازی آنچه در طول دوره تحقیق رخ داده است، تعریف شود (Shao et al., 2014). روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی^۲ برای وزن‌دهی (اهمیت) هر شاخص در چارچوب DPSIR و برای تصمیم‌گیری بر مبنای مقایسه دو به دو و پیاده‌سازی معیارهای متعدد استفاده شد (Saati, 1998). مراحل به‌کارگیری AHP در این پژوهش، در قالب چهار مرحله شامل ایجاد ماتریسی برای مقایسه شاخص‌ها با یکدیگر، رتبه‌بندی شاخص‌ها بر اساس اهمیت آن‌ها توسط مقایسه دو به دو و رتبه‌بندی آن‌ها از یک تا نه، تعیین وزن متناظر هر شاخص و در نهایت، کمی‌سازی هر شاخص DPSIR و تحلیل روند با استفاده از شاخص‌های استاندارد شده و وزن‌های اختصاص یافته به هر شاخص، انجام گرفت که شامل تغییرات در طول دوره ۲۰۱۹-۲۰۰۷ بود.

قبل از انجام تحلیل فرایند و به‌علت هماهنگ‌سازی داده‌ها، به‌سبب وجود ارزش‌های عددی مختلف برای شاخص‌ها که باعث می‌شود این ارزش‌ها به آسانی قابل مقایسه نباشند و به‌علت این‌که شاخص‌ها از نظر کمیت می‌توانند همبستگی مستقیم یا معکوسی با مؤلفه وضعیت داشته باشند، از فرمول‌های استاندارد شده برای

² Analytical Hierarchy Process (AHP)

¹ European Environment Agency

رابطه‌های علت و معلولی بین مؤلفه‌های DPSIR در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. در طول سال‌های پژوهش، جمعیت منطقه به شدت افزایش یافته است. با افزایش جمعیت، توسعه در فعالیتهای اقتصادی از جمله کشاورزی، مرتع‌داری و فعالیتهای صنعتی رخ داده است و سایر عوامل اقلیمی و محیط‌زیستی در منطقه نیز تغییر نموده است. این رویدادها فشار قابل توجهی بر منابع آب و خاک منطقه تحمیل کرده و منطقه را با مشکل کمبود آب مواجه نموده است. بهره‌وری زراعی به دلیل کمبود آب ناشی از خشکسالی، کاسته شده است. در طول دهه‌های گذشته، ساخت سدها با مخازن بزرگ باعث خشک شدن حوزه‌های آبخیز پایین‌دست شده و به افزایش شوری خاک کمک نموده است که فاجعه دیگری در این منطقه به‌شمار می‌رود. در استان خوزستان، رودخانه‌های بزرگ متعددی شامل کارون، دز، کرخه، زهره، جراحی و مارون وجود دارد که از کوه‌های شمال شرق استان سرچشمه گرفته‌اند و به دشت‌های پایین‌دست، تالاب‌ها از جمله هورالعظیم و شادگان و مصب‌های ساحلی جریان می‌یابند. در طول سال‌های گذشته، ساخت بیش از ۱۴ سد بزرگ با اهدافی نظیر کنترل سیلاب، توسعه کشاورزی، تولید برق، حقابه‌ها را در دشت‌ها و تالاب‌های پایین‌دست کاهش داده است. افزایش تقاضای آب، باعث کاهش حجم آبی شده است که می‌تواند به محیط‌زیست اختصاص داده شود و این مسئله پایداری محیط‌زیست در منطقه را تحت تأثیر قرار داده است.

حل این مشکل استفاده شد که رتبه‌هایی را در یک بازه قابل مقایسه (صفر تا ۱) اختصاص می‌دهند. برای برخی شاخص‌ها، از جمله افزایش مصرف آب که ارتباط مستقیمی با وضعیت گرد و غبار دارند، برای بی‌مقیاس‌سازی فازی از رابطه (۱) استفاده شد.

$$Z = \frac{X - \min(X)}{\max(X) - \min(X)} \quad (1)$$

از آنجا که برخی شاخص‌ها از جمله افزایش بارش ارتباط معکوسی با وضعیت گرد و غبار دارند، رابطه (۲) برای استانداردسازی مورد استفاده قرار گرفت.

$$Z = \frac{\max(X) - X}{\max(X) - \min(X)} \quad (2)$$

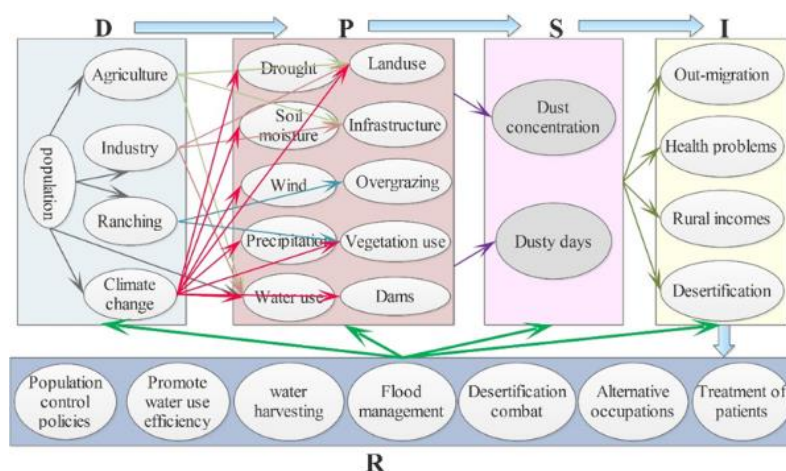
پس از استانداردسازی، حداکثر ارزش برابر با یک و حداقل ارزش برابر با صفر نرمال‌سازی شد و باقی‌مقادیر بین صفر و یک تعیین شدند. سپس، هر یک از شاخص‌های DPSIR با استفاده از اوزان‌های مشخص و شاخص‌های استاندارد شده به کمک رابطه (۳) اندازه‌گیری شدند.

$$W = \sum_{i=1}^n I_i * X_i \quad (3)$$

در این رابطه، W نشان‌دهنده شاخصی برای هر مؤلفه در DPSIR، I_i نشان‌دهنده وزن (اهمیت) هر شاخص و X_i نشان‌دهنده ارزش شاخص‌ها در حالت نرمال‌شده هستند. مقدار W در دامنه $[0, 1]$ قرار می‌گیرد و هرچه این مقدار بالاتر باشد، نشان‌دهنده درجه بالاتر این شاخص است.

