Journal of Environmental Research
Vol. 14, No. 28, Atumn & Winter 2024

Journal Homepage: www.iraneiap.ir
Print ISSN: 2008-9597 Online ISSN 2008-9590

Ecological Capability Assessment of Sistan Plain by Integrating Makhdoum's Multi-Factor Models with Remote Sensing and GIS Technologies

Nadia Abbaszadeh Tehrani[1*], Milad Janalipour[1], Bahman Sargolzaie aval[2]

1. Aerospace Research Institute, Ministry of Science, Research and Technology
2. Islamic Azad University E-Campus

Document Type
Research Paper

Received
2023/01/30

Accepted
2024/01/01

DOI: 10.22034/eiap.2024.191708

Abstract

The Earth's limited resources can be sustainably maintained by its human population, if are used optimally and in a balanced way. Assessing the ecological land capability examines the ability of the land to support human activities in a sustainable manner and determines the most desirable type of land use by humans. In this study, the assessment of the ecological capability of Sistan plain for agriculture and pasture, urban and rural development, ecotourism, forestry and afforestation, ecological protection and aquaculture land useses in 2019 has been carried out by integrating the multi-factor ecological models of Makhdoum with Remote Sensing (RS) and Geographic Information System (GIS). Data and information related to 24 ecological, physical, climatic and biological parameters of the region, obtained from satellite images or existing maps, have been processed and analyzed in the environment of remote sensing and GIS software. The results showed that 100% of Sistan plain has ecological capability for protection, 63% for grade 2 of extensive ecotourism and 19% for grade 4 of rangeland and has no suitable potential for other land uses including agriculture and forestry. The results of this study showed the need to pay more attention to conservation measures and reduce agricultural and industrial activities in the Sistan plain. By comparing the ecological capability of the area with its current land use, it was determined that in a large part of the northeastern area, which has the capability for protection, agricultural activities are currently carried out, and in most of the areas that are intended for extensive protection and recreation, there are bare lands, pasture and forest land uses. The results showed the need to pay more attention to protective measures and reduce agricultural and industrial activities in this vulnerable area. Since the process of evaluating the ecological capability often requires spending considerable time and costs, another goal of the research was to combine RS and GIS with the existing ecological models, in order to assess the ecological capability of the Sistan plain. Because it is very effective in speeding up, increasing the accuracy and updating the information and outputs of existing models and finally speeding up the process of land use planning - which is currently one of the most important challenges to achieve sustainable development in Iran.

Keywords: Sistan plain, Assessing ecological capability, Geographic Information System, Remote sensing, Makhdoum's ecological models

* Corresponding author: Email: tehrani@ari.ac.ir

Introduction

Today, the destruction of the environment in different parts of the world causes the loss of a huge part of the valuable natural resources of the planet. These damages are caused by mismanagement and lack of proper land use planning for the optimal use of land resources. The excessive depletion of resources and irrational human use of the land, has prompted governments to seek solutions to solve the consequences of these inappropriate activities and to propose alternative methods to conventional ones in order to use resources as the best and more sustainable as possible. Therefore, the process of exploitation of natural resources has been implemented in planned frameworks called "resource management plans", such as agricultural plans, rangeland management, etc. The first step in the implementation of each of the mentioned plans is to evaluate the ecological capacity of the region. In recent years, Remote Sensing (RS) and Geographical Information System (GIS) have been widely used to evaluate the ecological potential of the land in several studies. For example, (Girmay et al., 2018; Tolche et al., 2021; Montgomery et al., 2016; Yalew et al., 2016; Zamani, 2014; Karimzadeh Mutlaq, 2013; Makhdoum et al., 2008; AbdelRahman et al., 2016; Shan et al., 2019; Abd El Aal et al., 2020) have stated that the integration of GIS or RS, with ecological capacity assessment models will facilitate the allocation of lands for various uses, including agriculture and pasture, forestry, ecotourism, conservation and Industrial-urban land uses. Human activities are not aligned with the land capability in the Sistan plain. The occurrence of its consequences such as the destruction of the land and its elements, as well as the lack of adequate water supply in the agricultural areas indicating the need for a land capability assessment integrated with RS and GIS technologies to achieve more accurate results with less cost and time.

Methodology

Study Area

The Sistan plain is located in the east of Iran and in the north of the Sistan and Baluchistan province in low and flat areas at $31°18'N$ to $31°20'N$ and $61°10'E$ to $61°50'E$.

Research Method

In this research, system analysis evaluation method has been used. In order to evaluate the ecological capability of the studied area for different uses, "Makhdoum" ecological models have been applied. The research process includes the following steps:

• Selection of the ecological assessment model: Ecological factors include physical and biological components, which in order to collect the required information from various methods such as field visits, satellite images and their processing by remote sensing software, were used and various data were collected.

• Entering information into the geographic information system: ArcGIS 10.5 software was used in order to localize data and digitize maps and convert AutoCAD files into shape-files, as well as unify the data coordinate system, finally, all data were prepared in vector format.

• Classification of data for modeling: the layers of information prepared from the region in order to be used in ecological models of Iran for different uses were classified and standardized and were prepared to be applied in evaluation models.

• Data modeling and determination of user priority: All the data that were collected and classified in the previous stages, were converted into a raster format and by using Iran's ecological models, land use priorities for the study area were determined.

Results and Discussion

The ecological potential for forestry uses

The Sistan plain does not have the ecological potential for the development of forestry, because the average annual rainfall is less than 60 mm and the average percentage of relative humidity is less than 40%. Also, factors such as the type of texture, acidity, transformation and drainage of the soil limited the potential of the region for forestry uses.

The ecological potential urban, industrial, rural, military and engineering uses

Sistan plain does not have the natural ecological ability to develop this type of land use. By examining the components of the model, it was determined that the most significant limiting factors of the Sistan plain include annual rainfall and low average relative humidity, lack of suitable bedrock, inappropriate type of soil texture in the region, water shortage and its altitude that is less than sea level.

Ecological capacity for aquaculture use

The Sistan plain does not have the ecological potential for the development of aquaculture land use, also by examining the model components, it was determined that in general, the most limiting factors include soil texture, the flow of incoming water that is less than 3000 cubic meters per hectare per year.

Ecological potential for ecological protection

The entire area is susceptible to this type of land use, and the most important factors are seasonal floods in the Sistan plain basin, severe wind erosion, consecutive and long-term droughts, very little rainfall, very high evaporation rates, and the presence of the Hamon International Wetland, which host various species of migratory birds and listed among the rare habitats with endangered species in the region.

Ecological potential for ecotourism use

Some areas of the Sistan plain have the ecological potential for the development of extensive ecotourism for grade 1.

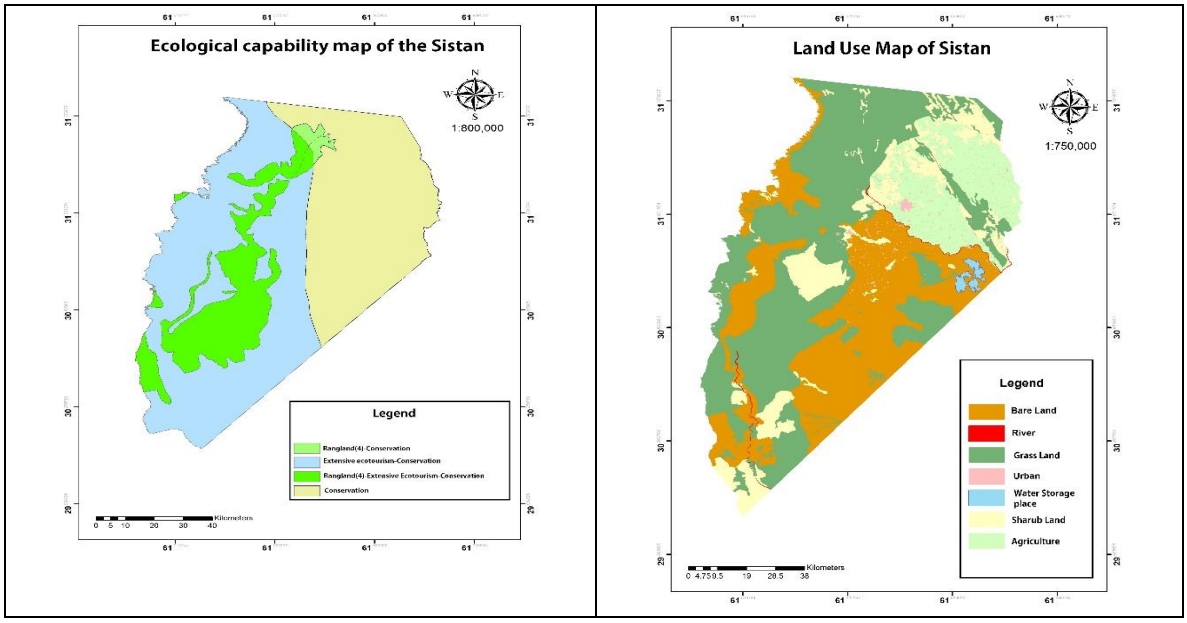
The ecological potential for agricultural and pasture uses

The region naturally does not have the ecological capacity to develop agriculture, animal husbandry, poultry, beekeeping, sericulture and horticulture, but it has a weak ecological capacity for grade 4 grazing.

