

Provision of early Desertification Warning System based on Climate and Groundwater Criteria Study area: Aq Qala and Gomishan counties

Abdolhossein Boali¹, Hamid Reza Asgari^{2*}, Ali Mohamadian Behbahani³,
Abdolrassoul Salmanmahiny⁴, Babak Naimi,⁵

1. Ph.D Student in Desert Regions Management ,University of Agriculture and Natural Recourses Sciences of Gorgan.
2. Associate Professor of Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
3. Assistant Professor, of Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
4. Professor of Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
5. Assistant Professor, Department of Geosciences and Geography, The University of Helsinki



Boali1, A & Asgari, H R & Mohamadian Behbahani, A & Salmanmahiny, A R & Naimi, B. (2021). [Provision of early Desertification Warning System based on Climate and Groundwater Criteria Study area: Aq Qala and Gomishan counties]. *Geography and Development*, 19(63), 285-306.

doi: <http://dx.doi.org/10.22111/J10.22111.2021.6204>

Received: 11/07/2020
Accepted : 19/10/2020

ABSTRACT

In this research, the desertification process is evaluated using 3 climate indicators and 4 groundwater indices in the form of a modal model in a period of 20 years (2008-2017) in the west of Golestan province with the aim of providing a desertification warning system. Then, by determining the threshold limits for the influential indicators in the desertification process of the region, the desertification early warning system was presented based on four indicators. The results of the index change the trend showed that drought indices, total soluble materials, electrical conductivity, and groundwater depth had the greatest impact on desertification in the region, respectively. Desertification warning maps have shown an increase in drought indicators, total solubility, and electrical conductivity from west to east. Also, the groundwater depth index in the central areas has the highest warning range. According to the results obtained from monitoring desertification indicators, the electrical conductivity index during the years 1999, 2001, 2004 to 2006 and 2009, the Total dissolved solids index in the years 1998, 1999, 2001, 2004, 2006 and 2007, Groundwater depth index of 2001, 2002, 2006, 2008 and 2014, Finally, the drought index is in the warning range during the years 1999 to 2003, 2006 to 2008, 2011, 2014, 2015 and 2016. Irrigated lands, drylands and wetlands in the East region affected by desertification warning have been that on this basis is suggested for better management of the land, the threshold defined in this study as the basis for the work to be placed.

Keywords:
MEDALUS,
Desertification,
Aq Qala and Gomishan,
Warning system,
Management.

Copyright©2021, Geography and Development. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-noncommercial 4.0 International License which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.

Extended Abstract

1. Introduction

Today, desertification is recognized as one of the major forms of environmental degradation and a widespread and very serious problem

around the world. Desertification assessment will be done based on the diagnosis and determination of suitable criteria and indicators related to the biophysical, economic and social parts and effective factors in the processes identify and parameters involved in land degradation. By identifying the criteria and indicators for each region, and also, the monitoring of them during periods of time, it is possible to analyze time series data to identify the main causes of desertification and its effects, as well as the development and innovation of initial warning systems of desertification. In other words, it can be said that criteria, indicators, monitoring, evaluation and early warning systems are

*Corresponding Author:

Seyed Skandar Seidaiy
Address: Department of of Geography and Rural Planning, University of Isfahan
Tel: +98 (9131098975)
E-mail: s.seidiy@geo.ui.ac.ir

considered as inseparable components of a comprehensive desertification system. The structure of the forecasting system is based on the main components of ISDR: assessing the severity of desertification, monitoring, setting warning zones, and finally presenting management strategies to reduce the impact of desertification risk. This region is its uniqueness in terms of desert phenomena and desertification impacts at country and Caspian coastal basins scales. This study was evaluated in the west of Golestan province with the aim of providing a desertification warning system and desertification was compared in two 10-year periods.

2. Methods and Material

In this study, first the desertification process was evaluated using 3 climatic criteria and 4 groundwater criteria in the form of Modalus model in a period of 20 years (2017-2008) in the west of Golestan province. Desertification of the region was also compared in two 10-year periods. Then, by determining the threshold limits for the influential indicators in the desertification process of the region, the desertification early warning system was presented based on 4 indicators.

3. Results and Discussion

After performing the necessary analyzes on the information obtained from the region, based on the Medalus model, desertification intensity was calculated for each of the groundwater and climate criteria. The results of the index change trend showed that drought indices (162), total soluble materials (147), electrical conductivity (145) and groundwater depth (127) had the greatest impact on desertification in the region, respectively. Desertification warning maps have shown an increase in drought indicators, total solubility and electrical conductivity from west to east. Also, the groundwater depth index in the central areas has the highest warning range. According to the results obtained from monitoring desertification indicators, the electrical conductivity index during the years 1999, 2001, 2004 to 2006 and 2009, the Total dissolved solids index in the years 1998, 1999, 2001, 2004, 2006 and 2007, Groundwater depth index of 2001, 2002, 2006, 2008 and 2014, Finally, the drought index is in the warning range during the years 1999 to 2003, 2006 to 2008, 2011, 2014, 2015

and 2016. Irrigated lands, dry lands and wetlands in the East region affected by desertification warning.

4. Conclusion

In this research, an attempt was made to collect and present the principles of setting up an early desertification warning system in the region. Due to the fact that the initial desertification warning system is a new concept, it is necessary to test it in several parts of the country and after finalization, it will be used as a new initiative throughout the country. In general, the main purpose of providing such systems is to warn of the possibility of danger to people at risk of land degradation and its potential effects, and in fact, by providing information, it helps to reduce economic losses. Early warning information triggers actions when danger approaches, and if risk assessment studies and operational and communication plans are integrated and coordinated, early warning systems can bring substantial benefits. Therefore, it is suggested that in order to better manage the lands in the study area, the thresholds set in this study should be used as a basis.

Keywords: MEDALUS, Desertification, Aq Qala and Gomishan, Warning system, Management.

5. References

- Akbari, M, Ownegh, M., Asgari, H.R. Sadoddin, A &Khosravi H (2016). Design &Development of Early Warning System for Desertification and Land Degradation. *Environmental Resources Research*. 4 (2):112-129.
https://ijerr.gau.ac.ir/article_3410.html
- Arami, Abdol Hossein (2013). Risk assessment, damage and development of desert management plan in Aqband semi-arid region, Golestan province, Master Thesis in Desert Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 216.
<https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/315b403e4d122ffc193ac3c34ccc8f8a>
- Ahmadi, Hassan; Mohammad Reza Ekhtsaci; Ali Golkarian; Elham abrishami.(2006). Evaluation and preparation of desertification map using modified Modalus model in Fakhrabad region of Mehriz, Yazd, *Journal of the Faculty of Natural Resources*, Volume 59, Number 3, 519-532
<http://panel.agriis.ir/Attachments/Files/529201552664313691.pdf>

- Boali, A., Bashari, H. and Jafari, R (2018). Evaluating the potential of Bayesian networks for desertification assessment in arid areas of Iran. *Land Degradation & Development*. 30(4): 371- 390.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ldr.3224>
- Boali, Abdol Hossein; Hossein Bashari; Reza Jafari; Mohsen Soleimani (2017). Potential of Bayesian belief networks to evaluate the impact of soil quality criteria on desertification in the Segzi plain area of Isfahan. *Journal of Soil and Water Sciences (Agricultural Science and Technology and Natural Resources)* Year 21, No. 2, 15-28.
<https://jstnar.iut.ac.ir/article-1-2825-fa.html>
- Balis, B., Bartynski, T., Bubak, M., Dyk, G., Gubala, T., & Kasztelnik, M (2013). A development and execution environment for early warning systems for natural disasters. In *Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid)*, 2013 13th IEEE/ACM International Symposium on (575-582).
<https://dl.acm.org/doi/abs/10.1109/CCGrid.2013.101>
- Grasso, F. V (2012). *Early Warning Systems, State-of-Art Analysis and Future Directions*, Draft report, United Nations Environment Programme (UNEP). 66 .
http://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/onu/newsletter12/883_eng.pdf
- Hosseini, Seyed Mahmoud; Mohammad Reza Ekhtsaci; Ali Reza Shahriari; Hamed Shafiee (2010). Investigation of actual and potential desertification status with emphasis on wind erosion criteria by MICD method (Case study: Niatak region of Sistan), *Journal of Rangeland and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources*, Vol. 63, Number 2, 165-181.
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=131877>
- Kosmas, C., Kirkby, M. J., & Geeson, N (1999). *The Medalus Project: Mediterranean desertification and land use: Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification*. European Commission, Brussels.
https://www.researchgate.net/publication/262374822_Methodology_for_mapping_Environmentally_Sensitive_Areas_ESAs_to_desertification
- Khosravi, Hassan (2011). *Presenting a monitoring model and early warning system for desertification*, PhD thesis, University of Tehran, Faculty of Natural Resources, Karaj. 127 .
- Moghaddam, M. H., Sedighi, A., Fasihi, S., & Karimi., M (2018). Effect of environmental policies in combating aeolian desertification over Sejzy Plain of Iran. *Aeolian Research*. 35:19-28.
<https://daneshyari.com/article/preview/11028527.pdf>
- Masoudi, Reyhaneh (2011). *Desertification early warning system based on two factors: water and climate (Case study: Kashan plain)*. Master Thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran.
<https://civilica.com/doc/322481/>
- Mohammadifar, Fahimeh (2017). *Quantitative and qualitative zoning of groundwater using geostatistics in a part of Gorgan plain*. Master Thesis, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources.
<https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/47ff37e77df99d1a3a933f4f3b95a774>
- Nunez, M., Pablo, p., Rieradevall, A., & Antón, A. J (2009). Assessing potential desertification environmental impact in life cycle assessment .*Int J Life Cycle Assess*, 15:67-78.
<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/93536>
- Nafar, Fatemeh (2019). *Evaluation and comparison of Madalus model and remote sensing in estimating desertification of Sefid Sefid-Borujen basin*. Master Thesis. Shahrekord University.
<https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/fe8e364f5f68aa9ad73309772f9b829b>
- Rahdari, Gholam Reza; Ali Akbar Fakhira; Ali Reza Shahriari; Hassan Khosravi (2014). *Modeling land degradation assessment and providing early desertification warning system*. *Journal of Desert Ecosystem Engineering*, (5) 3, 63-71.
<https://deej.kashanu.ac.ir/article-1-184-fa.html>
- Sharifabad, Javad (2017). *Presenting a monitoring model and desertification risk forecasting system (case study of Yazd Ardakan plain)*. Ph.D. Thesis. Hormozgan University, Faculty of Agriculture & Natural Resources.
<https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/1891cb8ed542ff966592d8d87b451c31>
- Tiexin, C., Yiwang, W., & Yuefeng, S (2010). *Development and application of tender evaluation decision-making and risk early warning system for water projects based on KDD*. *Advances in Engineering Software*.34 (48) 58-69.
<https://dl.acm.org/doi/abs/10.1016/j.advengsoft.2012.02.003>
- Timothy, M. (2013). *What early warning systems are there for environmental shocks environment I science & policy*. 27 (6) 0-75.
https://www.researchgate.net/publication/257587877_What_early_warning_systems_are_there_for_environmental_shocks
- UNEP (2012). *Early Warning Systems. A State of the Art Analysis and Future Directions*. Division of Early Warning and Assessment (DEWA), United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi.
https://na.unep.net/siouxfalls/publications/early_warning.pdf
- Zehtabian, Gholam Reza; Hassan Ahmadi; Hassan Khosravi; Ammar Rafiei (2004). *Method of preparing desertification map using Madalus model in Iran*. *Desert Magazine*. Volume 10. 205-223.
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=32719>