نتایج و بحث

استفاده از DPSIR برای تحلیل مشکلات:



شکل ۲- رابطه‌های علت و معلولی مؤلفه‌های DPSIR در منطقه هنديجان

Fig 2. Cause and effect relationships of DPSIR components in Handijian region

پرسش‌نامه‌های تکمیل‌شده توسط کارشناسان و استفاده از روش AHP (رابطه ۳) نشان‌دهنده آن است که برای مولفه D، شاخص جمعیت با وزن ۰/۳ بالاترین وزن را داشته و شاخص دامداری با وزن ۰/۱ پایین‌ترین وزن را به خود اختصاص داده است. برای مولفه P، شاخص خشکسالی با ارزش برابر با ۰/۲۱ بالاترین وزن و شاخص زیرساخت‌های غیراصولی با وزن ۰/۰۱ پایین‌ترین وزن را دارند. برای مولفه S، شاخص غلظت گرد و غبار با وزن برابر با ۰/۶۹ بالاترین وزن و شاخص روزهای غبارآلود (تعداد روزهای ناسالم) با وزن برابر با ۰/۳۱ پایین‌ترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند.

برای مولفه I، شاخص بیابان‌زایی با وزن ۰/۳۲ بالاترین وزن و شاخص مهاجرت با وزن ۰/۱۸ پایین‌ترین وزن را دارند. برای مولفه R، شاخص عملیات بیابان‌زدایی با وزن ۰/۲۵ بالاترین وزن و شاخص درمان بیماران تنفسی با وزن ۰/۱ پایین‌ترین وزن را نشان می‌دهند. روند تغییرات در کل مقادیر مولفه‌های DPSIR برای دوره مطالعاتی نشان می‌دهد که تغییر روند مولفه‌ها برای D، P، S، I و R به ترتیب برابر ۰/۰۶، ۰/۰۳، ۰/۰۲، ۰/۰۵ و ۰/۰۲ بوده و کلیه مولفه‌ها روندی صعودی داشته‌اند. برای مثال، روند صعودی مولفه S نشان می‌دهد که وقایع گرد و غبار در دوره مطالعه تشدید شده‌اند (شکل ۳).

تغییر روند مولفه‌های D در طول دوره تحقیق نشان می‌دهد که میزان اثر پدیده گرد و غبار از شاخص‌های مؤلفه‌های D بسیار زیاد بوده و نوسان داده‌ها پایین است ($R^2=0/91$)، تأثیرپذیری پدیده گرد و غبار از مولفه‌های P متوسط بوده و نوسان داده‌ها متوسط است ($R^2=0/55$)، تأثیرپذیری پدیده گرد و غبار از مولفه‌های S پایین بوده و نوسان داده‌ها، بالا است ($R^2=0/36$)، تأثیرپذیری وقوع پدیده گرد و غبار از مولفه‌های I متوسط بوده و نوسان داده‌ها متوسط است ($R^2=0/64$) و تأثیرپذیری وقوع پدیده گرد و غبار از مولفه R متوسط بوده و نوسان داده‌ها متوسط است ($R^2=0/54$).

در سال‌های اخیر حجم زیادی از آب‌های بالادست این منطقه، برای اهداف کشاورزی، صنعتی و آشامیدنی به مناطق مرکزی ایران انتقال یافته است. عدم اختصاص حبابه‌ها به تالاب‌های پایین‌دست منجر به خشکی بخش‌های عظیمی از دشت‌ها و تالاب‌های پایین‌دست شده است. ساخت سدهای جدید، میزان آب و رطوبت خاک را در دشت‌های پایین‌دست کاهش داده است که به نوبه خود باعث تضعیف پایداری خاک در مقابل فرسایش ناشی از باد شده است و آستانه اصطکاکی خاک را کاهش می‌دهد.

از سوی دیگر، تغییر اقلیم و گرمایش جهانی با کاهش بارش، پوشش گیاهی و رطوبت خاک و افزایش سرعت باد، تعداد طوفان‌های گرد و غبار و غلظت گرد و غبار منطقه را تحت تأثیر قرار داده‌اند. در نقاطی که رسوبات کف تالاب‌های خشک‌شده در معرض باد قرار می‌گیرند و با توجه به پوشش گیاهی ضعیف در این مناطق، این نقاط به مراکز داخلی تولید گرد و غبار تبدیل می‌شوند. افزایش تعداد و شدت وقایع گرد و غبار از سال ۲۰۰۷، مشکلات بسیاری را برای ساکنان استان خوزستان و استان‌های مجاور به وجود آورده‌اند.

ساکنان این منطقه به استان‌های مجاور مهاجرت نموده و شیوع بیماری‌های تنفسی، قطعی برق، قطعی آب و تعطیلی مدارس و ادارات از جمله اثرات قابل توجه گرد و غبار در این منطقه به‌شمار می‌روند (Rezaei et al., 2014; Khaniabadi et al., 2017; Shahsavani et al., 2020).