Conclusion

The purpose of this research was to prepare an ecological capability map of the Sistan Plain by using the ecological models of Makhdoum and integrating them with RS and GIS technologies in order to increase the speed and accuracy of models and make it possible to update the information and its results. According to the study of the ecological parameters of the studied area and the use of the aforementioned multi-factor models, it was found that almost all areas of the Sistan plain were suitable for ecological protection. The result showed that 18.8% of the studied area had a weak capacity for grazing (pasture grade 4) and most of these areas were located on the edge of the Hamon wetland, considering that the water source of the wetland is seasonal floods coming from Afghanistan and The fact that numerous dams have been built along the Hirmand river in Afghanistan and most seasons prevent water from entering the Sistan plain, as well as the high evaporation rate of the Sistan plain, the semi-arid climate and the strong wind erosion in the region, this area should be used carefully and according to its capacity to prevent the regressive degradation of this area. Also, the result of the research shows that 63.7% of the area has the ability to be used for extensive ecotourism of the grade 2 (including those recreations that do not need many development plans, such as mountaineering, or require little development, such as fishing). The existence of Hamon International Wetland, protected areas, historical tourist attractions such as Burnt City, Gholaman Mouth, Ushida Mountain, etc. in the region can be used for the development of extensive ecotourism in the region. According to the above explanations, some areas have ecological capacity for more than one type of land use. In the map resulting from the assessment of the ecological capacity of Sistan plain, suitable areas for each type of land use are generally displayed and compared with the current land use (Figure 1).

According to Figure No.1, in a large part of the northeastern area of the region, which is only suitable for ecological protection, agricultural uses are currently taking place, which indicates a double pressure and against the land's capacity in this area. Also, in most of the areas that are considered for extensive protection and recreation uses, there are currently barren lands and pastures and forests, which shows the necessity of managing recreational programs and carrying out protective measures in this vulnerable area. In general, conservation and grazing and recreational uses should be done in harmony with the capabilities and ecological capacity of the Sistan plain with the least impacts and damages to the sensitive environment of the region.



a b

Figure (1): Comparison of the ecological potential map of Sistan Plain (a) with its current use (b) Sources: (Sargolzaie, 2019)

References

AbdelRahman, M. A., Natarajan, A., & Hegde, R. 2016. Assessment of land suitability and capability by integrating remote sensing and GIS for agriculture in Chamarajanagar district, Karnataka, India. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 19(1), 125-141.

Girmay, G., Sebnie, W., & Reda, Y. 2018. Land capability classification and suitability assessment for selected crops in Gateno watershed, Ethiopia. Cogent Food & Agriculture, 4(1), 1532863.

Karimzadeh Mutlaq, Z. 2013. Evaluation of the ecological potential of the central part of Birjand based on the method of weighted linear combination in the environment of geographic information systems, Master's thesis, Birjand University.

Makhdoum, M. et al. 2008. Evaluation of environmental planning with geographic information system (GIS), Tehran University Press, 4th edition.

Montgomery, B., Dragićević, S., Dujmović, J., & Schmidt, M. 2016. A GIS-based Logic Scoring of Preference method for evaluation of land capability and suitability for agriculture. Computers and Electronics in Agriculture, 124, 340-353.

Sargolzaei, B. 2019.Evaluation of the ecological capability of Zabol city using remote sensing technologies and geographic information system, master's thesis, Islamic Azad University, Tehran Electronics Department.

Tolche, A. D., Gurara, M. A., Pham, Q. B., & Anh, D. T. 2021. Modelling and accessing land degradation vulnerability using remote sensing techniques and the analytical hierarchy process.

Yalew, S. G., Van Griensven, A., Mul, M. L., & van der Zaag, P. 2016. Land suitability analysis for agriculture in the Abbay basin using remote sensing, GIS and AHP techniques. Modeling Earth Systems and Environment, 2(2), 1-14.

Zamani, M .2014. Evaluation of the ecological potential of the Ooz Baharestan region using GIS, master's thesis in the field of land management, Payam Noor University of Tehran Province, East Tehran Center.

پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ١٤، شماره ٢٨، پاییز و زمستان ١٤٠٢، از صفحه ١٥٩ تا ١٧٩

ارزیابی توان اکولوژیکی دشت سیستان با تلفیق مدل‌های چند عامله مخدوم و فناوری‌های سنجش‌ازدور و ساج

نادیا عباس‌زاده طهرانی*[1]، میلاد جانعلی‌پور[1]، بهمن سرگلزائی اول[2]

١. عضو هیئت‌علمی پژوهشگاه هوافضا، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، تهران، ایران
٢. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور، واحد الکترونیک دانشگاه آزاد، تهران، ایران

تاریخ وصول مقاله: ١٤٠١/١١/١٠ تاریخ پذیرش مقاله: ١٤٠٢/١٠/١١

چکیده

منابع محدود کره زمین، در صورت استفاده مطلوب و در حد توان بازسازی آن‌ها توسط جمعیت انسانی، می‌توانند به‌طور پایدار مورد بهره‌برداری قرار گیرند. هدف ارزیابی توان اکولوژیک نیز بررسی توان بالقوه سرزمین و تعیین مطلوب‌ترین نوع کاربری آن است. در تحقیق حاضر، ارزیابی توان اکولوژیکی دشت سیستان برای کاربری‌های کشاورزی و مرتع‌داری، توسعه شهری و روستایی، اکوتوریسم، جنگلداری و جنگل‌کاری، حفاظت اکولوژیک و آبزی‌پروری در سال ١٣٩٩ با استفاده از علم و فناوری سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی (ساج) و مدل‌های ارزیابی اکولوژیک چند عامله مخدوم انجام شده است. داده‌ها و اطلاعات مربوط به ٢۴ پارامتر اکولوژیکی، فیزیکی، اقلیمی و زیستی منطقه، اخذ شده از تصاویر ماهواره‌ای و یا نقشه‌های موجود، در محیط نرم‌افزارهای سنجش‌ازدوری و ساج مورد پردازش و تحلیل قرارگرفته است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که ١٠٠ درصد دشت سیستان برای کاربری حفاظت اکولوژیک، ۶٣ درصد برای طبقه ٢ کاربری اکوتوریسم گسترده و ١٩ درصد برای طبقه ۴ کاربری مرتع‌داری دارای توان اکولوژیکی است و برای سایر کاربری‌ها ازجمله انواع کشاورزی، آبزی پروری، جنگلداری و توسعه شهری و صنعتی دارای توان مناسبی نیست. نتایج مقایسه توان پهنه با کاربری فعلی آن نشان می‌دهد که در بخش وسیعی از پهنه شمال‌شرقی که فقط برای حفاظت توان دارد، در حال حاضر کشاورزی انجام می‌شود و در بخش اعظم مناطقی که برای حفاظت و تفرج گسترده در نظر گرفته شده‌اند، اراضی بایر و کاربری مرتع و بیشه‌زار وجود دارد. نتایج این تحقیق لزوم توجه بیشتر به اقدامات حفاظتی و کاهش فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی در این پهنه آسیب‌پذیر را نمایان می‌سازد. از آن جایی که فرایند ارزیابی توان اکولوژیک سرزمین، غالبا مستلزم صرف زمان و هزینه قابل ملاحظه‌ای می‌باشد، یکی دیگر از اهداف تحقیق حاضر، معرفی قابلیت تلفیق علم و فناوری سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی با مدل‌های اکولوژیک موجود، جهت ارزیابی توان اکولوژیک کشور از جهت اهمیت آن در تسریع، تدقیق و به‌روزرسانی اطلاعات و خروجی‌های مدل‌های موجود و در نهایت تسریع در فرایند آمایش سرزمین می‌شود که در حال حاضر از مهمترین چالش‌های پیش رو جهت حصول به توسعه پایدار درکشور است.