ارائه سیستم هشدار اولیه بیابان‌زایی مبتنی بر معیار اقلیم و آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه: شهرستان آق‌قلا و گمیشان

عبدالحسین بوعلی^۱، دکتر حمیدرضا عسگری^{۲*}، دکتر علی محمدیان بهبهانی^۳
دکتر عبدالرسول سلمان ماهینی^۴، دکتر بابک نعیمی^۵

چکیده

امروزه بیابان‌زایی به‌عنوان یکی از اشکال عمده تخریب محیط‌زیست و یک مشکل فراگیر و بسیار جدی در سراسر جهان شناخته شده‌است. در این تحقیق نخست روند بیابان‌زایی با استفاده از ۳ شاخص اقلیم و ۴ شاخص آب زیرزمینی در قالب مدل مدالوس در یک دوره ۲۰ ساله (۱۳۸۷-۱۳۹۶) در غرب استان گلستان با هدف ارائه سیستم هشدار بیابان‌زایی مورد ارزیابی قرار گرفته و بیابان‌زایی در دو دوره ۱۰ ساله مورد مقایسه قرار گرفت. سپس با تعیین حدود آستانه‌ای برای شاخص‌های تأثیرگذار در روند بیابان‌زایی منطقه، سیستم هشدار اولیه بیابان‌زایی برپایه ۴ شاخص ارائه شد. نتایج به‌دست‌آمده از بررسی روند تغییرات شاخص‌ها نشان داد که به‌ترتیب شاخص‌های خشکی (۱۶۲)، کل مواد محلول (۱۴۷)، هدایت الکتریکی (۱۴۵) و عمق آب زیرزمینی (۱۲۷) بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه داشته‌اند. نقشه‌های هشدار بیابان‌زایی نشان از روند افزایشی غربی- شرقی شاخص‌های خشکی، کل مواد محلول و هدایت الکتریکی در منطقه داشته و شاخص عمق آب زیرزمینی نیز در نواحی مرکزی بیشترین محدوده هشدار را دربر گرفته‌اند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از پایش شاخص‌های بیابان‌زایی، شاخص هدایت الکتریکی طی سال‌های ۱۳۷۸، ۱۳۸۰، ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۶ و ۱۳۸۸، شاخص کل مواد محلول سال‌های ۱۳۷۷، ۱۳۷۸، ۱۳۸۰، ۱۳۸۲، ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶، شاخص عمق آب زیرزمینی سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۸۱، ۱۳۸۵، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۳ و در نهایت شاخص خشکی طی سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۲، ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۷، ۱۳۹۰، ۱۳۹۳، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۶ در محدوده هشدار قرار گرفته‌است. کاربری‌های اراضی آبی، دیم و تالاب‌ها در شرق منطقه تحت تأثیر هشدار بیابان‌زایی قرار گرفته‌اند؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود در جهت مدیریت بهتر این اراضی، آستانه‌های تعیین‌شده در این تحقیق مبنای کار قرار داده شود.

جغرافیا و توسعه، شماره ۶۳، تابستان ۱۴۰۰

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۴/۲۱

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۷/۲۸

صفحات: ۲۸۵-۳۰۶



واژه‌های کلیدی:

مدالوس، بیابان‌زایی، آق‌قلا و گمیشان، سیستم هشدار بیابان‌زایی.

مقدمه

بیابان‌زایی به‌عنوان یک نگرانی زیست‌محیطی و تأثیر آن بر کشورهای مواجه با خشکسالی، در کنفرانس اجلاس زمین در ریو (۱۹۹۲)، مطرح و باعث برگزاری مذاکرات مختلف تا رسیدن به امضای تعهدنامه کنوانسیون سازمان ملل متحد برای مقابله با بیابان‌زایی توسط کشورهای عضو ملل متحد شد. در این کنوانسیون معیارها و شاخص‌ها، نظارت بر روند بیابان‌زایی، ارزیابی و سیستم‌های پیش‌آگاهی، به‌عنوان اجزای جدایی‌ناپذیر از رویکرد جامع مدیریت خشکسالی و

امروزه بیابان‌زایی به‌عنوان یکی از اشکال عمده تخریب محیط‌زیست و یک مشکل فراگیر و بسیار جدی در سراسر جهان شناخته شده‌است. این پدیده سالانه ۴۲ میلیارد دلار به اقتصاد جهانی زیان رسانده و حدود دو میلیارد نفر از مردم جهان را متأثر ساخته و سالانه مهاجرت پنج میلیون نفر از شهر و کاشانه خود را سبب می‌شود (حسینی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۷۱ و بوعلی و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۳). اهمیت موضوع

۱- دانشجوی دکتری مدیریت و کنترل بیابان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۲- دانشیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران (نویسنده مسئول)

۳- استادیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۴- استاد گروه محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۵- استادیار گروه جغرافیا و علوم زمین، دانشگاه هلسینکی، فنلاند

Hossien.boali@yahoo.com

Hamidreza.asgari@gau.ac.ir

Mohammadian@gau.ac.ir

Mahini@gau.ac.ir

Naimi.b@gmail.com

کردند و درنهایت، از نسبت عرضه و تقاضا برای پیش‌بینی عرضه و تقاضای اجتماعی-اقتصادی آب استفاده شده‌است و یک شبیه‌سازی برای آن تحت سناریویی از کمبود آب محقق شد (Tiexin et al., 2010: 60). تیموسی و لنتون^۳ در مطالعه خود یک طبقه‌بندی جدید نسبت به شوک‌های محیطی به‌دست آمده از سیستم‌های دینامیک ارائه کردند و همچنین، سیستم‌های هشدار اولیه را نسبت به شوک‌های زیست‌محیطی به‌طور خاص در سیستم‌های اقلیمی و اکوسیستمی بررسی کرد. او همچنین سه دسته از شوک‌های محیط‌زیستی را حوادث شدید، نوسانات ناگهانی و نقاط اوج ذکر کرد. ارزیابی بیابان‌زایی براساس تشخیص و تعیین معیارها و شاخص‌های مناسب فیزیکی، بیولوژیک، اقتصادی-اجتماعی و عوامل مؤثر در تخریب اراضی عملی می‌شود (Timothy & Lenton, 2013: 10). با مشخص شدن معیارها و شاخص‌ها و پایش آن‌ها در طی دوره‌های زمانی امکان تجزیه و تحلیل داده‌های سری زمانی برای پی‌بردن به عوامل اصلی بیابان‌زایی و اثرات ناشی از آن ارائه و توسعه سیستم‌های هشدار اولیه بیابان‌زایی را فراهم می‌سازد (Nunez et al, 2009: 70). در حال حاضر به‌طور کامل و دقیق نظام و سامانه‌ای برای پایش تغییرات معیارها و شاخص‌های پایداری عرصه در کشور وجود نداشته یا عملیاتی نشده‌است؛ بنابراین تا زمانی که عرصه کاملاً تخریب نشده، هیچ برنامه یا عکس‌العملی نیز برای کنترل عامل تخریب یا معکوس کردن روند آن درپیش گرفته نمی‌شود (Boali et al, 2018:375).

در این رابطه می‌توان به تعدادی از این پروژه‌ها (صرفاً باهدف پایش) در کشور اشاره کرد: سیستم پایش‌آگاهی سیل وزارت نیرو، سیستم پایش‌آگاهی زلزله پژوهشکده سوانح و حوادث طبیعی و سیستم

بیابان‌زایی با ویژگی‌های زمانی-مکانی آن‌ها مشخص شد (Grasso, 2012: 55). تعاریف بسیاری از سیستم‌های هشدار اولیه برای هدایت اقدامات افراد، گروه‌ها و دولت‌ها وجود دارد. تعریف رسمی دبیرخانه کاهش مخاطرات طبیعی سازمان ملل به این شرح است: ارائه اطلاعات به‌موقع و مؤثر از طریق نهادهای شناسایی که به افراد در معرض خطر برای جلوگیری، کاهش خطر و آماده‌شدن برای پاسخ فرصت می‌دهد (UNEP, 2012: 66). ویژگی‌های یک سیستم هشدار شامل استمرار در عملکرد، هشدارهای به‌موقع، شفافیت، یکپارچگی، انعطاف‌پذیری و غیرسیاسی بودن است (راهداری و همکاران، ۱۳۹۳: ۶۵). بسیاری معتقدند که سیستم‌های پیش‌هشدار یک فرایند اجتماعی برای تولید حداکثر اطلاعات دقیق درباره حوادث احتمالی در آینده است (شریف‌آباد، ۱۳۹۶: ۲۵).