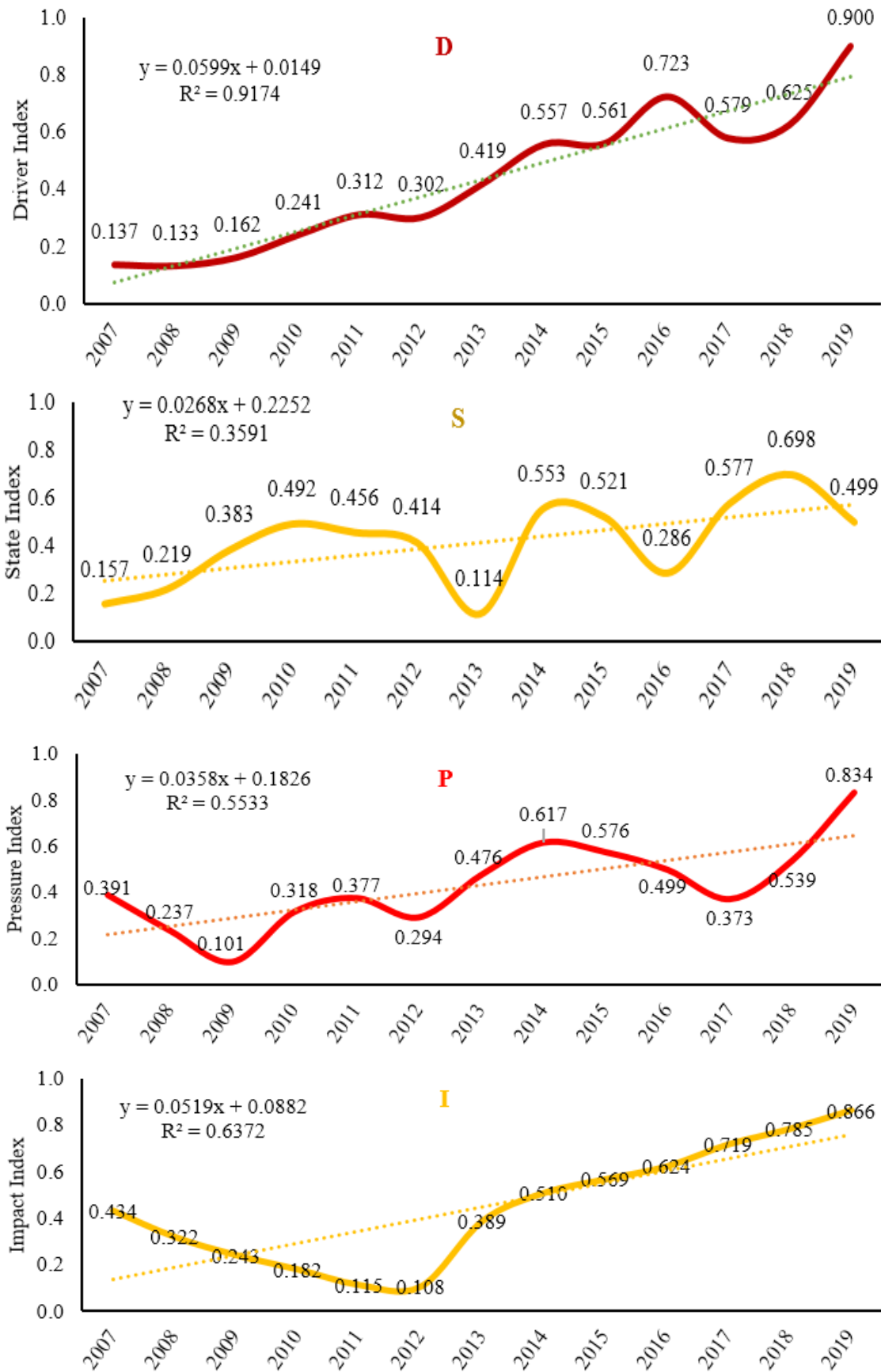
علاوه بر این، تغییر شرایط در این منطقه باعث شده است که روستاییان به افزایش شمار دام‌های خود روی آورند. چرای بیش از حد، به پوشش ضعیف گیاهی منطقه و متعاقباً به تخریب خاک و فرسایش‌های گسترده بادی منجر شده است. همچنین، کاهش رفاه اجتماعی، روستاییان را وادار نموده است که مراتع خود را به زمین‌های کشاورزی دیم تبدیل نمایند.

تغییر روند در شاخص‌های DPSIR: پس از جمع‌آوری داده‌های لازم و انتخاب شاخص‌های مناسب، از رابطه (۳) برای محاسبه شاخص‌های DPSIR برای دوره ۲۰۱۹-۲۰۰۷ استفاده شد (جدول ۱). نتایج

جدول ۱- اوزان و مقادیر شاخص‌های مختلف برای هر یک از مؤلفه‌های DPSIR در دوره مطالعه ۲۰۰۷-۲۰۱۹