کلید واژه‌ها: ارزیابی توان اکولوژیک، مدل‌های اکولوژیکی مخدوم، دشت سیستان، سنجش‌ازدور، سامانه اطلاعات جغرافیایی

*نویسنده مسئول: Email: tehrani @ari.ac.ir

DOI: 10.22034/eiap.2024.191708

سرآغاز

امروزه تخریب محیط‌زیست در نقاط مختلف جهان موجب از دست رفتن بخش عظیمی از منابع طبیعی باارزش کره زمین می‌شود. این خسارات، ناشی از مدیریت نادرست و عدم برنامه‌ریزی صحیح جهت استفاده مناسب از منابع سرزمین است. کاهش بیش از حد منابع و استفاده غیرمنطقی انسان از سرزمین، دولت‌ها را بر آن داشته است تا در جهت حل پیامدهای متعدد ناشی از این رویه‌های نادرست، به دنبال چاره‌جویی باشند و به‌منظور استفاده هر چه بهتر و پایدارتر از منابع، شیوه‌های جایگزینی برای روش‌های مرسوم مطرح کنند. بر این اساس، روند بهره‌برداری از منابع‌طبیعی، در چارچوب‌های برنامه‌ریزی شده‌ای به نام طرح مدیریت منابع، مانند طرح‌های کشاورزی، مرتع‌داری، جنگلداری و غیره، به اجرا گذاشته شده است (Malhotra, 1980). گام اول در اجرای هر کدام از طرح‌های مذکور، ارزیابی توان اکولوژیکی منطقه است. در واقع برنامه‌ریزان باید به دنبال کاهش اثرات منفی ناشی از فعالیت‌های انسانی باشند و هرگونه اقدام جهت توسعه مناطق مسکونی و فعالیت صنعتی باید بر اساس توان و محدودیت‌های محیطی مناطق انجام شود (Shojaizadeh, 2015). ارزیابی توان اکولوژیک سرزمین، مرحله میانی فرآیند آمایش سرزمین یا برنامه‌ریزی محیط‌زیست است. این ارزیابی، اطلاعات اساسی را برای مرحله دوم آمایش سرزمین فراهم می‌کند (Makhdoum, 2012). فرآیند ارزیابی توان اکولوژیکی سرزمین شامل سه بخش عمده است: شناسایی منابع اکولوژیکی، تجزیه‌وتحلیل و جمع‌بندی منابع و ارزیابی توان اکولوژیکی. کار ارزیابی، در واقع انجام یک آزمون، ارزش‌دهی و یا سنجش است. در این سنجش، منابع اکولوژیکی محیط در برابر یک معیار و یا مقیاس مورد آزمون قرار گرفته و ارزشی به آن‌ها داده می‌شود که توان منبع در برابر معیار را تعیین می‌کند. روش‌های مختلفی جهت ارزیابی توان اکولوژیک وجود دارد که در کشور ایران به دلیل کمبود ارزیابان ماهر و سابقه نسبتاً کوتاه ارزیابی توان اکولوژیکی، از روش ارزیابی چند عامله که تقریباً تمامی منابع اکولوژیکی در مرحله تجزیه‌وتحلیل و جمع‌بندی و ارزیابی نقش دارند، بیشتر از سایر روش‌ها استفاده به عمل می‌آید می‌کند (Makhdoum, 2012). با توجه به محدودیت‌های پهنه مورد مطالعه و ضرورت برنامه‌ریزی جهت استفاده بهینه بر اساس قابلیت‌های سرزمین در دشت سیستان، هدف این حقیق، به‌کارگیری اطلاعات حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای بر مبنای علم و فناوری سنجش‌ازدور و مدل‌سازی دینامیکی پارامترهای موثر در ارزیابی توان اکولوژیک دشت سیستان در سال ۱۳۹۹، در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی است. به‌کارگیری فناوری‌های مذکور، سرعت و دقت ارزیابی را افزایش داده و در زمان و هزینه تحقیقات صرفه‌جویی می‌نماید (Sargolzaei, 2019).

پیشینه تحقیق

در راستای به‌کارگیری سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی جهت ارزیابی توان اکولوژیک پهنه‌ها در ایران و جهان تحقیقات زیادی انجام شده است. (Zamani, 2014) به شیوه چند عامله و بر اساس مدل مخدوم و با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (ساج) و با ارزیابی توان اکولوژیکی منطقه بهارستان اوز از توابع استان فارس، توان بالقوه حوضه جهت کاربری‌های کشاورزی و مرتع‌داری را مشخص نمود. (Karimzadeh Mutlagh, 2013) از روش‌های ارزیابی چند عامله، منطق فازی، ترکیب خطی وزنی و میانگین‌گیری مرتب‌شده وزنی، در تلفیق با ساج و بر اساس وزن‌دهی پارامترها به روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به ارزیابی توان اکولوژیک بخش مرکزی شهرستان بیرجند پرداخته است. (Makhdoum et al., 2008) با استفاده از ساج به شناسایی منابع اکولوژیکی و اقتصادی- اجتماعی حوزه آبخیز دادقان تفرش پرداخته‌اند. (Mahmoudi, 2016) با هدف مدل‌سازی توان اکولوژیک حوزه آبخیز رزین کرمانشاه، از ساج و فن فرآیند سلسله مراتبی برای وزن‌دار نمودن معیارها و زیرمعیارها استفاده کرده است. (Motiei Langroudi et al., 2011) با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی در محیط ساج، عرصه‌های مستعد برای توسعه فعالیت‌های کشاورزی را در محدوده مرودشت شناسایی و مطلوبیت آن‌ها را تعیین کردند. (Karami et al., 2013)، پژوهشی با عنوان ارزیابی توان اکولوژیکی برای کاربری کشاورزی با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی انجام دادند. (Rudgarmi, 2017) در مطالعه‌ای به‌منظور ارزیابی توان اکولوژیک اراضی حوضه آبخیز دماوند در شرق استان تهران از روش روی‌هم‌گذاری نقشه‌ها بر اساس قابلیت‌های ساج و مدل اکولوژیکی کاربری مرتع‌داری در ایران (مدل مخدوم) استفاده کرده است. (Akhzari