یک سیستم هشدار اولیه یک سیستم یکپارچه برای نظارت، جمع‌آوری، تجزیه و تحلیل، تفسیر و انتقال داده‌ها است که بعد از آن می‌تواند برای تصمیم‌گیری درجهت حفظ سلامت جامعه و محیط‌زیست و به حداقل رساندن نگرانی‌ها و ناراحتی‌های جامعه مورد استفاده قرار بگیرد (Moghaddam et al, 2018:22). سیستم‌های پیش‌آگاهی، سیستم‌های پیچیده‌ای از ویژگی‌های برنامه‌های سازمانی مانند نظارت مستمر بر تغییر پدیده‌ها، مأموریت، واکنش و استراتژی‌های زمان بحران و برنامه‌های کاربردی-علمی هستند (Balis et al, 2013:580). باید اشاره کرد مطالعات اندکی در ارتباط با سیستم هشدار اولیه بیابان‌زایی در خارج و داخل کشور انجام شده و اکثر مطالعات در ارتباط با سایر مخاطرات است. تیکسیم^۱ و همکاران (۲۰۱۰) یک سیستم هشدار اولیه را برای کمبود آب براساس مدل^۲ KDD و با استفاده از نرم‌افزار Stella ارائه

1-Tiexin

2-Knowledge Discovery in Database

3-Timothy and Lenton

ارائه مدل‌های مختلف بیابان‌زایی است. مدل مدالوس^۱ از جمله مدل‌هایی است که به نحو وسیعی در ارزیابی بیابان‌زایی در کشورهای مختلف و از جمله ایران استفاده شده است (احمدی و همکاران، ۱۳۸۵: ۵۲۳). نفر در مطالعه‌ای در جهت ارزیابی بیابان‌زایی حوضه آبخیز سفیددشت- بروجن به مساحت ۹۲۵۶۵ هکتار، واقع در استان چهارمحال و بختیاری، از مدل مدالوس استفاده کرد. نتایج نشان داد که معیار اقلیم با امتیاز ۱/۸۰ در دو کلاس شدید و خیلی شدید، بیشترین نقش را در بیابان‌زایی منطقه دارد. وضعیت معیار مدیریت و سیاست، پوشش گیاهی و خاک منطقه به ترتیب با امتیاز ۱/۷۶، ۱/۷۱ و ۱/۵۵ در دو کلاس شدید و خیلی شدید، آب زیرزمینی در کل سطح منطقه با امتیاز ۱/۳۳ در کلاس متوسط قرار گرفت. در نهایت مشخص شد که ۵۶ درصد منطقه با وضعیت بیابان‌زایی شدید و ۴۴ درصد با وضعیت خیلی شدید مواجه است (نفر، ۱۳۹۸: ۶۶). بنابراین، در این تحقیق نیز از مدل MEDALUS استفاده شده است. این مدل از روش‌های ارزیابی بیابان‌زایی چندعامله است که در اکثر کشورهای حاشیه دریای مدیترانه و خاورمیانه اجرا شده و نتایج مثبتی به دنبال داشته است؛ بنابراین به دلیل سازگاری این مدل با شرایط بیابانی، استفاده از قابلیت GIS و سنجش‌ازدور در تعیین نقشه‌ها و امکان تجزیه و تحلیل آن‌ها، در جهت ارائه سیستم هشدار بیابان‌زایی و تعیین مناطق بحرانی و غیربحرانی در گسترش بیابان‌زایی مناطق دشتی غرب استان گلستان استفاده شد. در منطقه مورد مطالعه با توجه به اقلیم نیمه‌خشک، خشکسالی‌های اخیر و به دلیل محدودیت منابع آب و همچنین مصارف بالای آب در بخش‌های شرب و کشاورزی، ضرورت دارد با بررسی وضعیت اقلیمی و تغییرات کمی و کیفی آب، مشکلات موجود شناسایی و با انجام تدابیر مناسب، سبب کاهش

پیش‌آگاهی خشکسالی کشاورزی پایگاه ملی مدیریت خشکسالی کشاورزی وابسته به مؤسسه تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور؛ اما در زمینه مطالعات پیش‌آگاهی بیابان‌زایی نیز می‌توان به تحقیقاتی از جمله اکبری و همکاران اشاره کرد. یک سیستم پیش‌آگاهی خطر بیابان‌زایی را در دشت گرگان ارائه کرد. در این سیستم خطر بیابان‌زایی با استفاده از مدل ایرانی بیابان‌زایی ارزیابی می‌شود. مناطق تحت هشدار در این مطالعه از طریق حد آستانه‌های محیطی مشخص شدند و برنامه‌های راهبردی پیشگیری و کنترل بیابان پیشنهاد شد (Akbari et al, 2016: 115). خسروی (۱۳۹۱) در قالب رساله دکتری با استفاده از مدل IMDPA و با نرم‌افزار GIS و با تأکید بر معیارهای اقلیم، زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی، منابع آب و پوشش گیاهی، روند و اثر تغییرات معیارها و شاخص‌های پایش بیابان‌زایی دشت کاشان را در چهار دوره زمانی بررسی کرد و در جهت ارائه سیستم هشدار اولیه بیابان‌زایی، اطلاعات معیارها و شاخص‌های بیابان‌زایی (خروجی پایش)، طی یک دوره ۹ ساله به‌طور سیستماتیک جمع‌آوری و آنالیز شد و در نهایت با توجه به معیارها و شاخص‌های اثرگذار در بیابان‌زایی، برای هر شاخص آستانه قابل تحمل تعریف شد (خسروی، ۱۳۹۱: ۱۲۷). مسعودی (۱۳۸۹) به منظور ارائه سیستم هشدار اولیه بیابان‌زایی در دشت کاشان، به مطالعه بر روی دو معیار آب و اقلیم پرداخت. وی با استفاده از مدل IMDPA و با نرم‌افزار GIS سیستم هشدار را در قالب دو بُعد سخت‌افزاری و نرم‌افزاری تعریف کرد. پس از ارزیابی بیابان‌زایی به این نتیجه رسید که معیار آب با ارزش عددی ۳/۳۶ بیشترین تأثیر را در شدت بیابان‌زایی منطقه داشت و در کلاس شدید قرار گرفت (مسعودی، ۱۳۸۹: ۳۲). به منظور پی‌بردن به نقش عوامل مؤثر بر بیابان‌زایی و پتانسیل بیابان‌زایی، تحقیقات زیادی انجام شده که حاصل آن

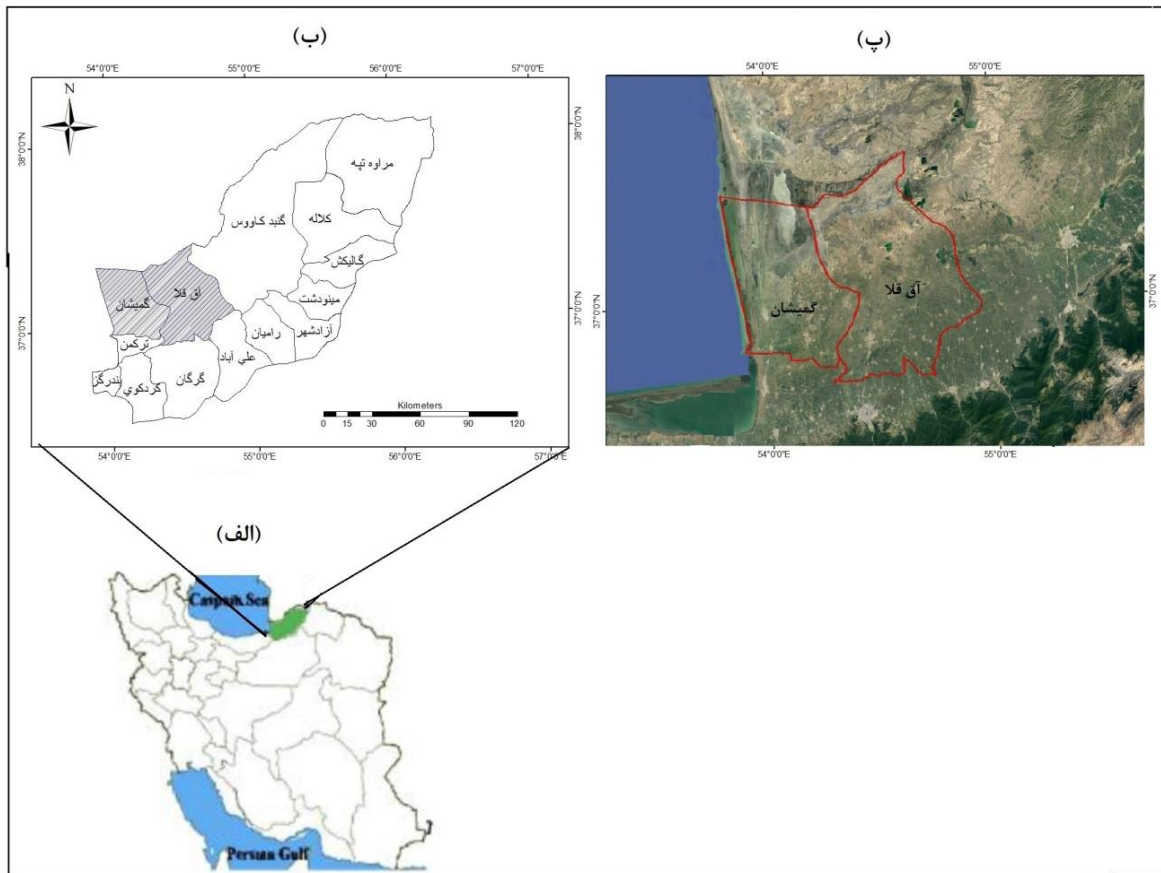
خطرات زیست‌محیطی شود؛ بنابراین با توجه به اهمیت موضوع، هدف از پژوهش حاضر بررسی روند تغییرات پارامترهای اقلیمی و کمیت و کیفیت آب زیرزمینی در بازه زمانی ۲۰ ساله با استفاده از مدل مدالوس در جهت ارائه سیستم هشدار بیابان‌زایی در منطقه غرب استان گلستان است. نتایج این پژوهش می‌تواند به‌عنوان ابزاری کارآمد و مناسب در راستای کاهش اثرات تخریب زمین و توسعه بیابان‌زایی مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه (غرب استان گلستان) در جنوب شرقی بزرگ‌ترین دریاچه جهان (دریای کاسپین) و در جنوب‌غربی بیابان قره‌قوم ترکمنستان واقع شده است، به‌طوری‌که همواره از دو منبع رطوبتی و خشکی یاده شده متأثر است. منطقه طی ادوار گذشته در معرض فرونشینی، پیش‌روی و پس‌روی‌های مکرر آب دریای خزر و سایر رخدادها از جمله طوفان‌های بادی

(عامل نهشته‌های لسی منطقه) و سیلاب‌های عظیم قرار داشته است. منطقه مورد مطالعه با مساحتی در حدود ۳۰۹۴ کیلومتر مربع در شمال غرب استان گلستان (شهرستان‌های آق‌قلا و گمیشان) واقع شده و دارای مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی است. این منطقه، از شمال به اراضی کویری و پلایایی کشور ترکمنستان، از غرب به جلگه ساحلی دریایی خزر، از جنوب به شهرستان‌های گرگان و بندر ترکمن و از شرق به شهرستان گنبد کاووس محدود می‌شود. بلندترین نقطه در منطقه با ارتفاعی در حدود ۳۰۸۸ متر از سطح آب‌های آزاد و در قسمت جنوبی و کمترین نقطه ارتفاعی در حدود ۳۲- متر از سطح آب‌های آزاد و در بخش غربی منطقه واقع شده است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه ایران و استان گلستان را نشان می‌دهد.