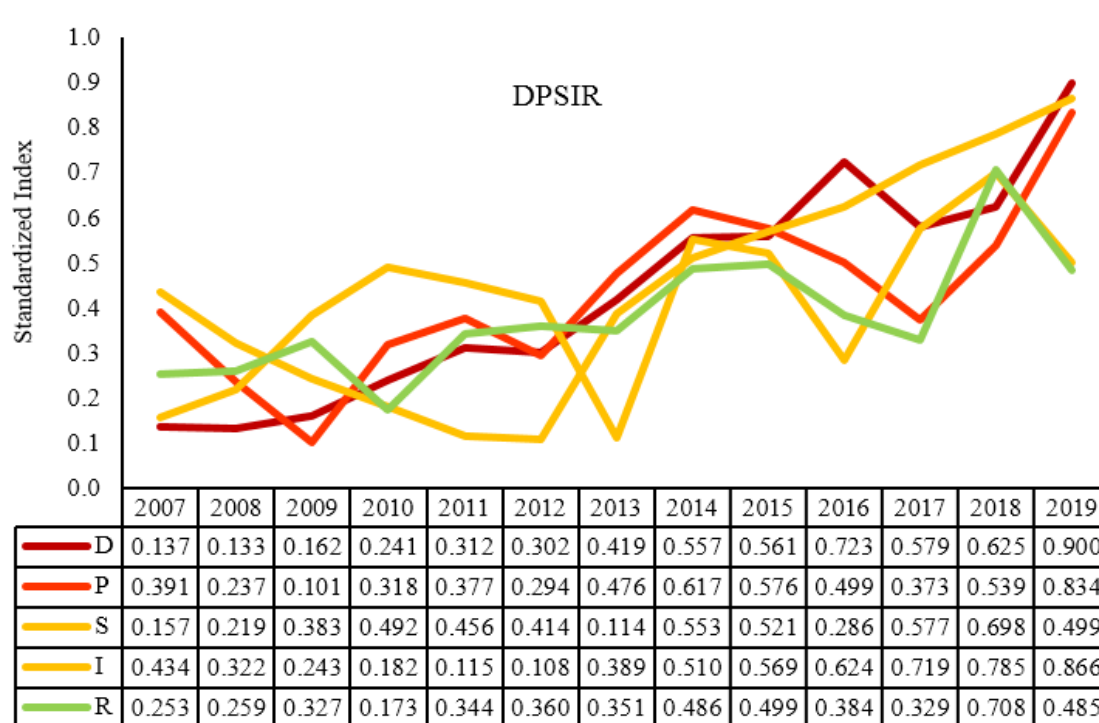
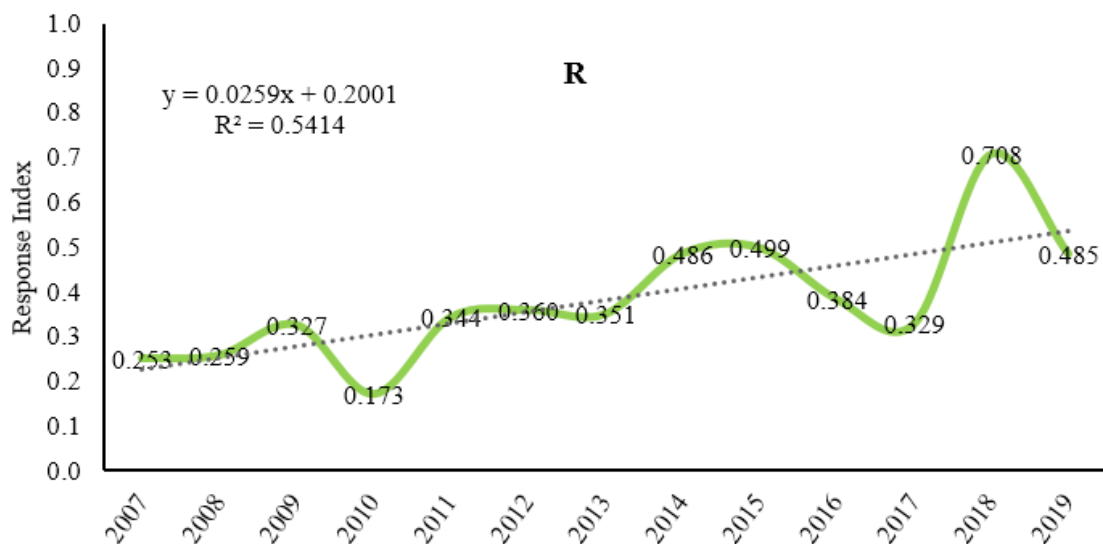
Table 1. Weights and values of different indices for each DPSIR component in the study period: 2007-2019