Hamdani, 2013) ارزیابی توان اکولوژیکی اکوتوریسم در استان کرمان را با به‌کارگیری ساج انجام داده است. (Rafiei, 2012) با هدف ارزیابی توان اکولوژیکی محیطزیست محدوده مخزن و شبکه آبیاری زهکشی سد گرین نهاوند، پس از شناسایی منابع اکولوژیکی (پایدار و ناپایدار) مطالعه را با به‌کارگیری سنجش‌ازدور و ساج انجام داده است. (Sharifipour & Makhdoum, 2013) با هدف تعیین کاربری منطبق بر توان سرزمین در حوزه آبخیز کبار کهک قم در قالب رهیافت تجزیه‌وتحلیل سیستمی و با استفاده از ساج، آمایش سرزمین را انجام دادند. (Arab Nakhai, 2016) با استفاده از معیارهای خاک، هیدرولوژی، شکل زمین و شاخص‌های اقتصادی- اجتماعی، توان اکولوژیک کشاورزی منطقه دشت سیستان را با کمک روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در محیط ساج ارزیابی کرده است. (Kazemi Komak, 2016) جهت برنامه‌ریزی مناسب بر اساس توان اکولوژیکی سرزمین در منطقه سیستان، داده‌های فیزیکی (شکل زمین، خاک‌شناسی، زمین‌شناسی، فرسایش و اقلیم و آب‌وهوا) بیولوژیکی (پوشش گیاهی) و اقتصادی (اراضی، زیرساخت‌ها و منابع انرژی) دشت سیستان را در محیط ساج نقشه‌سازی نمود، سپس معیارهای مناسب در ارزیابی توان محیطزیستی سرزمین برای توسعه کاربری مرتع‌داری را تعیین نموده و بر اساس رویکرد ANP-DEMATEL وزن‌دهی و اثرات متقابل آن‌ها تجزیه‌وتحلیل نمود و در نهایت با به‌کارگیری دو روش TOPSIS وSAW ، تجزیه‌وتحلیل و همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی به‌منظور تهیه نقشه نهایی تناسب اراضی منطقه صورت گرفت. (Shojaizadeh, 2015) ارزیابی توان اکولوژیک شهرستان بهبهان برای توسعه راهبردی مناطق مسکونی را انجام داد و شاخص‌های محیطزیستی، اقتصادی- اجتماعی و زیربنایی را بر اساس مدل اکولوژیک توسعه شهری و صنعتی مخدوم با استفاده از نرم‌افزارهای ساج مورد تجزیه‌وتحلیل قرار داد. (Sargolzahi, 2014) نقش آمایش در توسعه کشاورزی دشت سیستان را بررسی نمود و برای تحلیل داده‌های مکانی از نرم‌افزار ARCGIS10 بهره برد. نتایج پژوهش حاکی از آن بود که ۴۷/۲۹ درصد از سطح منطقه مورد مطالعه فاقد توان توسعه کشاورزی است. در سال‌های اخیر نیز از فناوری سنجش‌ازدور و ساج جهت ارزیابی توان اکولوژیک سرزمین در پهنه‌های مختلف در مطالعات متعددی استفاده شده است. مانند منطقه کارناتاکا کشور هند (AbdelRahman et al., 2016) و یا به‌کارگیری روش امتیازدهی ترجیحی منطقی مبتنی بر ساج برای ارزیابی قابلیت و تناسب سرزمین برای کشاورزی در منطقه کلرادو (Montgomery et al., 2016)، تجزیه‌وتحلیل تناسب اراضی برای کشاورزی در حوضه آبخیز و آسیب‌پذیری سرزمین با استفاده از سنجش‌ازدور، ساج و فرایند تحلیل سلسله مراتبی در اتیوپی (Girmay et al., 2018; Tolche et al., 2021; Yalew et al., 2016) ، ارزیابی کیفیت محیطزیست بر اساس داده‌های سنجش‌ازدوری برای یکپارچه‌سازی سرزمین (Shan et al., 2019)، تحلیل محیطزیستی کاربری و تغییرات اراضی شهرستان نجران با ساج و سنجش‌ازدور (Abd El Aal et al., 2020). بررسی مطالعات مختلف نشان داد که از تلفیق فناوری‌های نوین به خصوص سامانه اطلاعات جغرافیایی (ساج) و اطلاعات حاصل از پردارش تصاویر ماهواره‌ای با مدل‌های ارزیابی توان اکولوژیکی، جهت ارزیابی توان پهنه‌های مختلف برای انواع کاربری‌ها، بهره بسیار برده شده است. به دلیل عدم تناسب فعالیت‌های انسانی با توان سرزمین و بروز مشکلات ناشی از پیامدهای آن مانند تخریب سرزمین و عناصر آن و همچنین عدم تأمین مطلوب نیاز آبی مناطق کشاورزی در دشت سیستان، ضرورت انجام تحقیق حاضر با تلفیق فناوری‌های نوین سنجش‌ازدور و ساج، با مدل‌های ارزیابی موجود، جهت تسریع و تدقیق نتایج ارزیابی توان سرزمین پهنه مذکور، احساس شد.

ابزار و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت سیستان در شرق کشور ایران و در شمال استان سیستان و بلوچستان در پهنه‌ای پست و هموار در ۳۰ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۶۱ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی، قرار دارد. از شمال به استان خراسان جنوبی، از جنوب به زاهدان، از شرق به کشور افغانستان و از غرب به کرمان محدود است. این منطقه بر اساس آخرین تقسیم‌بندی سیاسی اداری کشور دارای پنج شهرستان زابل، زهک، هامون، هیرمند و نیمروز است. تنها منبع تامین آب دشت سیستان، رودخانه هیرمند است که از ارتفاعات بابا یغما در افغانستان سرچشمه می‌گیرد. هیچ‌گونه منبع آب زیرزمینی در دشت سیستان وجود ندارد و تنها منبع آب موجود، جریان‌های

زیرسطحی منطقه است. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نمایش می‌دهد.

شکل (۱): موقعیت دشت سیستان (یافته‌های پژوهش)

اقلیم منطقه سیستان بر اساس طبقه‌بندی کوپن اصلاح شده، اقلیم صحرایی با آب‌وهوای خیلی گرم و خشک بیابانی، در نمودار اقلیم دومارتن جزو اقلیم فراخشک بیابانی و در روش طبقه‌بندی آمبرژه در اقلیمی بیابانی گرم میانه قرار می‌گیرد و دارای تابستان‌های طولانی و زمستان‌های ملایم است. متوسط بارندگی سالانه در سیستان بسیار ناچیز و بین ۵۰ تا ۵۵ میلی‌متر است که در حدود ۷ درصد متوسط بارندگی در جهان است. میزان تبخیر سالانه، آن بسیار بالا و در حدود ۴۸۰۰ میلی‌متر گزارش شده است. متوسط حداکثر درجه حرارت در این منطقه ۳۴/۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط حداقل درجه حرارت ۲۲ درجه سانتی‌گراد است. مهم‌ترین عامل مشخصه آب‌وهوایی سیستان بادهای ۱۲۰ روزه سیستان است که از اواسط خردادماه شروع به وزیدن می‌کند و تا اوایل مهرماه ادامه دارد و جهت آن از شمال‌غربی به جنوب‌شرقی است و سرعت آنگاه از ۱۰۰ کیلومتر در ساعت نیز تجاوز می‌کند. از عواقب این پدیده می‌توان به انتقال شن و ماسه و تشدید فرسایش و افزایش میزان تبخیر اشاره کرد.

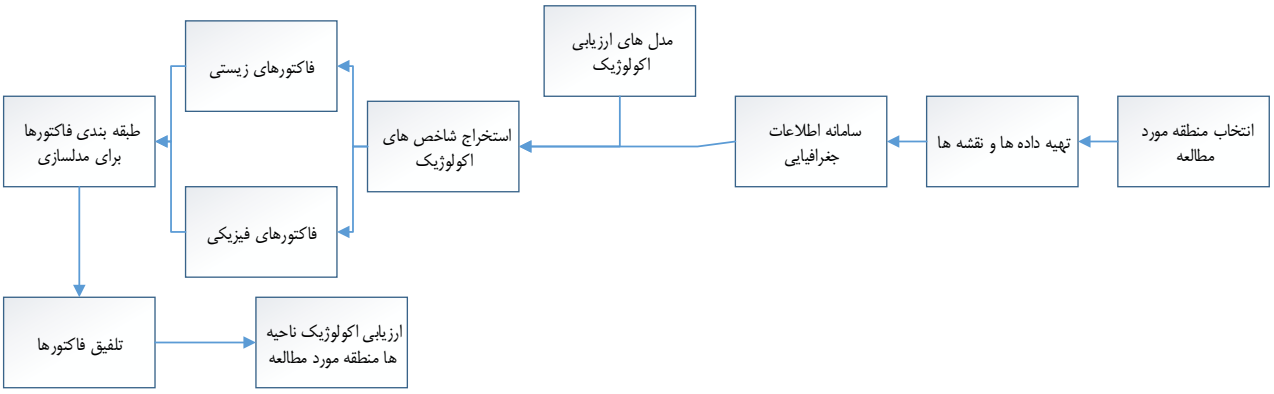
روش تحقیق

در این تحقیق، از روش ارزیابی تجزیه‌وتحلیل سیستمی استفاده شده و به‌منظور ارزیابی توان اکولوژیکی منطقه مورد مطالعه برای کاربری‌های مختلف، مدل‌های اکولوژیکی«مخدوم» به کار گرفته شده است (Sargolzaie, 2019). به‌طورکلی فرآیند انجام تحقیق شامل مراحل ذیل است:

- انتخاب مدل ارزیابی اکولوژیک: شامل توسعه شهری، کشاورزی و مرتع‌داری، جنگلداری و جنگل‌کاری، آبزی‌پروری، حفاظت و اکوتوریسم.
- انتخاب و اخذ فاکتورهای اکولوژیکی منطقه: فاکتورهای اکولوژیکی شامل مولفه‌های فیزیکی و زیستی است که به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز از روش‌های مختلفی نظیر بازدید میدانی، تصاویر ماهواره‌ای و پردازش آن‌ها توسط نرم‌افزارهای سنجش‌ازدوری، مراجعه به ادارات و سازمان‌های ذی‌ربط، استفاده شده و تمامی داده‌های مورد نیاز جمع‌آوری شده‌اند.
- ورود اطلاعات به سیستم اطلاعات جغرافیایی: به‌منظور مکانمندسازی داده‌ها از نرم‌افزار ArcGis 10.5 استفاده شد و در نهایت همه داده‌های به‌صورت فایل‌های وکتوری تهیه شدند.
- طبقه‌بندی داده‌های برای مدل‌سازی: لایه‌های اطلاعات

تهیه شده از منطقه به‌منظور استفاده در مدل‌های اکولوژیکی ایران برای کاربری‌های مختلف طبقه‌بندی و استانداردسازی شده و برای استفاده در مدل‌های ارزیابی آماده شدند.