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران (ب) موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان گلستان

(پ) تصویر گوگل ارث از منطقه مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹

روش تحقیق

مدل مدالوس

در این پژوهش تصمیم گرفته شد تا با توجه به وسعت محدوده مورد مطالعه، و محدودیت‌های زمان و هزینه، از دو معیار اقلیم و آب (در مدل مدالوس) استفاده شود و مهم‌ترین و اثرگذارترین شاخص‌ها برای بررسی آن‌ها انتخاب شوند. با راه‌اندازی و استقرار سیستم هشدار اولیه بیابان‌زایی، معیارها و شاخص‌های بیابان‌زایی به‌طور سیستماتیک، جمع‌آوری و آنالیز می‌شود و نسبت به آستانه‌ها کنترل می‌شوند تا در صورت بروز هرگونه تخریب احتمالی، هشدار لازم به اطلاع بهره‌بردار و دستگاه مرتبط رسانده شود تا تصمیمات لازم را اتخاذ کرده و از تخریب اراضی

جلوگیری کنند (مسعودی، ۱۳۸۹: ۳۲؛ خسروی، ۱۳۹۱: ۱۲۷ و راهداری و همکاران، ۱۳۹۳: ۶۵). به‌منظور تهیه نقشه و ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش مدالوس، از معیار آب زیرزمینی و اقلیم استفاده شد. برای معیار آب زیرزمینی ۴ شاخص و برای معیار اقلیم ۳ شاخص مدنظر قرار گرفت تا با ارزیابی آن‌ها در هریک از کاربری‌های اراضی موجود در منطقه، میزان تأثیر این شاخص‌ها در فرایند بیابان‌زایی مشخص شود. هرکدام از شاخص‌ها با توجه به وضعیت کیفی، امتیازی بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ خواهند گرفت. امتیاز مربوط به معیارها با میانگین هندسی شاخص‌های مربوط به آن مشخص می‌شود. جدول ۱ کلاس‌های شدت بیابان‌زایی براساس مدل مدالوس را

نشان می‌دهد. رابطه ۱ نحوه محاسبه امتیاز مربوط
به مدل مدالوس را مشخص می‌کند
(Kosmas et al, 1999: 157).
رابطه ۱:
$$I = \frac{P}{ETP} \times \text{معیار آب‌یرزمینی} \times \text{معیار اقلیم} = \text{معیار بیابان‌زایی}$$

جدول ۱: طبقه‌بندی شدت بیابان‌زایی براساس مدل مدالوس

کلاس	شدت بیابان‌زایی	حدود امتیاز
۱	ناچیز و کم	۱۰۰ - ۱۲۴
۲	متوسط	۱۲۴ - ۱۴۹
۳	شدید	۱۵۰ - ۱۷۴
۴	بسیار شدید	۱۷۵ - ۲۰۰

مأخذ: Kosmas et al, 1999: 157

شاخصی است که براساس احتمال بارش، برای مقیاس‌های زمانی متفاوت به کار برده می‌شود. این شاخص برای هر منطقه براساس ثبت داده‌های بارش در بلندمدت برای یک دوره دلخواه به دست می‌آید. دوره خشکسالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به طور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کمتر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که SPI مثبت شود و مقادیر تجمعی SPI نیز بزرگی و شدت دوره خشکسالی را نشان می‌دهد. دامنه طبقات برای تعیین ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها براساس شاخص SPI در جدول ۲ آمده است.

به منظور ارزیابی بیابان‌زایی، اقلیم به عنوان یکی از عوامل مؤثر در این پدیده، مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای بررسی این معیار سه شاخص بارش سالانه، شاخص خشکسالی و شاخص خشکی در نظر گرفته شد. با توجه به ایستگاه‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه از ۵ ایستگاه با دوره آماری ۲۰ ساله (۱۳۷۷-۱۳۹۶) که از اداره آب منطقه‌ای استان گلستان تهیه شده بود، برای بررسی شاخص‌های اقلیمی استفاده شد. شاخص خشکسالی از شاخص بارش استاندارد برآورد می‌شد. شاخص بارش استاندارد،

جدول ۲: کلاس‌بندی مقادیر شاخص SPI

طبقه	بی‌نهایت مرطوب	مرطوب شدید	مرطوب متوسط	بارش نرمال	خشکی ملایم	خشکی شدید	خشکی حاد
SPI	۲ و بیشتر	۱/۹۹ تا ۱/۵	۱/۴۹ تا ۱	۰/۹۹ تا ۰/۹۹	۱/۴۹- تا ۱-	۱/۹۹- تا ۱/۵-	۲- و کمتر
کد طبقه	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱

مأخذ: خسروی، ۱۳۹۱: ۱۵۴

بارش ایستگاه‌های درون و اطراف منطقه و با استفاده از آمار ۲۰ ساله (۱۳۷۷-۱۳۹۶) به روش درون‌یابی و در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی به دست آمد. برای تهیه نقشه و انتخاب بهترین روش از نرم‌افزار ArcGIS که توانایی انجام تکنیک ارزیابی متقابل را دارد و معیار آماری ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE)، استفاده شده است. در این مطالعه از روش

به منظور بررسی شاخص خشکی در این تحقیق از شاخص ترانسو استفاده شده است که براساس رابطه ۲ تعریف می‌شود.

$$I = \frac{P}{ETP} \quad \text{رابطه ۲:}$$

که در آن P بارش سالانه و ETP مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه است. شاخص بارش سالانه از آمار

کریجنینگ به علت داشتن کمترین خطا استفاده شد. طبقه‌بندی کلاس‌های بیابان‌زایی از منظر معیار اقلیم در جدول ۳ آورده شده‌است. رابطه ۳ میانگین هندسی شاخص‌های معیار اقلیم در جهت ارزیابی و تهیه نقشه

پهنه‌بندی اقلیمی مدل مدالوس را نشان می‌دهد.

رابطه ۳:

$$^{۱/۳}(\text{استمرار خشک‌سالی} \times \text{شاخص خشکی} \times \text{مقدار بارش سالانه}) = \text{معیار اقلیم}$$

جدول ۳: شاخص‌های ارزیابی معیار اقلیم

شماره	شاخص ارزیابی	کلاس	ناچیز و کم	متوسط	شدید	بسیار شدید
		دامنه	۱۰۰ - ۱۲۴	۱۲۵ - ۱۴۹	۱۵۰ - ۱۷۴	۱۷۵ - ۲۰۰
۱	مقدار بارش سالانه		≥ 280	۱۵۰ - ۲۸۰	۷۵ - ۱۵۰	< 75
۲	شاخص خشکی		> 0.65	۰/۴۵ - ۰/۶۵	۰/۲ - ۰/۴۵	< 0.2
۳	استمرار خشک‌سالی		۱ تا ۳ سال	۴ تا ۵ سال	۶ تا ۷ سال	بیشتر از ۷ سال

مأخذ: زهتابیان و همکاران، ۱۳۸۴: ۲۱۰

با توجه به اینکه اهمیت آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک بیش از سایر مناطق اقلیمی است، باید تمهیداتی در جهت مدیریت صحیح استفاده از این مایه حیاتی، به‌عمل آورد تا بتوان از ایجاد شرایط بحرانی جلوگیری کرد. از آنجاکه هیچ شاخصی در جهت ارزیابی معیار تخریب منابع آب در روش مدالوس لحاظ نشده و اصولاً این مدل درباره این معیار توجهی نکرده‌است، درحالی‌که از مهم‌ترین مشکلات مناطق خشک به‌ویژه منطقه خاورمیانه و ایران را می‌توان کاهش کیفیت و افت آب زیرزمینی در این مناطق ذکر کرد. بدین‌منظور پس از بررسی و مطالعه منابع موجود و نیز بازدیدهای صحرائی،

شاخص‌های موردنیاز برای ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی از ۳۲ چاه آب زیرزمینی (آب منطقه‌ای استان گلستان) منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. بررسی عمق آب‌زیرزمینی در منطقه مطالعاتی براساس چاه‌های پیژومتری که در منطقه موجود بود، انجام شد. در جهت بررسی وضعیت کیفیت آب منطقه از سه شاخص EC، SAR و غلظت املاح محلول استفاده شد. طبقه‌بندی کلاس‌های بیابان‌زایی از منظر معیار آب زیرزمینی در جدول ۴ آورده شده‌است. رابطه ۴ میانگین هندسی شاخص‌های معیار آب زیرزمینی در جهت ارزیابی و تهیه نقشه پهنه‌بندی آب زیرزمینی در مدل مدالوس را نشان می‌دهد.