| DPSIR component | Indicator | weight | Year | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|------------------------------|--|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | |
| D | Population | Count (10 ³) | 0.30 | 36359 | 36590 | 36800 | 36900 | 37200 | 37440 | 37500 | 37800 | 38100 | 38350 | 38500 | 38750 | 38796 |
| | Agriculture | GDP (10 ⁶ rials) | 0.17 | 12350 | 14426 | 17808 | 16910 | 24857 | 32061 | 36157 | 53744 | 64389 | 72329 | 74895 | 77523 | 78963 |
| | Industry | GDP (10 ⁶ rials) | 0.15 | 29362 | 46960 | 43606 | 43692 | 59337 | 108803 | 163406 | 188558 | 278858 | 336439 | 358520 | 385900 | 410250 |
| | Ranching | Animal unit (10 ³) | 0.10 | 79282 | 77000 | 75400 | 72650 | 70500 | 68700 | 65800 | 60200 | 58334 | 55471 | 53329 | 51200 | 51250 |
| | Climate Change | De Martonne | 0.28 | 3.02 | 1.50 | 1.59 | 4.85 | 5.47 | 2.52 | 6.18 | 8.92 | 5.23 | 9.34 | 2.25 | 2.48 | 13.11 |
| P | Drought | SPI (Z) | 0.21 | -0.06 | -1.64 | -1.67 | 0.50 | -0.58 | -1.53 | 0.94 | 0.73 | -0.74 | -1.38 | -1.38 | -1.56 | 1.31 |
| | Soil Moisture | Soil Moisture (%) | 0.18 | 16.35 | 14.75 | 13.85 | 16.85 | 17.50 | 15.91 | 14.58 | 17.83 | 18.83 | 20.12 | 14.80 | 20.58 | 22.30 |
| | Wind | Surface Velocity (m/s) | 0.12 | 11.00 | 11.00 | 15.00 | 12.00 | 12.00 | 11.00 | 12.00 | 12.00 | 13.00 | 13.00 | 14.00 | 14.00 | 14.00 |
| | Rainfall | Precipitation (mm) | 0.09 | 167.50 | 75.00 | 57.60 | 176.40 | 199.20 | 90.00 | 225.60 | 313.20 | 190.80 | 342.00 | 91.60 | 370.00 | 480.00 |
| | Water use | Used Water (MCM) | 0.04 | 105.0 | 107.2 | 108.9 | 109.7 | 111.9 | 115.4 | 116.9 | 117.4 | 119.2 | 120.0 | 121.1 | 121.7 | 122.5 |
| | Land use | Irrigated & Dry farmed (ha) | 0.08 | 27776 | 27900 | 28200 | 28500 | 28540 | 29600 | 29900 | 29921 | 31418 | 33200 | 35284 | 40800 | 43023 |
| | Unprincipled Infrastructure | Dirt Roads (Km) | 0.01 | 54.0 | 55 | 55 | 51 | 51 | 66 | 70 | 70 | 117 | 116 | 116 | 110 | 118 |
| | Overgrazing | Illegal livestock No. (Animal Unit) | 0.05 | 1000 | 1400 | 1900 | 2300 | 2500 | 3000 | 2200 | 800 | 600 | 550 | 480 | 350 | 295 |
| | Vegetation use | NDVI (Z) | 0.13 | 0.1204 | 0.1055 | 0.0755 | 0.0618 | 0.0997 | 0.0814 | 0.0717 | 0.1172 | 0.1295 | 0.0923 | 0.1050 | 0.0954 | 0.1150 |
| | Dams | stored water by dams (MCM) | 0.09 | 457 | 517 | 212 | 198 | 288 | 396 | 483 | 491 | 479 | 363 | 348 | 304 | 212 |
| S | Dust Concentration | PM10 (µg/m ³) | 0.69 | 285 | 290 | 295 | 310 | 385 | 420 | 210 | 465 | 479 | 354 | 528 | 590 | 485 |
| | Dusty days | No. of unhealthy days (count) | 0.31 | 25 | 38 | 76 | 96 | 54 | 28 | 48 | 42 | 28 | 26 | 20 | 22 | 20 |
| I | Out-migration | Positive rate (%) | 0.18 | 1.12 | 1.00 | 0.92 | 0.83 | 0.83 | 0.83 | 0.90 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.13 | 1.15 | 1.21 |
| | Health problems | No. of breathing patient (count) | 0.31 | 18.00 | 22.00 | 30.00 | 42.00 | 55.00 | 85.00 | 90.00 | 100.00 | 120.00 | 145.00 | 168.00 | 185.00 | 210.00 |
| | rural incomes | Incomes (%) | 0.19 | 2.70 | 2.65 | 2.50 | 2.42 | 2.20 | 2.05 | 2.10 | 2.15 | 2.16 | 2.17 | 2.18 | 2.20 | 2.24 |
| | Desertification | Area (Km ²) | 0.32 | 12500 | 12400 | 12380 | 12350 | 12300 | 12275 | 12750 | 12800 | 12850 | 12875 | 12900 | 12950 | 12950 |
| R | population policies | Positive rate (%) | 0.11 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.3 | 0.8 | 0.6 | 0.2 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | 0.4 | 0.6 | 0.1 |
| | promote water use efficiency | Under pressure irrigation area (%) | 0.12 | 7.2 | 8.1 | 9.2 | 10.5 | 12.5 | 13.4 | 14.3 | 14.5 | 15.8 | 16.0 | 16.7 | 17.6 | 18.2 |
| | water harvesting | Operating area (ha) | 0.16 | 2550.0 | 3500.0 | 3800.0 | 4500.0 | 5200.0 | 5570 | 6850 | 7310 | 7970 | 3580 | 1800 | 6500 | 4800 |
| | Flood management | environmental water rights (MCM) | 0.15 | 751.00 | 623.00 | 799.00 | 143.00 | 253.00 | 314.00 | 342.00 | 533.00 | 409.00 | 371.00 | 286.00 | 298.00 | 242.00 |
| | De-desertification | Operating area (ha) | 0.25 | 22000 | 28000 | 30000 | 32500 | 35800 | 39870 | 47400 | 20175 | 23659 | 33985 | 67858 | 237554 | 154700 |
| | Alternative occupations | Fisheries, tourism, beekeeping (%) | 0.11 | 2.8 | 3.2 | 4.5 | 5.2 | 6.6 | 7.0 | 7.8 | 8.4 | 9.0 | 10.3 | 10.8 | 11.5 | 12.1 |
| | Patients treatment | funds allocated to treat (10 ⁶ rials) | 0.10 | 200 | 200 | 450 | 500 | 500 | 750 | 750 | 750 | 800 | 1000 | 1000 | 1200 | 1200 |



شکل ۳- نمودار روند مقادیر شاخص‌های مختلف برای هر یک از مؤلفه‌های DPSIR در دوره مطالعه ۲۰۰۷-۲۰۱۹

Fig 3. Trend chart of each DPSIR component (2007-2019)



ادامه شکل ۳
Fig 3 Continued

نتیجه گیری

در تحقیق انجام شده، روند زمانی غلظت و تعداد وقوع رویدادهای گرد و غبار و همچنین، رابطه‌های علت و معلولی منجر به این پدیده، با استفاده از چارچوب DPSIR در منطقه هندیجان مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج آماری تحقیق نشان داد که غلظت و همچنین، روزهای غبارآلود این منطقه، در طول سال‌های تحقیق، افزایش یافته است. در نتیجه این افزایش، هوا در منطقه هندیجان برای زمان‌هایی که غلظت گرد و غبار بالاست،

کیفیت خوبی ندارد که باعث مشکلات تنفسی بی‌شماری برای ساکنین منطقه شده است. به نحوی که این منطقه بیش از یک دهه تحت تأثیر طوفان‌های ماسه و گرد و غبار بوده است، اما شرایط در دهه اخیر به شدت وخیم‌تر شده است. خشک شدن رودخانه‌ها و تالاب‌ها در خوزستان، چشم‌انداز منطقه را تغییر داده است. هرگونه تغییر در سطح آب موجود در رودخانه‌ها، دما و میانگین بارش سالانه به زمین‌های خشک و بایر منجر شده است. علاوه بر این، خشکسالی و دمای بالا باعث از

و غیره) نیز روش‌های مختلف تثبیت خاک به‌شمار می‌روند که می‌توانند در کاهش انتشار عمودی گرد و غبار مؤثر باشند. در این خصوص، ذکر این نکته ضروری است که برخی پاسخ‌های به‌دست آمده از تحلیل علت و معلول در این تحقیق، در منطقه مورد مطالعه اجرایی شده و برخی اجرا نشده‌اند. پاسخ‌های اجرا شده شامل مواردی نظیر کاهش نرخ رشد جمعیت، افزایش بهره‌وری مصرف آب، استحصال آب، مدیریت سیلاب، مقابله با بیابان‌زایی، ترویج و ارتقاء شکل‌های دیگری از اشتغال که وابستگی کمتری به منابع آبخیز دارند و درمان بیماران مبتلا به مشکلات تنفسی هستند. مدیریت مناسب برای جایگزینی سایر قابلیت‌ها از جمله شیلات، آبی‌پروری، محصولات فرآوری‌شده کشاورزی و صنایع غذایی و همچنین، صنعت گردشگری همراه با اعمال فشار کمتر بر منابع آب و خاک منطقه می‌تواند رفاه و درآمد ساکنین منطقه را افزایش دهند.