- مدل‌سازی داده‌ها و تعیین اولویت کاربری: ابتدا تمامی داده‌هایی که در مراحل قبل جمع‌آوری و طبقه‌بندی شده‌اند به فرمت رستری تبدیل شده، سپس با استفاده از مدل‌های اکولوژیکی ایران، کار تعیین اولویت کاربری برای منطقه مورد مطالعه انجام گرفته است. در این پژوهش برای نقشه‌سازی هر یک از طبقات مذکور جهت ارزیابی توان اکولوژیک، از منطق بولین استفاده شده است بدین معنی که در هر یک از طبقات، به شرایط و ویژگی‌هایی که قابل قبول و یا مناسب‌اند کد یک و سایر شرایط که مدنظر نبوده و یا به عبارتی در این طبقات نامناسب تلقی می‌شود، کد صفر تعلق می‌گیرد (Zamani, 2014). در شکل (۲)، فلوچارت مراحل تحقیق ارایه شده است.



شکل (۲): فلوچارت مراحل انجام تحقیق (یافته‌های پژوهش)

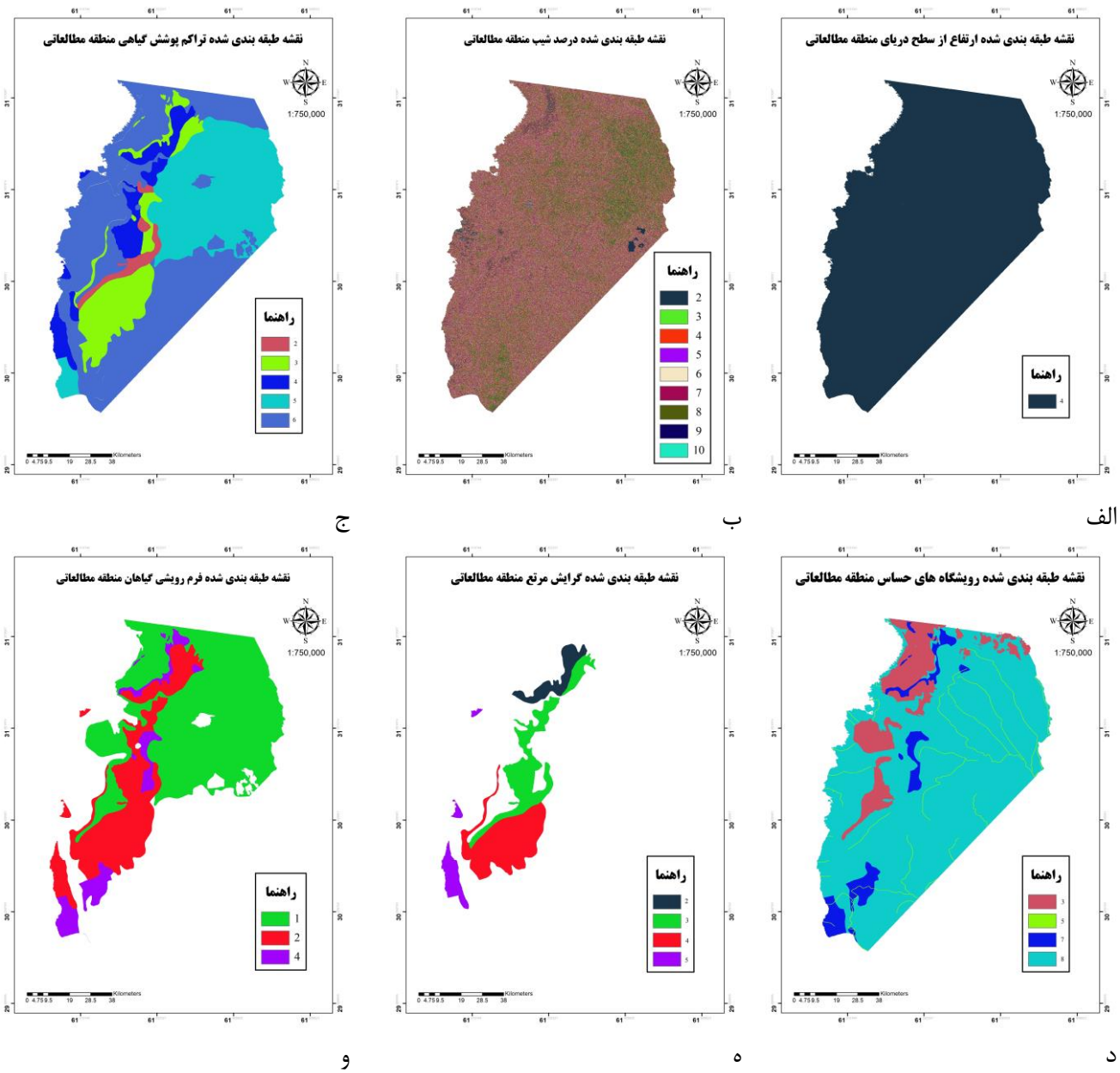
جهت طبقه‌بندی داده‌ها برای مدل‌سازی، از جداول مربوط به طبقات شاخص‌های مدنظر، شامل: خصوصیات خاک، سنگ، اقلیم، شکل زمین، پوشش گیاهی، جانداران و ژئوهیدرولوژی استفاده شده است که در مدل توان اکولوژیک مخدوم تعریف شده‌اند (Makhdoum et al., 2012).

یافته‌های تحقیق

در این پژوهش به‌منظور تعیین توان منطقه مورد مطالعه برای کاربری‌های کشاورزی و مرتع‌داری، توسعه شهری و روستایی، اکوتوریسم، جنگلداری و جنگل‌کاری، حفاظت اکولوژیک و آبزی‌پروری از مدل‌های ارزیابی اکولوژیک دکتر مخدوم استفاده شد. این مدل‌های به‌گونه‌ای توسعه یافته‌اند که پس از جمع‌آوری مناسب داده‌ها و کلاس‌بندی آن‌ها بر اساس جداول ارایه شده، می‌توان هم‌زمان توانایی سرزمین برای یک کاربری را توأم با درجه توان آن منطقه برای کاربری مذکور به‌صورت خودکار و با صرف کمترین زمان ممکن با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی برآورد کرد. جهت نیل به این هدف، ۲۴ داده شامل: بافت خاک، زهکشی خاک، اسیدیته خاک، فرسایش خاک، شوری خاک، تحویل یافتگی خاک، نوع سنگ‌ها، درصد شیب، ارتفاع از سطح دریا، ژئوهیدرولوژی، دبی آب، بارندگی، اقلیم، دما، رطوبت نسبی، روزهای آفتابی، تراکم پوشش گیاهی، فرم رویشی گیاهان، گرایش مرتع، رویشگاه‌های حساس، ارزش حفاظتی گونه‌های گیاهی، تنوع زیستی گونه‌های جانوران، ارزش گونه‌های جانوری و مناطق حفاظت شده جمع‌آوری و طبقه‌بندی شده و در نهایت از لایه‌های تهیه شده در مدل‌های ارزیابی اکولوژیک استفاده شده است. اطلاعات مذکور از بخشی از تصاویر ماهواره‌ای و بخشی نیز از سازمان‌های مختلف متولی مانند سازمان حفاظت محیط‌زیست، سازمان آب منطقه‌ای، مرکز تحقیقات کشاورزی و سازمان منابع‌طبیعی استان سیستان و بلوچستان اخذ و تهیه شدند و پس از شناسایی کلاس‌های مختلف و طبقه‌بندی آن‌ها، کلیه داده‌ها به‌صورت لایه‌های مجزا وارد نرم‌افزار ArcGIS شده و به فرمت رستری با اندازه پیکسل و مختصات جغرافیایی یکسان تبدیل‌شده‌اند.

نقشه‌ها و لایه‌های اطلاعاتی ایجادشده

لایه‌های تولید شده بر اساس طبقات جداول ارایه شده توسط مدل مخدوم و همکاران (جدول ۱) پیکسل‌های مربوط به هر کلاس ادغام شده و لایه رستری کلاس‌بندی شده جهت استفاده در ارزیابی اکولوژیکی منطقه تولیدشده است. شکل (۳) تعدادی از نقشه‌های تولید شده را نمایش می‌دهد. به دلیل حجم بالای اقدامات و پردازش‌ها، از ارایه جزییات تهیه نقشه‌ها خودداری شده است. در صورت نیاز به کسب اطلاعات بیشتر به ضمیمه۱ (نحوه تهیه داده‌ها و اطلاعات)، (Makhdoum et al., 2012) و ضمیمه۲ (نقشه‌های مستخرج از تحقیق) مراجعه شود.