جدول ۴: شاخص‌های ارزیابی معیار آب زیرزمینی

شماره	شاخص ارزیابی	کلاس	ناچیز و کم	متوسط	شدید	بسیار شدید
		دامنه	۱۰۰ - ۱۲۵	۱۲۵ - ۱۵۰	۱۵۰ - ۱۷۵	۱۷۵ - ۲۰۰
۱	هدایت الکتریکی (ds/m)		< ۷۵۰	۷۵۰ - ۲۲۵۰	۲۲۵۰ - ۵۰۰۰	> ۵۰۰۰
۲	نسبت جذب سدیم		< ۱۸	۱۸ - ۲۶	۲۶ - ۳۲	> ۳۲
۳	عمق آب زیرزمینی (cm)		> ۲۵۰	۱۵۰ - ۲۵۰	۱۰۰ - ۱۵۰	< ۱۰۰
۴	کل مواد جامد محلول (mg/l)		< ۴۵۰	۴۵۰ - ۱۰۰۰	۱۰۰۰ - ۲۰۰۰	> ۲۰۰۰

مأخذ: زهتابیان و همکاران، ۱۳۸۴: ۲۱۰

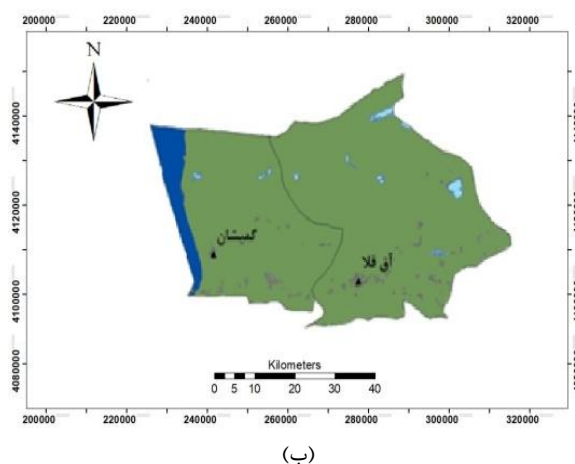
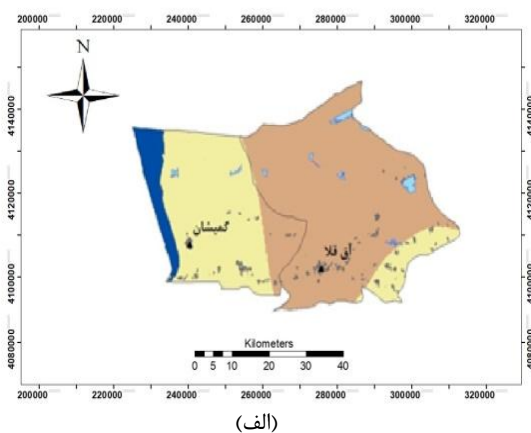
رابطه ۴:

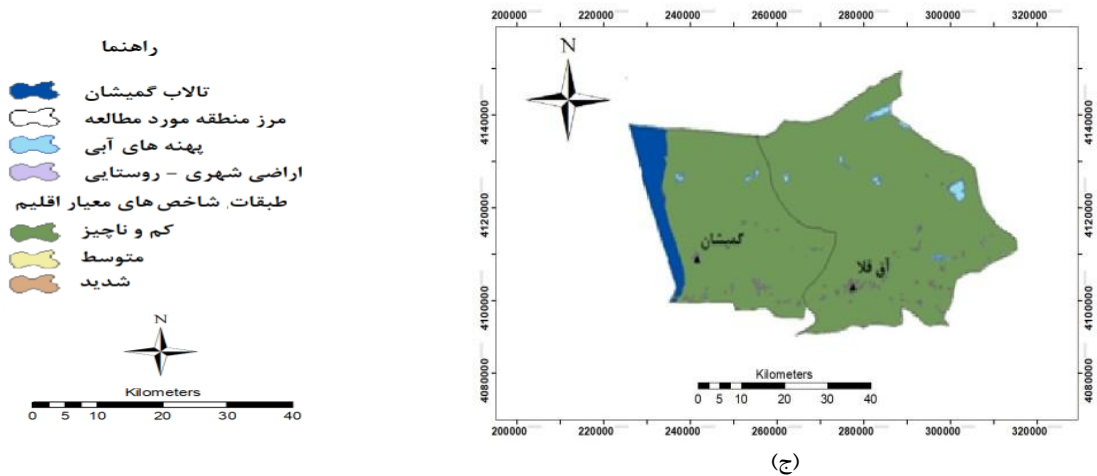
$\frac{1}{4}$ (هدایت الکتریکی \times کل مواد جامد محلول \times نسبت جذب سدیم \times عمق آب زیرزمینی) = معیار آب‌های زیرزمینی

یافته‌های تحقیق

پس از انجام تحلیل‌های لازم بر روی اطلاعات به‌دست‌آمده از منطقه نخست براساس مدل مدالوس، شدت بیابان‌زایی برای هرکدام از شاخص‌های معیار آب زیرزمینی و اقلیم محاسبه شد. نتایج به‌دست‌آمده از بررسی ۲۰ ساله بارش در ۵ ایستگاه در منطقه نشان داد که مقدار حداقل بارش ۳۳۹ میلی‌متر و مربوط به ایستگاه سد گرگان است. براین‌اساس و با توجه به کلاس‌بندی این شاخص در منطقه، کل

منطقه در محدوده کلاس با ارزش کم و ناچیز قرار گرفت. درجهت بررسی شاخص خشکی در این تحقیق از شاخص ترانسو استفاده شده‌است. براساس این شاخص منطقه در دو کلاس متوسط با درصد فراوانی ۴۱ و شدید با درصد فراوانی ۵۹ درصد قرار گرفت. پس از بررسی مقدار عددی شاخص SPI در طول دوره آماری در منطقه مورد مطالعه مشخص شد که تکرار خشکسالی کمتر از ۳ سال است؛ بنابراین براساس آن ارزش عددی این شاخص برابر با ۱۲۴ و در محدوده کلاس کم و ناچیز قرار گرفت. شکل ۲ نقشه شاخص‌های معیار اقلیم در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

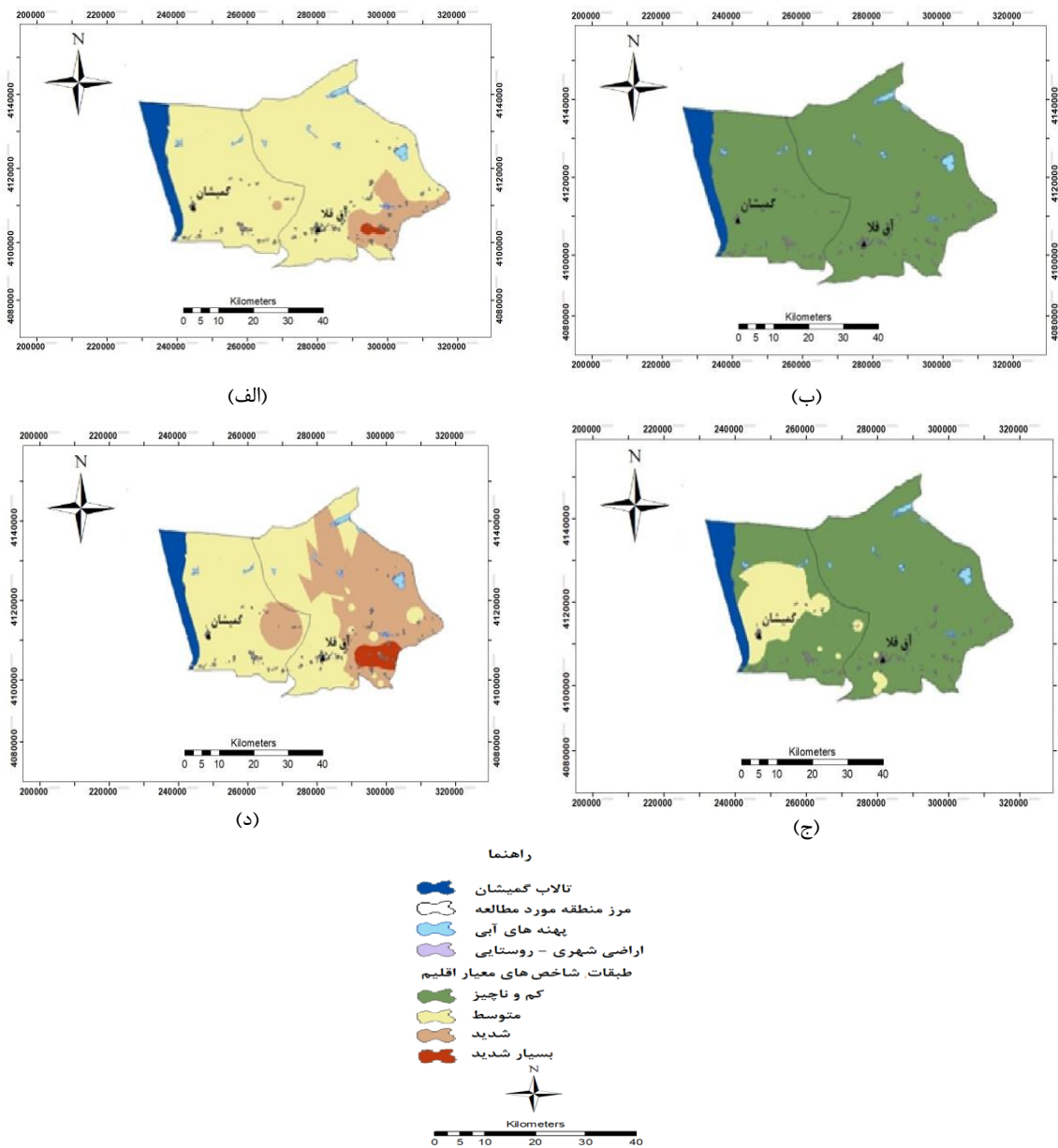




شکل ۲: نقشه طبقات بیابان‌زایی شاخص‌های معیار اقلیم در منطقه مورد مطالعه. الف: خشکی، ب: بارش، ج: خشکسالی تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹

در نظر گرفته شد. با بررسی‌های انجام‌شده میزان کل مواد جامد محلول در آب زیرزمینی منطقه در سه کلاس متوسط با درصد فراوانی ۶۱/۹۰، کلاس شدید با درصد فراوانی ۳۵/۳۵ و کلاس بسیار شدید با درصد فراوانی ۲/۷۵ طبقه‌بندی شد. عمق آب زیرزمینی به‌عنوان شاخص کمی در نظر گرفته شد و در طول دوره آماری در منطقه مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج به‌دست‌آمده عمق آب زیرزمینی در دو کلاس کم و ناچیز با درصد فراوانی ۸۵/۸۶ و کلاس متوسط با درصد فراوانی ۱۴/۱۴ طبقه‌بندی شد (شکل ۳).