اقدامات اجرا شده در منطقه مورد مطالعه که با هدف بهبود وضعیت گرد و غبار انجام شده، نشان‌دهنده آن است که اکثر اقدامات و پاسخ‌های انجام شده، یک رویکرد واکنشی (و نه پیشگیرانه) داشته‌اند. در این خصوص، ضروری است پاسخ‌ها (R) و اقدامات اجرایی در جهت کنترل مولفه‌های نیروهای محرکه (D) و فشارها (P) باشند تا کنترل وضعیت (S) و آثار (I) تا بدین ترتیب پاسخ‌ها از رویکرد واکنشی به رویکرد پیشگیرانه سوق داده شوند و وضعیت و اثرات نامطلوب مرتبط بهبود یابند. بر این اساس، اجرای ناقص پاسخ‌ها، دلیل دیگری برای عدم دستیابی به اهداف مدیریتی و نامطلوب بودن غلظت گرد و غبار و تعداد روزهای غبارآلود در منطقه مورد مطالعه است. بنابراین، لازم است که بر رویکرد فعالانه برای بهبود وضعیت گرد و غبار در هندیکان و تعدیل اثر فشارها و نیروهای محرکه که دلیل بروز این پدیده هستند، تمرکز شود. برنامه‌ها و گزینه‌های متعددی را می‌توان برای پاسخ‌های ارائه شده در این تحقیق پیشنهاد نمود. تدوین نهایی برنامه‌های عملیاتی برای هر یک از پاسخ‌های ارائه شده در این پژوهش مستلزم تحقیق در مورد سناریوها و اولویت‌بندی اجرای برنامه‌های مختلف است.

همچنین، از آنجا که پاسخ‌های ارائه شده در این تحقیق دارای ماهیتی چند رشته‌ای هستند، تحقق آن‌ها

بین رفتن پوشش گیاهی و تخریب لایه رویی خاک شده است، در زمان وقوع شرایط گرد و غبار، این عوامل می‌توانند باعث افزایش غلظت گرد و غبار و ذرات ماسه شوند. اتخاذ خط‌مشی‌های نامناسب، به‌خصوص در بخش‌هایی مانند کشاورزی و انرژی باعث کاهش و توقف حقایق در تالاب‌های پایین‌دست منطقه شده و آن‌ها را به مراکز گرد و غبار تبدیل نموده است. استفاده بیش از حد از آب، پروژه‌های ساخت سد و جلوگیری از حقایق تالاب‌ها به‌عنوان دلایل اصلی ایجاد مراکز گرد و غبار در محل مراتع و تالاب‌های منطقه شناخته شده‌اند.

در این تحقیق، چارچوب DPSIR، کشاورزی، صنعت، مرتعداری، تغییر اقلیم و رشد جمعیت به‌عنوان محرک‌های اصلی منطقه شناسایی شدند. همچنین، فشارهایی که ناشی از محرک‌ها هستند، شامل خشکسالی، رطوبت خاک، سرعت باد، بارش، استفاده بی‌رویه از منابع آبی (کشاورزی، صنعتی و خانگی)، تغییر کاربری اراضی، توسعه زیرساخت‌ها (جاده‌های خاکی)، چرای بیش از حد و کاهش پوشش گیاهی و ساخت سد هستند. این فشارها باعث افزایش تعداد روزهای غبارآلود و افزایش غلظت گرد و غبار در این منطقه شده‌اند که بروز گرد و غبار اثرات نامطلوبی بر مردم و محیط‌زیست در منطقه داشته‌اند. مهاجرت، مشکلات سلامتی به‌خصوص بیماری‌های تنفسی، کاهش درآمدهای روستایی و بیابان‌زایی به‌عنوان اثرات غیرمستقیم D و P در نظر گرفته شدند. به‌علت طیف وسیعی از اثرات خطرناک این وقایع، اتخاذ روش‌های پایدارسازی کارآمد و مؤثر برای مناطق به‌شدت فرسایش‌پذیر ضروری است.

فرایند DPSIR پاسخ‌های متعددی را جهت کاهش وضعیت گرد و غبار و اثرات آن‌ها از جمله پاسخ‌های پیش‌گیرانه (به مؤلفه‌های D و P اشاره دارد) و واکنشی (به مؤلفه‌های S و I اشاره دارد) شناسایی نمود. این پاسخ‌ها عبارتند از کاهش رشد جمعیت، افزایش بهره‌وری مصرف آب، استحصال آب، مدیریت سیلاب، مقابله با بیابان‌زایی، اشتغال‌های جایگزین که کمتر به منابع طبیعی حوضه وابسته باشند و درمان بیماران تنفسی، تثبیت خاک (مالچ‌پاشی، بوته‌کاری و غیره)، تثبیت‌کننده‌های سطحی (مالچ‌پاشی) و کاهش جریان وزش گرد و غبار (بادشکن‌ها، موانع بادی، پوشش گیاهی