شکل (۳) تعدادی از نقشه‌های تولیدشده در فرایند ارزیابی توان اکولوژیک دشت سیستان (یافته‌های پژوهش)
شامل: الف) طبقات ارتفاعی ب) شیب ج) تراکم پوشش گیاهی د) رویشگاه‌های حساس ه) گرایش مرتع و) فرم رویشی

جدول (۱): اطلاعات لایه‌های موجود در منطقه موردمطالعه مأخذ: (یافته‌های پژوهش)

نام داده	علامت اختصار	شماره طبقه	توصیف شماره طبقه
تنوع زیستی گونه‌های جانوری	Ba	۱	۱۰ تا ۱۴ گونه
ارزش حفاظتی گونه‌های جانوری	Bs	۵	جوجه‌تیغی، حشره‌خور، خفاش، خرگوش، جوندگان، جرد، جرجیل، دوپا، ول
رطوبت نسبی (درصد)	Ch	۱	کمتر از ۴۰ درصد
اقلیم	Cl1	۱	فراخشک
بارندگی	Cp	۲	کمتر از ۵۰ میلی‌متر
روزهای آفتابی	Cs	۳	بیش از ۱ روز
دما (سانتی‌گراد)	Ct	۲	۱۸/۱ تا ۲۱
		۳	۲۱/۱ تا ۲۴
		۴	۲۴/۱ تا ۳۰
ارزش حفاظتی گونه‌های گیاهی	Cvt	۳	سایر گونه‌ها
شوری خاک	dsm	۲	کمی شور
		۳	شور و سدیمی
		۴	خیلی شور
ارتفاع از سطح دریا	E	۴	۴۰۱ تا ۶۰۰
		۵	۶۰۱ تا ۱۲۰۰
فرسایش خاک	Es	۱	بدون فرسایش
		۲	فرسایش خفیف
		۳	فرسایش نسبتاً شدید
		۴	فرسایش شدید
ژئوهیدرولوژی	H	۱	بستر خشک رودخانه
		۲	دشت سیلابی
		۱۰	سایرین
سنگ‌ها	Li	۶	مخروط افکنه
		۷	شیل، رس سنگ،کنلگرومرا
		۱۰	دشت سیلابی
		۱۱	پادگانه آبرفتی
		۱۵	تپه‌های ماسه‌ای
زهکشی خاک	Pdr	۱	کامل
		۲	متوسط تا خوب
		۳	ناقص تا متوسط
اسیدیته خاک	PH	۳	۷/۱ تا ۸/۵
		۴	۸/۶ تا ۱۰
مناطق حفاظت‌شده	Pr	۸	حفاظت‌شده
		۱۳	دیگر
تحول‌یافتگی خاک	Ps1	۲	نیمه تحول‌یافته
		۴	تحول نیافته
بافت خاک	Pte	۱	شنی
		۲	شنی لومی

		۳	لومی شنی
گرایش مرتع	Rc	۲	خوب
		۳	متوسط
		۴	فقیر
		۵	خیلی فقیر
رویشگاه‌ها حساس	Si	۳	تالاب‌ها
		۵	حاشیه رودخانه‌ها
		۷	جنگل‌ها
		۸	سایرین
درصد شیب انواع توسعه	So	۲	۲/۱ تا ۵
		۳	۵/۱ تا ۸
		۴	۸/۱ تا ۱۲
		۵	۱۲/۱ تا ۱۵
		۶	۱۵/۱ تا ۲۰
		۷	۲۰/۱ تا ۲۵
		۸	۲۵/۱ تا ۴۰
		۹	۴۰/۱ تا ۶۵
		۱۰	بیش از ۶۵
فرم رویشی گیاهان	Vf	۱	یک‌ساله دوساله
		۲	بوته علفی پایا
		۴	درختچه
تراکم پوشش گیاهی	Vgo	۲	۵۱ تا ۷۵
		۳	۲۶ تا ۵۰
		۴	۶ تا ۲۵
		۵	۱ تا ۱/۵
		۶	۰ تا ۱
دبی آب	WC	۴	کمتر از ۳۰۰۰

بحث و نتیجه‌گیری

پس از جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز از منطقه با استفاده از منابع و روش‌های گوناگون که در خصوص تهیه هر یک، در ضمیمه ۱ توضیح داده شده است، داده‌ها به فرمت رستری تبدیل شد و مقادیر آن‌ها با استفاده از جدول طبقه‌بندی داده‌ها، کلاس‌بندی شد و لایه‌های استاندارد شده، تهیه شد. در مرحله بعد با به‌کارگیری مدل‌های ارزیابی اکولوژیک مخدوم و فناوری‌های سنجش‌ازدور و ساج و با هدف برآورد سریع‌تر و دقیق‌تر توان اکولوژیکی منطقه برای کاربری‌های گوناگون، توان اکولوژیک دشت سیستان برای کاربری‌های کشاورزی و مرتع‌داری، توسعه شهری و روستایی، اکوتوریسم، جنگلداری و جنگل‌کاری، حفاظت اکولوژیک و آبزی‌پروری سنجیده شد. برای نقشه‌سازی هر یک از طبقات مذکور جهت ارزیابی توان اکولوژیک از منطق بولین استفاده شده است بدین معنی که در هر یک از طبقات، به شرایط و ویژگی‌هایی که قابل‌قبول و یا مناسب‌اند، کد یک و سایر شرایط که مدنظر نبوده و یا به عبارتی در این طبقات نامناسب تلقی می‌شود، کد صفر تعلق‌گرفته است (Zamani, 2014). مدل‌ها در محیط نرم‌افزار آرک جی‌آی‌اس اجرا شدند.

توان اکولوژیکی منطقه برای کاربری‌های جنگل‌داری و جنگل‌کاری

مدل جنگلداری و جنگل‌کاری برای هفت‌طبقه توان یا درجه‌ی مرغوبیت پهنه، برنامه‌ریزی خطی شده‌اند. این مدل‌ها به‌طورکلی یک دستگاه معادلات خطی چند مجهولی با m معادله و n متغیر

هستند. در این دستگاه، جایگاه جنگلداری و جنگل‌کاری جدا شده و به‌طور منفک به‌صورت F4p (جنگل‌کاری) و F4n (جنگلداری) نشان داده شده‌اند. طبیعی است که به‌کارگیری مدل برای تصمیم‌گیری راجع به ارزیابی توان اکولوژیکی برای جنگلداری یک‌طرفه هست. یعنی می‌توان در پهنه‌های با توان مثلاً طبقه یک یا دو جنگلداری عملیات مناسب برای طبقه ۴ و ۵ و یا بیشتر انجام داد. اما نمی‌توان در پهنه‌های با توان طبقه ۴ و ۵ برای جنگلداری و جنگل‌کاری انتظار انجام جنگلداری طبقه یک را داشت. این قاعده برای بقیه مدل‌ها جهت سایر کاربری‌ها نیز صادق است. با توجه به حجم بالای مدل‌ها برای کاربری‌های مختلف، در این نوشتار تنها به ذکر الگوریتم طبقه یک مدل جنگلداری بسنده شده است. (معادله شماره ۱) جهت مطالعه بیشتر به (Makhdoum et al., 2012) مراجعه شود.

(۱)

$$F1 = E(1,2,3,4,5) + So(1,2,3,4,5,6,7) + Cp(5,6,7) + Ct(2) + Ch(2,3,4) + Li(2,7) + Pte(8,9,11,12) + Ph(1,2) + Es(1,2) + Ps1(1) + Pg(1,2) + Pd(1,2) + Ps2(1) + Pf(1) + Pdr(1) + Phg(3) + Vgo(1) + Ino(1,2) + Si(7) + Bvc(1,2) + H(10) + Pr(13) + Vf(1,2,3,4,5)$$

نتیجه بررسی منطقه مورد مطالعه برای این کاربری نشان می‌دهد دشت سیستان به‌صورت طبیعی توان اکولوژیکی جهت توسعه جنگلداری و جنگل‌کاری را دارا نیست، همچنین با بررسی اجزاء مدل مشخص گردید که شاخص‌ترین عوامل محدودکننده دشت سیستان جهت وجود توان اکولوژیک برای این نوع کاربری شامل موارد ذیل است:

- منطقه موردمطالعه داری میانگین بارندگی سالیانه‌ای کمتر از ۶۰ میلی‌متر بوده در حالی که برای داشتن توان این نوع کاربری به بارندگی بین ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌متر نیاز است.
- میانگین درصد رطوبت نسبی محدوده موردمطالعه کمتر از ۴۰ درصد است در حالی که برای داشتن توان کافی جهت ۴ درجه توان از این نوع کاربری بایستی بین ۴۰ تا ۱۰۰ درصد رطوبت نسبی در منطقه وجود داشته باشد.
- فاکتورهایی نظیر نوع بافت، اسیدیته، تحول‌یافتگی و زهکشی خاک که در اکثر درجه توان‌های این نوع کاربری بین مقادیر موجود در منطقه با مقادیر مورد نیاز سازگاری مورد نیاز وجود نداشت.