در محاسبه معیار آب زیرزمینی از شاخص کیفی هدایت الکتریکی (EC)، نسبت جذب سدیم (SAR) و کل مواد جامد محلول (TDS) و همچنین شاخص کمی عمق آب زیرزمینی استفاده شد. براساس نتایج به‌دست‌آمده، EC آب‌های زیرزمینی منطقه در سه کلاس متوسط با درصد فراوانی ۹۱/۶۳، کلاس شدید با درصد فراوانی ۷/۸۷ و کلاس بسیار شدید با درصد فراوانی ۰/۵ طبقه‌بندی شد. با توجه به اینکه حداکثر میزان نسبت جذب سدیم در منطقه ۱۳ دسی زیمنس بر متر است، تمامی منطقه در کلاس بیابان‌زایی کم و ناچیز از نظر این شاخص قرار گرفت و امتیاز آن در مدل مدالوس ۱۰۰ برای تمامی منطقه



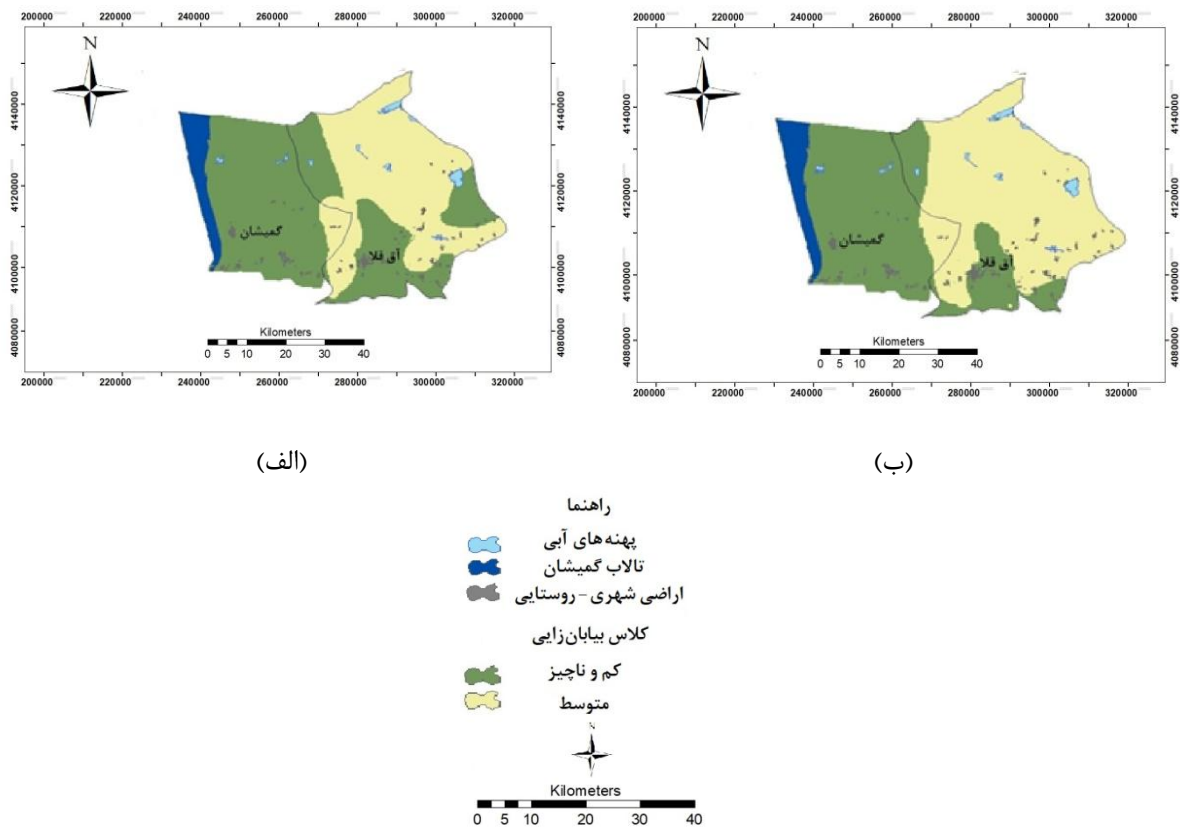
شکل ۳: نقشه طبقات بیابانزایی شاخص های معیار آب زیرزمینی در طول دوره ۲۰ ساله (۱۳۹۶-۱۳۷۷)

(الف) هدایت الکتریکی، (ب) نسبت جذب سدیم، (ج) عمق آب زیرزمینی، (د) کل مواد جامد محلول

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹

می خورد. براساس نتایج به دست آمده، ۱۲۵۴ کیلومتر مربع از منطقه در دوره اول در کلاس متوسط بیابانزایی قرار داشته که با توجه به بررسی های انجام شده در دوره دوم به ۱۵۵۴ کیلومتر مربع افزایش پیدا کرده است.

پس از بررسی شاخص های معیار اقلیم و آب زیرزمینی در منطقه، با استفاده از مدل مدالوس نقشه بیابانزایی در دو دوره ۱۰ ساله تهیه شد (شکل ۴). نتایج این مطالعه بیانگر آن است که روند بیابانزایی منطقه روند غرب به شرق است و هرچه از دریا دور می شویم، مناطق بیابانی در منطقه بیشتر به چشم



(الف)

(ب)

شکل ۴: الف) نقشه بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه در دوره زمانی (۱۳۷۷-۱۳۸۶)

ب) - نقشه بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه در دوره زمانی (۱۳۸۷-۱۳۹۶)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹

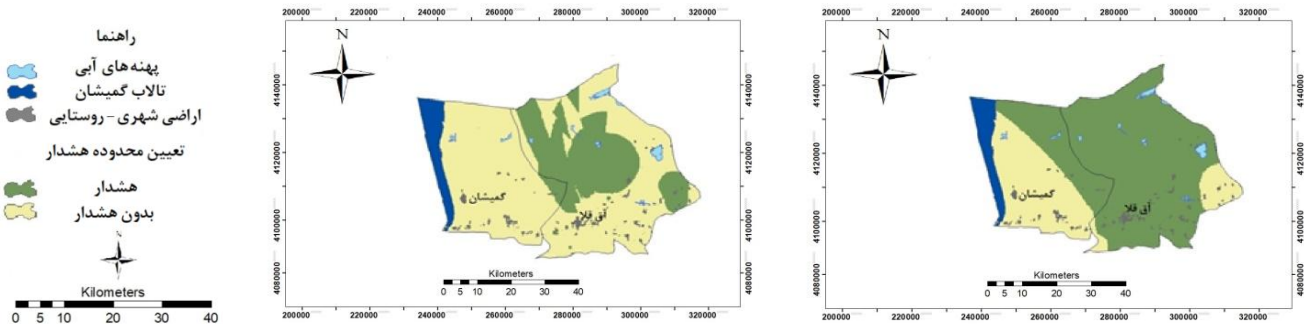
شد. از میان شاخص‌های معیار آب زیرزمینی در منطقه نیز به ترتیب شاخص‌های کل مواد محلول (۱۴۷)، هدایت الکتریکی (۱۴۵) و عمق آب زیرزمینی (۱۲۷) دارای بیشترین نقش در بیابان‌زایی منطقه بودند و در جهت پایش بیابان‌زایی در نظر گرفته شدند. تأثیر شاخص نسبت جذب سدیم در منطقه بسیار جزئی بوده (۱۱۰) و تأثیری در بیابان‌زایی منطقه نداشته‌است. با توجه به تغییرات زمانی (سالانه) و مکانی شاخص‌های مؤثر در روند توسعه بیابان‌زایی منطقه، سیستم هشدار اولیه براساس تغییر شاخص‌ها نسبت به حد آستانه تغییرات مورد بررسی قرار گرفت. حد آستانه هر شاخص براساس استانداردهای موجود و تغییرات محلی و منطقه‌ای

تجزیه و تحلیل معیارها و شاخص‌های سیستم هشدار پیش‌آگاهی بیابان‌زایی

بر طبق نتایج تجزیه و تحلیل شاخص‌ها و معیارها در منطقه مورد مطالعه، از بین دو معیار در نظر گرفته شده، معیار آب زیرزمینی با میانگین وزنی ۱۳۲ از اهمیت بیشتری برخوردار بوده و در کلاس متوسط قرار گرفت. میانگین وزنی معیار اقلیم در منطقه نیز ۱۲۴ به دست آمده و در کلاس کم و ناچیز قرار گرفت. با توجه به بررسی‌های انجام شده بر روی امتیازات شاخص‌های معیار اقلیم در هریک از کاربری‌های موجود در منطقه، مشخص شد شاخص خشکی ترانسو با امتیاز ۱۶۲ نقش اصلی را در بیابان‌زایی منطقه ایفا کرده‌است و در جهت پایش در نظر گرفته

تا ۱۳۸۷، ۱۳۹۰، ۱۳۹۳، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۶ در محدوده هشدار قرار گرفت. شکل ۵ موقعیت مکانی مناطق تحت هشدار شاخص خشکی در ۲ دوره مورد مطالعه در منطقه را نشان می‌دهد. براساس نتایج به دست آمده، روند افزایشی محدوده‌های هشدار از نظر شاخص خشکی در طی دو دوره در منطقه به وضوح قابل مشاهده بوده و روند افزایشی آن از غرب به شرق است.

محاسبه شده است. با توجه به اینکه شاخص ترانسو از رابطه کلی $I=P/ETP$ که P بارش سالانه و ETP مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه تعیین می‌شود. حد آستانه شاخص خشکی از میانگین طولانی مدت بارش به تبخیر و تعرق پتانسیل به دست آمد. براین اساس شاخص خشکی کمتر از $0/33$ به عنوان محدوده هشدار در منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شد. با توجه به نتایج به دست آمده منطقه از نظر شاخص خشکی طی سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۲، ۱۳۸۵



الف (۱۳۷۷-۱۳۸۶)

ب (۱۳۸۷-۱۳۹۶)

شکل ۵: الف و ب) - محدوده‌های هشدار از نظر شاخص خشکی در طول ۲ دوره در منطقه مورد مطالعه.