جلوگیری از خشک شدن تالابها و ایجاد کانون گرد و غبار به‌ویژه در غرب شهرستان هندیجان و دقت در انتخاب گونه گیاهی مناسب و انجام عملیات بیابان‌زدایی (کاشت نهال، مالچ‌پاشی، احداث بادشکن) به‌دلیل همبستگی منفی بین عملیات بیابان‌زدایی و کاهش غلظت گرد و غبار پیشنهاد می‌شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از رساله دکتری رشته علوم و مهندسی آبخیزداری با عنوان "ارائه الگوی مدیریت جامع عرصه‌های تولید گرد و غبار در جنوب خوزستان با استفاده از مدل DPSIR، مطالعه موردی: شهرستان هندیجان" در دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات است و رفع قسمت اعظم نیازهای علمی در این تحقیق، بدون مساعدت مسئولین و اساتید بزرگوار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات و پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری امکان‌پذیر نبود که از آن عزیزان صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

مستلزم همکاری همه سازمان‌های مربوطه است. بنابراین، پژوهش برای حذف موانع مدیریت مشارکتی گرد و غبار، از جمله کاهش خلاءهای قانونی و ایجاد یک ساختار سازمانی مناسب توصیه می‌شود که می‌تواند به بهبود وضعیت گرد و غبار کمک نماید. استفاده از نتایج این تحقیق می‌تواند نگرش ارگان‌های ذی‌ربط را تغییر داده و باعث انجام اقدامات اجرایی مؤثر و پیشگیرانه برای بهبود وضعیت گرد و غبار در منطقه شود.

با توجه به نتایج، توجه به پاسخ بالا بردن راندمان آبیاری به‌دلیل همبستگی زیاد بین وضعیت غلظت گرد و غبار و عوامل فشار (میزان بارندگی، رطوبت خاک و بهره‌برداری از منابع آب) در منطقه پژوهش، توجه ویژه به توسعه سامانه‌های استحصال آب به‌دلیل وجود همبستگی منفی و زیاد با وضعیت گرد و غبار در طول سال‌های پژوهش، تأمین مناسب و پایدار منابع آبی با کاهش سدهای انحرافی پایین‌دست سدهای کوثر و آسک به‌دلیل افزایش غلظت گرد و غبار با افزایش عملیات انحراف سیلاب و احداث سدهای مخزنی و انحرافی از سال ۱۳۸۹، حقایق تالابها در منطقه با هدف

منابع مورد استفاده

- Abd El-Wahab, R.H., A.R. Al-Rashed, and A. Al-Dousari. 2018. Influences of physiographic factors, vegetation patterns and human impacts on aeolian landforms in arid environment. *Arid Ecosystems Journal*, 8(2): 97-110.
- Al-Dousari, A.M., A. Alsaleh and M. Ahmed. 2019. Off-road vehicle tracks and grazing points about soil compaction and land degradation. *Earth System Environmental Journal*, 3(3): 471-482.
- Al-Dousari, A.M., M.I. Ibrahim, N. Al-Dousari, M. Ahmed and S. Al-Awadhi. 2018. Pollen in aeolian dust with relation to allergy and asthma in Kuwait. *Aerobiological Journal*, 34: 325-336.
- Al-Dousari, A., K. Pye, A. Al-Hazza, F. Al-Shatti, M. Ahmed, N. Al-Dousari and M. Rajab. 2020. Nanosize inclusions as a fingerprint for aeolian sediments. *Journal of Nanoparticle Research*, 22: 1-15.
- Ashrafi, K., M. Shafiepour-Motlagh, A. Aslemand and S. Ghader. 2014. Dust storm simulation over Iran using HYSPLIT. *Journal of Environmental Health Science*, 12(9): 1-9.
- Bell, S. 2012. DPSIR: a problem structuring method? an exploration from the imagine approach. *European Journal of Operational Research*, 222: 350-360.
- Bidone, E.D. and L.D. Lacerda. 2003. The use of DPSIR framework to evaluate sustainability in coastal areas, case study: Guanabara Bay Basin, Rio de Janeiro, Brazil. *Regional Environmental Change*, 4: 5-16.
- Borja, A., I. Galparsoro and O. Solaun. 2006. The European water framework directive and the DPSIR, a methodological approach to assess the risk of failing to achieve good ecological status. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 66: 84-96.
- Broomandi, P., B. Dabir, B. Bonakdarpour and Y. Rashidi. 2017. Identification of the sources of dust storms in the city of Ahvaz by HYSPLIT. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 3: 341-348 (in Persian).
- Crooks, J.L., W.E. Cascio and M.S. Percy. 2016. Supplemental material the association between dust storms and daily non-accidental mortality in the United States, *Environmental Health Perspectives*, 1993-2005.
- EEA. 1995. Europe's environment. The Dobris Assessment. European Environmental Agency, Copenhagen, 8 pages.