توان اکولوژیکی منطقه برای کاربری‌های توسعه شهری، صنعتی، روستایی، نظامی و مهندسی

نتیجه محاسبات نشان داد که دشت سیستان به‌صورت طبیعی توان اکولوژیکی جهت توسعه این نوع از کاربری‌ها را دارا نیست، همچنین با بررسی اجزاء مدل مشخص گردید که شاخص‌ترین عوامل محدودکننده دشت سیستان جهت وجود توان اکولوژیک برای این نوع کاربری شامل مواردی نظیر میزان بارندگی سالیانه کمتر از ۶۰ میلی‌متر، میانگین رطوبت نسبی هوای کمتر از ۴۰ درصد، عدم وجود سنگ‌بستر مناسب، نامناسب بودن نوع بافت خاک‌های منطقه، دبی آب ورودی به منطقه کمتر از ۳۰۰۰ مترمکعب بر هکتار همچنین و ارتفاع کم از سطح دریا هست.

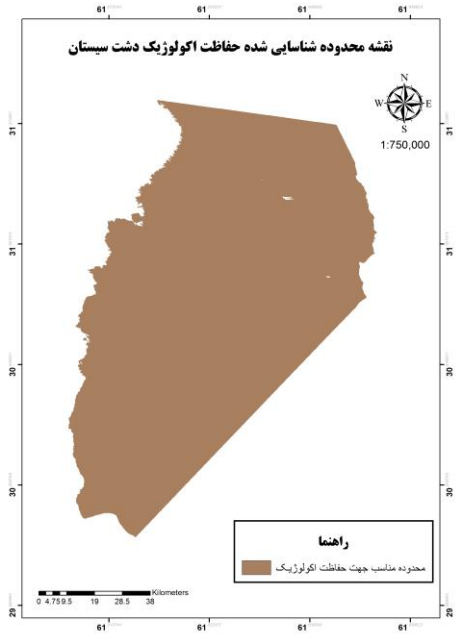
توان اکولوژیکی منطقه برای کاربری آبزی‌پروری

نتایج محاسبات برای کاربری مذکور نشان می‌دهد که دشت سیستان به‌صورت طبیعی توان اکولوژیکی جهت توسعه کاربری آبزی‌پروری را دارا نیست، همچنین با بررسی اجزاء مدل مشخص گردید که به‌طورکلی بیشترین عوامل محدودکننده دشت سیستان جهت وجود توان اکولوژیک برای این نوع کاربری شامل نوع بافت خاک نامناسب منطقه و همچنین دبی آب ورودی کمتر از ۳۰۰۰ مترمکعب بر هکتار در سال است.

توان اکولوژیکی منطقه برای حفاظت اکولوژیک

با بررسی پارامترهای موجود در مدل تهیه شده برای این نوع از کاربری برای محدوده موردمطالعه مشخص گردید کل این محدوده معادل ۸۱۹۴۹۵ هکتار مستعد اعمال این نوع کاربری بوده و از مهم‌ترین عواملی که باعث این نتیجه گردیده می‌توان به مواردی اشاره کرد شامل: جاری شدن سیلاب‌های فصلی از حوضه آبریز رودخانه هیرمند (از سمت کشور افغانستان) به حوضه دشت سیستان، وزش بادهای شدید و تقریباً مداوم (بادهای ۱۲۰ روزه در فصل تابستان و همچنین وزش باد در اکثر روزهای سال در منطقه) که منجر به فرسایش شدید بادی می‌گردد، عدم توازن در آورد رودخانه هیرمند در بازه زمانی ماهانه و سالیانه، خشک‌سالی‌های پی‌درپی و طولانی مدت، میزان بارندگی بسیار ناچیز (کمتر از ۶۰ میلی‌متر در سال) و همچنین میزان تبخیر بسیار بالا (بیش از ۴۰۰۰ میلی‌متر در سال) و وجود تالاب بین‌المللی هامون که قسمتی از آن نیز در خاک افغانستان قرار

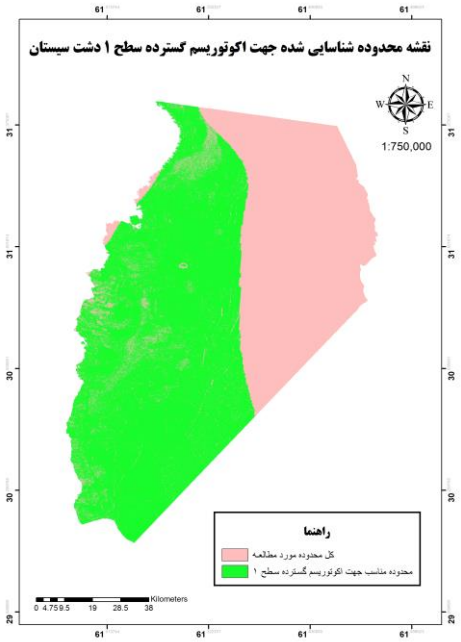
گرفته و تقریباً همه‌ساله در صورت جاری شدن سیلاب‌های فصلی پذیرای گونه‌های مختلف پرندگان مهاجر بوده و جزو زیستگاه‌های نادر با گونه‌های در حال انقراض در منطقه محسوب می‌گردد. شکل (۴) نیز نقاط مستعد این مدل کاربری در منطقه موردمطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۴): نقشه محدوده مناسب جهت کاربری حفاظت اکولوژیک (یافته‌های پژوهش)

توان اکولوژیکی حوضه موردمطالعه برای کاربری اکوتوریسم

بررسی توان منطقه موردمطالعه برای این مدل کاربری در ۲ طبقه برای اکوتوریسم گسترده و ۲ طبقه برای اکوتوریسم متمرکز نشان داد که مناطقی از دشت سیستان توان اکولوژیکی جهت توسعه اکوتوریسم گسترده طبقه ۱ را داراست که در شکل (۵)، محدوده دارای تناسب لازم این سطح نمایش داده شده است و از مجموع ۸۱۹۴۹۵ هکتار مساحت کل محدوده موردمطالعه مقدار ۵۲۲۱۲۷ هکتار را شامل می‌گردد. با بررسی پارامترهای سطوح دیگر این مدل مشخص شد منطقه موردمطالعه توان اکولوژیکی برای این سطوح از کاربری را دارا نیست، همچنین با بررسی اجزاء مدل‌ها، بیشترین عوامل محدودکننده توان دشت سیستان برای سایر سطوح این نوع کاربری، مشخص شد. عوامل مذکور شامل میزان دبی آب ورودی کمتر از ۳۰۰۰ مترمکعب بر هکتار در سال، نوع سنگ‌بستر نامناسب و میانگین تعداد روزهای آفتابی بیش از ۱۵ روز در ماه است.