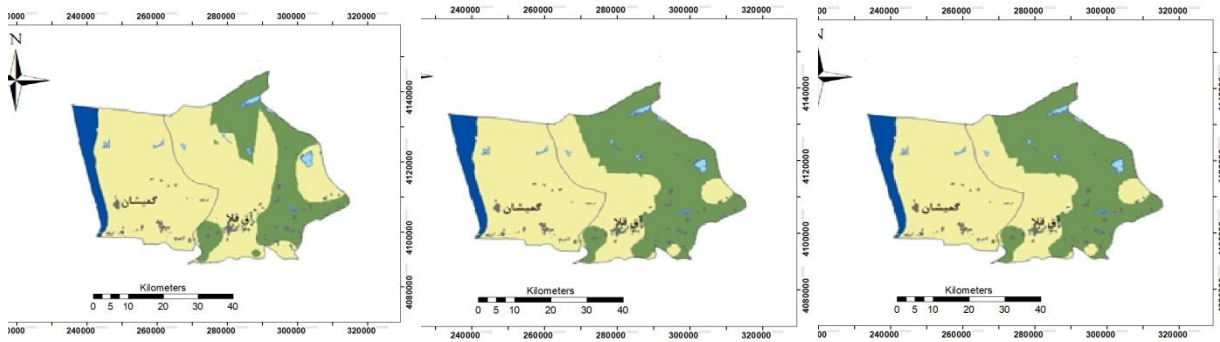
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹

سال‌های ۱۳۷۷، ۱۳۷۸، ۱۳۸۰، ۱۳۸۳، ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ در محدوده هشدار قرار گرفت. از نظر عمق آب زیرزمینی نیز سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۸۱، ۱۳۸۵، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۳ در محدوده هشدار قرار گرفت. شکل ۶ موقعیت مکانی مناطق تحت هشدار شاخص‌های معیار آب زیرزمینی در ۲ دوره مورد مطالعه در منطقه را نشان می‌دهد. براساس نتایج به دست آمده روند تغییرات شاخص هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در طول ۲ دوره از غرب به شرق افزایشی بوده و در دوره دوم (۱۳۸۷-۱۳۹۶) نزدیک به نیمی از منطقه در محدوده هشدار قرار گرفته است. روند افزایشی محدوده‌های هشدار از نظر شاخص کل مواد محلول در طی دو دوره در منطقه به وضوح قابل مشاهده بوده

با توجه به نظر کارشناسان، مطالعات قبلی و دیگرام شور و ویلکاکس با استفاده از پایش شاخص‌ها در طول دوره ۲۰ ساله حد آستانه شاخص‌های آب زیرزمینی تعیین شد. مقدار کل مواد محلول بیش از ۱۱۴۶ میلی‌گرم در لیتر و مقدار هدایت الکتریکی بیش از ۱۸۲۱ دسی زیمنس بر متر به عنوان حد آستانه شاخص‌ها تعیین شد. براساس نظر کارشناسان آب منطقه‌ای استان گلستان ۵۰ سانتی‌متری عمق آب زیرزمینی به عنوان محدوده هشدار در نظر گرفته شد. با توجه به نتایج به دست آمده از پایش شاخص‌های معیار آب زیرزمینی، شاخص هدایت الکتریکی طی سال‌های ۱۳۷۸، ۱۳۸۰، ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۶ و ۱۳۸۸ و براساس شاخص کل مواد محلول

هشدار قرار داشته و در دوره دوم با افزایش نسبی همراه بوده است.

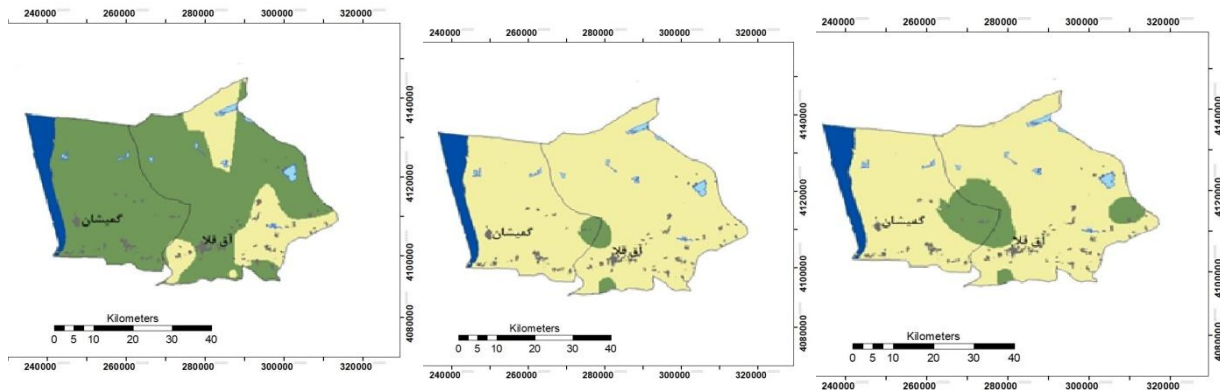
و روند افزایشی آن در همه سطح منطقه قابل مشاهده است. با بررسی عمق آب زیرزمینی در طول دو دوره، مشخص شد که نواحی مرکزی منطقه در محدوده



(الف)

(ب)

(پ)



(ت)

(ث)

(ج)



شکل ۶: الف و ب) - محدوده های هشدار از نظر شاخص هدایت الکتریکی در طول ۲ دوره مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه. پ و ت) - محدوده های هشدار از نظر شاخص کل مواد محلول در طول ۲ دوره مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه. ث و ج) - محدوده های هشدار از نظر شاخص عمق آب زیرزمینی در طول ۲ دوره مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه.

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹

بحث

با توجه به شرایط خاص اقلیمی و اکوسیستمی منطقه در طی چند دهه گذشته با مشکل تخریب زمین، فرسایش آبی و بادی، تبدیل کاربری اراضی و کاهش آب زیرزمینی که از نشانه‌های بیابان‌زایی است، روبه‌رو بوده‌ایم. براین اساس در این تحقیق از مدل مدالوس در جهت ارزیابی و پایش شاخص‌های تأثیرگذار در بیابان‌زایی منطقه استفاده شد. براساس تجزیه و تحلیل داده‌های ۵ ایستگاه هواشناسی در دوره ۲۰ ساله، مشخص شد متوسط بارش سالانه در تمامی ایستگاه‌ها بیش از ۲۸۰ میلی‌متر است؛ بنابراین براساس مدل مدالوس شاخص بارش در منطقه هیچ محدودیتی ایجاد نکرده است؛ اما می‌بایست این نکته را در نظر داشت که متوسط بارش در طی دوره مطالعاتی ۴۵۰ میلی‌متر است که براین اساس هر ایستگاه در طی چند سال با خشکسالی روبه‌رو بوده است. نتایج شاخص استمرار خشکسالی نشان داد که تمامی ۵ ایستگاه هواشناسی به‌طور متوسط دوره‌های کوتاه‌مدت یک، دو و سه ساله خشکسالی را تجربه کرده‌اند؛ اما از نظر کلاس بیابان‌زایی همانند شاخص بارش در طبقه کم و ناچیز قرار گرفت. براساس شاخص خشکی نیز منطقه به دو قسمت تقسیم شده و نیمه غربی که شامل شهرستان آق‌قلا است، بیش از ۹۰ درصد آن در کلاس شدید بیابان‌زایی قرار گرفته است. نتیجه این نوسانات، تغییرات اقلیمی سال‌های اخیر بوده است که بر روی عملکرد محصولات کشاورزی، تخریب پوشش گیاهی، افزایش شوری خاک، پایین آمدن کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی تأثیر گذاشته است. نتایج به‌دست آمده با مطالعات مسعودی (۱۳۸۹)، خسروی (۱۳۹۱) و راهداری (۱۳۹۳) مطابقت داشته است. از میان شاخص‌های معیار آب زیرزمینی که از نظر کمی و کیفی مورد بررسی قرار گرفته، شاخص نسبت جذب سدیم در طی دوره ۲۰ ساله در منطقه هیچ محدودیتی

از نظر بیابان‌زایی ایجاد نکرده است. شاخص‌های هدایت الکتریکی و کل مواد محلول در آب زیرزمینی رفتاری مشابه داشته و روند افزایشی این شاخص‌ها از غرب به شرق و در جنوب‌شرقی منطقه به حداکثر میزان خود رسیده‌اند. از مهم‌ترین عواملی که سبب این تغییرات شده‌اند، می‌توان به فعالیت‌های انسانی مانند: کشاورزی زیاد در منطقه، احداث کارخانه‌های متعدد و عوامل دیگری مثل وجود دریاچه‌های متعدد آب شور در منطقه اشاره کرد (محمدی‌فر، ۱۳۹۶: ۱۲۴). نتایج نشان داد در بخش‌های غربی منطقه به‌دلیل بالا آمدن سطح آب زیرزمینی، دارای نوسان بوده و شرایط بحرانی را به‌وجود آورده است. علت اصلی آن را می‌توان تغییرات سطح تراز آب دریای خزر دانست که بر روی عمق ایستابی سفره‌های سطحی آب زیرزمینی بخش غربی منطقه تأثیر می‌گذارد که این شرایط باعث افزایش شوری خاک می‌شود و در نتیجه میزان عملکرد گیاهان زراعی را کاهش می‌دهد. در نهایت پس از بررسی شاخص‌های معیار اقلیم و آب زیرزمینی در منطقه، نقشه بیابان‌زایی در دو دوره ۱۰ ساله تهیه شد. نتایج نشان داد به‌دلیل عوامل ذکر شده در پایش شاخص‌ها، منطقه با روند بیابان‌زایی غرب به شرق روبه‌رو شده است و هرچه از دریا دور می‌شویم، مناطق بیابانی در منطقه بیشتر به چشم می‌خورد. با توجه به تغییرات زمانی (سالانه) و مکانی شاخص‌های مؤثر در روند توسعه بیابان‌زایی منطقه، سیستم هشدار اولیه براساس تغییر شاخص‌ها نسبت به حد آستانه تغییرات مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین تغییرات سالانه مربوط به شاخص خشکی از معیار اقلیم با حد آستانه ۰/۳۳ بوده که بخش‌های شرقی و مرکزی منطقه با کاربری‌های اراضی آبی، دیم و تالاب‌ها و دریاچه‌های موقتی تحت تأثیر هشدار دوره‌های خشکی قرار گرفته‌اند. این شرایط باعث کاهش پوشش گیاهی و بخش حفاظتی خاک شده و در طولانی‌مدت، منجر به فرسایش بادی و آبی خاک و

که با توجه به آمار و اطلاعات موجود در کشور، این ۲ معیار و ۷ شاخص برای ارزیابی بیابان‌زایی، پایش و ارائه سیستم هشدار بیابان‌زایی مناسب است؛ اما به منظور کافی‌بودن این شاخص‌ها باید در سایر مناطق با اقلیم مشابه مورد آزمایش قرار گیرد. براین اساس پیشنهاد می‌شود با توجه به اینکه آستانه‌ها از محلی به محل دیگر و در طول زمان تغییر می‌کنند، لازم است هر چند سال یک بار شاخص‌ها پایش و آستانه آن‌ها مشخص شوند تا سیستم هشدار واقعی‌تری ارائه شود. برای پایش، کافی است تنها شاخص‌هایی محدود که در منطقه اثرگذارترند، تعیین شوند تا هم هزینه‌ها به صورت منطقی برآورد شوند و هم آماربرداری و هماهنگی بین واحدها و دستگاه‌ها آسان‌تر شود. استان گلستان و به‌ویژه منطقه مورد مطالعه در غرب استان به دلیل شرایط خاص اقلیمی و اکوسیستمی در طی چند دهه گذشته با مشکل تخریب زمین، کاهش کیفی و کمی آب زیرزمینی، تغییر اقلیم و تبدیل کاربری اراضی که از نشانه‌های بیابان‌زایی است، روبه‌رو می‌باشد. در این تحقیق تلاش شد تا اصول راه‌اندازی سیستم هشدار اولیه بیابان‌زایی در منطقه گردآوری و ارائه شود. با توجه به اینکه سیستم هشدار اولیه بیابان‌زایی مفهومی نوین بوده، لازم است در چند نقطه از کشور آزمون و پس از نهایی‌شدن به‌عنوان ابتکاری نوین در سراسر کشور مورد استفاده قرار گیرد. به‌طور کلی هدف اصلی ارائه چنین سیستم‌هایی، اخطار وقوع احتمال خطر به مردم در معرض تخریب زمین و اثرات بالقوه آن است و درحقیقت با ارائه اطلاعات، کمک به کاهش خسارات اقتصادی را در پی دارد. اطلاعات هشدار اولیه باعث انجام اقداماتی در هنگام نزدیک‌شدن خطر می‌شود و اگر مطالعات ارزیابی ریسک و برنامه‌های عملیاتی و ارتباطی، یکپارچه و هماهنگ شود، سیستم‌های هشدار اولیه می‌تواند باعث منافع اساسی شود.