- El-Askary, H., R. Gautam, R.P. Singh and M. Kafatos. 2006. Dust storm detection over the Indo-Gangetic Basin using multi-sensor data. *Advances in Space Research*, 37: 728–733.
- Elliott, M., 2002. The role of the DPSIR approach and conceptual models in marine environmental management: an example for offshore wind power. *Pollution Bulletin*, 6: iii–vii.
- Englert, N. 2004. Fine particles and human health a review of epidemiological studies: *Toxicology Letters Journal*, 149: 235-242.
- Feng, Q., K. Endo and G. Cheng. 2002. Dust storms in China: a case study of dust storm variation and dust characteristics. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 61: 253–261.
- Friend, A.M. and D.J. Rapport. 1991. Evolution of macro-information systems for sustainable development. *Ecological Economics*, 3: 59–76
- Gari, S.R., A. Newton and J.D. Icely. 2015. A review of the application and evolution of the DPSIR framework with an emphasis on coastal social-ecological systems. *Ocean Coastal Management*, 103: 63–77.
- Gari, S.R., C.E.O. Guerrero and B. Uribe. 2018. A DPSIR-analysis of water uses and related water quality issues in the Colombian alto and medio dagua community council. *Water Science Journal*, 32: 318–337.
- Goudie, A.S. 2014. Desert dust and human health disorders. *Environment International Journal*, 63: 101–113.
- Haase, D. and H. Nuissi. 2007. Does urban sprawl drive changes in the water balance and policy? the case of Leipzig (Germany) 1870–2003. *Landscape Urban Planning Journal*, 80: 1–13.
- Kagalou, I., I. Leonardos and C. Anastasiadou. 2012. The DPSIR approach for an integrated river management framework. A preliminary application on a Mediterranean site (Kalamas River–NW Greece). *Water Resource Management*, 16 pages.
- Kang, J.H., J.J. Keller and C.S. Chen. 2012. Asian dust storm events are associated with an acute increase in pneumonia hospitalization. *Epidemiol Community Health*, 22: 257–263.
- Kathuria, V. 2002. Vehicular pollution control in Delhi. *Transportation Research Part D, Transport and Environment Journal*, 7: 373-387.
- Khaniabadi, Y.O., S.M. Daryanoosh and A. Amrane. 2017. Impact of Middle Eastern dust storms on human health. *Atmospheric Pollution Research*, 8(4): 606– 613.
- Klingmuller, K., A. Pozzer and S. Metzger. 2016. Aerosol optical depth trend over the Middle East. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16: 5063–5073.
- Krewski, D., R. Burnett and M. Jerrett. 2005. Mortality and long-term exposure to ambient air pollution: ongoing analyses based on the American Cancer Society cohort. *Journal of Toxicol Environmental Health Part A*, 68: 1093–1109
- Lalande, N., F. Cernesson, A. Decherf and M.G. Tournoud. 2014. Implementing the DPSIR framework to link water quality of rivers to land use: methodological issues and preliminary field test. *International Journal of River Basin Management*, 12: 201–217
- Lee, J.T., J.Y. Son and Y.S. Cho. 2007. A comparison of mortality related to urban air particles between periods with Asian dust days and without Asian dust days in Seoul, Korea, 2000–2004. *Environmental Research*, 105: 409–413.
- MAJ. 2019. Agricultural statistics data. Ministry of Jihad-e-Agriculture of the Islamic Republic of Iran. Bureau of Statistics, 112 pages.
- Marshall, J.H., M. Hobby and C.J.T. Allen. 2013. Meteorology and dust in the central Sahara: observations from fennec supersite-1 during the June 2011 intensive observation period. *JCR Atmospheres*, 118:4069–4089.
- Mosaffaie, J., A. Salehpour Jam and M.R. Tabatabaei. 2021. Trend assessment of the watershed health based on DPSIR framework. *Land Use Policy*, 100: 104911.
- Mosaffaie, J. and A. Salehpour Jam. 2018. Economic assessment of the investment in soil and water conservation projects of watershed management. *Arabian Journal Geosciences*, 11: 368.
- Mosaffaie, J. 2016. Application of artificial neural network, multiple-regression and index-flood techniques in regional flood frequency estimation. *International Journal of Water*, 10: 328–342.
- Mosaffaie, J., M.R. Ekhtesasi and M.T. Dastorani. 2015. Temporal and spatial variation of the water erosion rate. *Arabian Journal Geosciences*, 8(8): 5971–5979.
- MPOKP. 2019. Statistical yearbooks of Khuzestan Province. Management and Planning Organization of Khuzestan Province, 23.
- Namaalwa, S., A.A. Van dam and A. Funk. 2013. Characterization of the drivers, pressures, ecosystem functions, and services of Namatala Wetland, Uganda. *Environmental Science Policy*, 34: 44-57.
- Neelamani, S. and A. Al-Dousari. 2016. A study on the annual fallout of the dust and the associated elements into Kuwait Bay, Kuwait. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(3): 210.

- Neophytou, A.M., P. Yiallourous and B.A. Coull. 2013. Particulate matter concentrations during desert dust outbreaks and daily mortality in Nicosia, Cyprus. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 23: 275–280.
- Nourmoradi, H., Y.O. Khaniabadi and G. Goudarzi. 2016. Air quality and health risks associated with exposure to particulate matter: a cross-sectional study in Khorramabad, Iran. *Health Scope*, 5(2): e31766
- OECD. 1993. OECD core set of indicators for environmental performance reviews. Organization for Economic Cooperation and Development, Paris, France, 93 pages.
- PBO. 2019. Analysis of the results of a general census of population and housing. Plan and Budget Organization of Iran, 13.
- Rezaei, M., A. Salimi and M. Taghidust. 2014. A comparison of toxicity mechanisms of dust storm particles collected in the southwest of Iran on lungs and skin using isolated mitochondria. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 96: 814–830.
- Salhepour Jam, A., J. Mosaffaie and M.R. Tabatabaei. 2021. Assessment of comprehensiveness of soil conservation measures using the DPSIR framework. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193: 42.
- Shahsavani, A., A. Tobias and X. Querol. 2020. Short-term effects of particulate matter during desert and non-desert dust days on mortality in Iran. *Environment International Journal*, 134.
- Shao, C., Y. Guan, C. Chu, R. Shi, M. Ju and J. Shi. 2014. Trends analysis of ecological environment security based on DPSIR model in the coastal zone: a survey study in Tianjin, China. *International Journal of Environmental Research*, 8(3): 765-778.
- Sun, S., Y. Wang and J. Liu. 2016. Sustainability assessment of regional water resources under the DPSIR framework. *Journal of Hydrology*, 532: 140–148.
- Tobias, A., L. Perez, J. Diaz, C. Linares, J. Pey, A. Alastruey and X. Querol. 2011. Short-term effects of particulate matter on total mortality during Saharan dust outbreaks: a case-crossover analysis in Madrid (Spain). *Science of the Total Environment*, 412–413: 386–389.
- WHO. 2006. Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide. Global update 2005. Summary of risk assessment World Health Organization Regional Office for Europe, 20 pages.
- Zaldívar, J-M., P. Viaroli and A. Newton. 2008. Eutrophication in transitional waters: an overview. *Transitional Waters Monographs*, 2: 1–78.
- Zauli Sajani, S., R. Miglio and P. Bonasoni. 2011. Saharan dust and daily mortality in Emilia-Romagna (Italy). *Occupational and Environmental Medicine (OEM)*, 68: 446–451.