کم‌شدن کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه شده‌است. این نتایج با گزارشات هواشناسی استان گلستان (۱۳۹۵) درخصوص افزایش تبخیر و تعرق به میزان ۴ برابر بارش و تأثیر آن بر کاهش منابع آب سطحی و افت تراز سطح آب در بخشی از مناطق دشتی منطقه هم‌خوانی دارد. حد آستانه پارامترهای کیفی آب زیرزمینی به‌ترتیب برای مقدار کل مواد محلول بیش از ۱۱۴۶ میلی‌گرم در لیتر و مقدار هدایت الکتریکی بیش از ۱۸۲۱ میکروموس بر سانتی‌متر تعیین شد.

نتیجه

براین اساس و مطابق با نقشه‌های به‌دست‌آمده، نواحی شرقی منطقه در طول دوره ۲۰ساله تحقیق در محدوده هشدار قرار گرفته و از نظر بیابان‌زایی روندی افزایشی داشته‌است. در طی سال‌های گذشته، میزان تغییر پارامترهای اقلیمی و نوسانات دریای خزر بر کیفیت آب‌های زیرزمینی تأثیر گذاشته و میزان کیفیت آن‌ها را کاهش داده‌است. این کاهش کیفیت نیز با پارامترهایی مانند: شوری خاک، تغییر آنیون‌ها و کاتیون‌ها، بر کاهش عملکرد محصولات کشاورزی، تغییر نوع کشت و محصول مؤثر بوده‌است.

محدوده‌های هشدار از نظر عمق آب زیرزمینی نواحی مرکزی منطقه است که علت آن را می‌توان تعداد چاه‌های غیرمجاز در طی چند سال گذشته در منطقه دانست که افزایش چشمگیری داشته و این تعداد حلقه چاه، میزان بهره‌برداری از سطح آب زیرزمینی را افزایش داده و مدیریت غیراصولی در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی برای توسعه کشاورزی، باعث افت سطح تراز آب و کاهش کمی و ارزش کیفی منابع آب زیرزمینی در بخش‌های مرکزی و شرقی منطقه شده‌است. با استناد به مطالعات مسعودی (۱۳۸۹)، خسروی، (۱۳۹۱)، راهداری (۱۳۹۳) و این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت

منابع

- زهتابیان، غلامرضا؛ حسن احمدی؛ حسن خسروی؛
 عمار رفیعی امام (۱۳۸۴). روش تهیه نقشه بیابانزایی
 با استفاده از مدل مدالوس در ایران. مجله بیابان. جلد
 ۱۰. صفحات ۲۲۳-۲۰۵.
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=32719>
 شریفآباد، جواد (۱۳۹۶). ارائه مدل پایش و سیستم
 پیش‌آگاهی خطر بیابانزایی (مطالعه موردی دشت
 یزد اردکان)، رساله دکتری. دانشگاه هرمزگان. دانشکده
 کشاورزی و منابع طبیعی.
<https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/1891cb8ed542ff966592d8d87b451c31>
 مسعودی، ریحانه (۱۳۸۹). سیستم هشدار اولیه
 بیابانزایی براساس دو فاکتور آب و اقلیم (مطالعه
 موردی: دشت کاشان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد.
 دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه تهران.
<https://civilica.com/doc/322481/>
 محمدی‌فر، فهیمه (۱۳۹۶). پهنه‌بندی کمی و کیفی
 آب‌های زیرزمینی با استفاده از زمین آمار در بخشی
 از دشت گرگان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده
 مرتع و آبخیزداری. دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی
 گرگان.
<https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/47ff37e77df99d1a3a933f4f3b95a774>
 نفر، فاطمه (۱۳۹۸). ارزیابی و مقایسه مدل مادالوس
 و سنجش‌ازدور در برآورد بیابانزایی حوزه سفیددشت-
 بروجن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهرکرد.
<https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/fe8e364f5f68aa9ad73309772f9b829b>
 - Akbari, M, Ownegh, M., Asgari, H.R. Sadoddin,
 A & Khosravi H (2016). Design & Development
 of Early Warning System for Desertification and
 Land Degradation. Environmental Resources
 Research. 4 (2):112-129.
https://ijerr.gau.ac.ir/article_3410.html
 - Boali, A., Bashari, H. and Jafari, R (2018).
 Evaluating the potential of Bayesian
 networks for desertification assessment in arid
 areas of Iran. Land Degradation &
 Development. 30(4): 371-390.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ldr.3224>
 آرامی، عبدالحسین (۱۳۹۱). ارزیابی خطر، خسارت و
 تدوین برنامه مدیریت بیابان در منطقه نیمه‌خشک
 آق‌بند، استان گلستان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد
 مدیریت مناطق بیابانی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع
 طبیعی گرگان. ۲۱۶ص.
<https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/315b403e4d122ffc193ac3c34ccc8f8a>
 احمدی، حسن؛ محمدرضا اختصاصی؛ علی گلکاریان؛
 الهام ابریشم (۱۳۸۵). ارزیابی و تهیه نقشه بیابانزایی
 با استفاده از مدل مدالوس تغییر یافته در منطقه
 فخرآباد مهریز یزد، نشریه دانشکده منابع طبیعی.
 جلد ۵۹. شماره ۳. صفحات ۵۳۲-۵۱۹.
<http://panel.agriis.ir/Attachments/Files/529201552664313691.pdf>
 جوعلی، عبدالحسین؛ حسین بشری؛ رضا جعفری؛
 محسن سلیمانی (۱۳۹۶). پتانسیل یابی شبکه‌های باور
 بیزین در جهت ارزیابی تأثیر معیار کیفیت خاک در
 بیابانزایی منطقه دشت سگزی اصفهان. نشریه علوم
 آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)
 سال بیست‌ویک. شماره ۲. صفحات ۲۸-۱۵.
<https://jstnar.iut.ac.ir/article-1-2825-fa.html>
 حسینی، سید محمود؛ محمدرضا اختصاصی؛ علی‌رضا
 شهریاری؛ حامد شفیعی (۱۳۸۹). بررسی وضعیت
 بالفعل و بالقوه بیابانزایی با تأکید بر معیار فرسایش
 بادی به روش MICD (بررسی موردی: منطقه نیاتک
 سیستان)، نشریه مرتع و آبخیزداری. مجله منابع
 طبیعی ایران. دوره ۶۳. شماره ۲. صفحات ۱۸۱-۱۶۵.
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=131877>
 خسروی، حسن (۱۳۹۱). ارائه مدل پایش و سیستم
 هشدار اولیه بیابانزایی، رساله دکترا. دانشگاه تهران.
 دانشکده منابع طبیعی کرج. ۱۲۷ص.
 راهداری، غلامرضا؛ علی‌اکبر فخریه؛ علی‌رضا
 شهریاری؛ حسن خسروی (۱۳۹۳). مدل‌سازی ارزیابی
 تخریب‌سرزمین و ارائه سیستم هشدار اولیه بیابانزایی،
 مجله مهندسی اکوسیستم بیابان، (۵) ۳. ۷۱-۶۳.
<https://deej.kashanu.ac.ir/article-1-184-fa.html>

- Balis, B., Bartynski, T., Bubak, M., Dyk, G., Gubala, T., & Kasztelnik, M (2013). A development and execution environment for early warning systems for natural disasters. In Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid), 2013 13th IEEE/ACM International Symposium on (575-582).
<https://dl.acm.org/doi/abs/10.1109/CCGrid.2013.101>
- Grasso, F. V (2012). Early Warning Systems, State-of-Art Analysis and Future Directions, Draft report, United Nations Environment Programme (UNEP). 66.
http://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/onu/newsletter12/883_eng.pdf
- Kosmas, C., Kirkby, M. J., & Geeson, N (1999). The Medalus Project: Mediterranean desertification and land use: Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification. European Commission, Brussels.
https://www.researchgate.net/publication/262374822_Methodology_for_mapping_Environmentally_Sensitive_Areas_ESAs_to_desertification
- Moghaddam, M. H., Sedighi, A., Fasihi, S., & Karimi, M (2018). Effect of environmental policies in combating aeolian desertification over Sejzy Plain of Iran. *Aeolian Research*. 35:19-28.
<https://daneshyari.com/article/preview/11028527.pdf>
- Nunez, M., Pablo, p., Rieradevall, A., & Antón, A. J (2009). Assessing potential desertification environmental impact in life cycle assessment. *Int J Life Cycle Assess*, 15: 67-78.
<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/93536>
- Tiexin, C., Yiwang, W., & Yuefeng, S (2010). Development and application of tender evaluation decision-making and risk early warning system for water projects based on KDD. *Advances in Engineering Software*. 34 (48) 58-69.
<https://dl.acm.org/doi/abs/10.1016/j.advengsoft.2012.02.003>
- Timothy, M. (2013). What early warning systems are there for environmental shocks environment I science & policy. 27 (6) 0-75.
https://www.researchgate.net/publication/257587877_What_early_warning_systems_are_there_for_environmental_shocks
- UNEP (2012). Early Warning Systems. A State of the Art Analysis and Future Directions. Division of Early Warning and Assessment (DEWA), United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi.
https://na.unep.net/siouxfalls/publications/early_warning.pdf