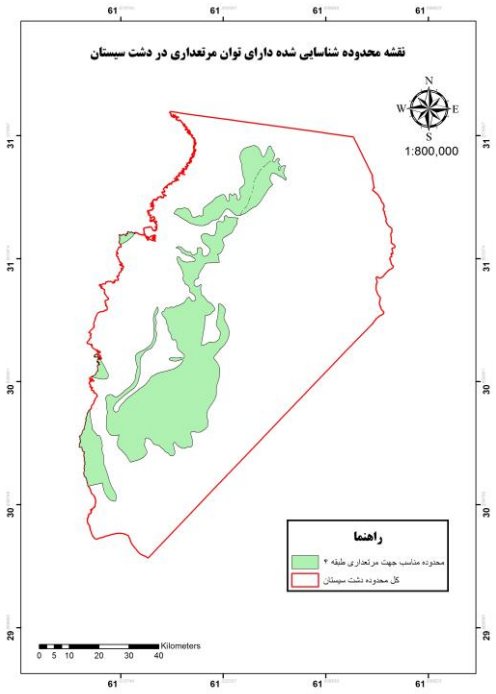
شکل (۵): نقشه محدوده مناسب جهت کاربری اکوتوریسم (یافته‌های پژوهش)

توان اکولوژیکی حوضه مورد مطالعه برای کاربری‌های کشاورزی و مرتع‌داری

نتیجه بررسی منطقه موردمطالعه بر اساس سطوح مختلف این مدل از کاربری در محدوده موردمطالعه نشان می‌دهد که در حال حاضر با توجه به پارامترهای بررسی شده منطقه به‌صورت طبیعی توان اکولوژیکی جهت توسعه کاربری‌های کشاورزی، دام‌پروری، مرغداری، زنبورداری، نوغان‌داری و باغبانی را نداشته ولی توان اکولوژیکی ضعیفی برای مرتع‌داری دارا بوده که از مجموع ۸۱۹۴۹۵ مساحت کل محدوده مورد مطالعه مقدار ۱۵۴۲۸۷ هکتار دارای توان طبقه ۴ مرتع‌داری است و شکل (۶) نشان‌دهنده محدوده مذکور می‌باشد. همچنین با بررسی اجزاء مدل مشخص گردید بیشترین عوامل محدودکننده دشت سیستان جهت وجود توان اکولوژیک برای کاربری‌های مرتبط با بخش کشاورزی و مرتع‌داری شامل مواردی به شرح ذیل است:

محدوده مورد مطالعه بر اساس اقلیم دومارتن اصلاح شده دارای اقلیم فراخشک بوده که مهم‌ترین عامل محدودکننده در منطقه برای داشتن این نوع توان است. میزان بارندگی سالیانه کمتر از ۶۰ میلی‌متر و میزان تبخیر بیش از ۴۰۰۰ میلی‌متر که باعث به وجود آمدن خشکی شدید در اراضی محدود موردمطالعه به‌خصوص در فصول گرم سال می‌گردد. میانگین درصد رطوبت نسبی هوا در محدوده موردمطالعه کمتر از ۴۰ درصد است که برای داشتن توان

اکولوژیکی کافی برای این نوع از کاربری‌ها کافی نیست. دبی آب ورودی به اراضی محدوده مورد مطالعه کمتر از ۳۰۰۰ مترمکعب در سال بوده که مقدار قابل‌قبولی برای داشتن کشاورزی پایدار در منطقه نیست. خاک منطقه اکثراً دارای بافت سنگین، درصد املاح بالا، تحول‌یافتگی کم، زهکشی ضعیف است که از دیگر محدودیت‌های به وجود آمده جهت داشتن توان اکولوژیکی برای این نوع کاربری می‌باشد.



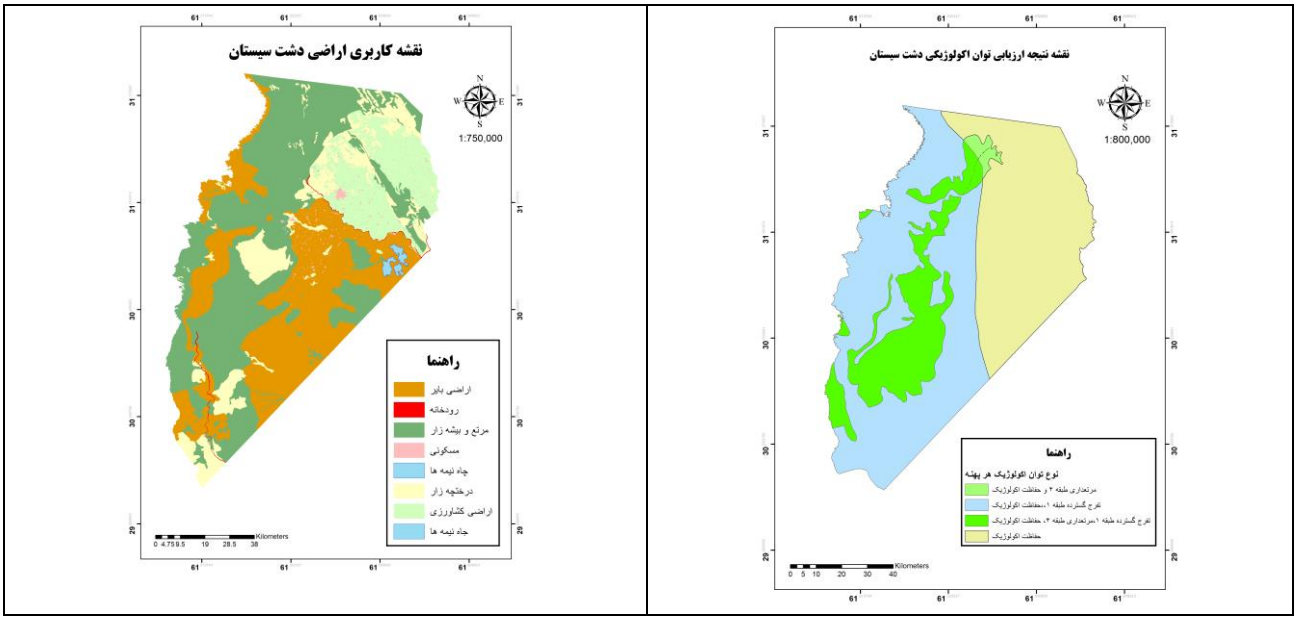
شکل (۶) : نقشه حاصل از بررسی مدل کشاورزی و مرتع‌داری در دشت سیستان (یافته‌های پژوهش)

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش، تهیه نقشه توان اکولوژیکی دشت سیستان با استفاده از فناوری‌های سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی است که از تلفیق فناوری‌های فوق با مدل‌های اکولوژیکی مخدوم بهره برده است. با توجه به بررسی پارامترهای اکولوژیکی محدوده موردمطالعه و استفاده از مدل‌های چندعاملی مذکور، مشخص شد که تقریباً همه محدوده دشت سیستان جهت کاربری حفاظت اکولوژیک مستعد بوده و لازم است اصول حفاظتی در آن رعایت شود. نتیجه بررسی نشان داد که ۱۸/۸ درصد محدوده موردمطالعه دارای توان ضعیفی برای مرتع‌داری (مرتع‌داری طبقه ۴) بوده که اکثراً این مناطق در حاشیه تالاب هامون قرار دارد، با توجه به این‌که منبع آب تالاب سیلاب‌های فصلی ورودی از کشور افغانستان است و نظر به این که سدها و بندهای متعددی در مسیر رودخانه هیرمند در کشور افغانستان احداث شده و اکثر فصول از ورود آب به دشت سیستان ممانعت به عمل می‌آورند، همچنین میزان تبخیر بالای دشت سیستان، اقلیم فراخشک و فرسایش شدید بادی موجود در منطقه، لازم است که در بهره‌برداری از همین منطقه محدود نیز نهایت دقت به عمل آید و با توجه به توان آن مورد بهره‌برداری قرار گیرد تا از سیر قهقرایی تخریب این منطقه نیز جلوگیری شود. همچنین نتیجه تحقیق نشان می‌دهد ۶۳/۷ درصد از منطقه استعداد کاربری اکوتوریسم گسترده طبقه ۲ را دارا است (شامل آن دسته از تفرج‌ها که نیاز به طرح‌های توسعه زیادی ندارند، مانند کوهنوردی یا نیازمند توسعه اندک هستند، مانند ماهیگیری). وجود تالاب بین‌المللی هامون، مناطق حفاظت‌شده، جاذبه‌های گردشگری تاریخی مانند شهر سوخته، دهانه غلامان، کوه اوشیدا و غیره در منطقه می‌تواند جهت توسعه اکو توریسم گسترده در منطقه مورد استفاده قرار گیرند. با توجه به توضیحات فوق، تعدادی از پهنه‌ها دارای توان اکولوژیکی برای بیش از یک نوع کاربری می‌باشند که در نقشه حاصل از ارزیابی توان اکولوژیکی دشت سیستان، پهنه‌های مناسب برای هر نوع کاربری نمایش داده شده و با کاربری اراضی فعلی مقایسه شده است شکل(۷) .

همان‌طور که در شکل(۷) مشاهده می‌شود، در بخش وسیعی از پهنه شرق و شمال‌شرقی دشت سیستان که تنها برای کاربری حفاظت توان اکولوژیک دارد (رنگ زرد در شکل الف)، در حال حاضر به کاربری کشاورزی و یا اراضی بایر اختصاص یافته (رنگ سبز روشن و قهوه‌ای در شکل ب) که نشان‌دهنده فشار مضاعف و برخلاف توان زمین در این محدوده است. همچنین در بخش اعظم مناطقی که برای حفاظت و تفرج گسترده طبقه ۱ در نظر گرفته شده‌اند (رنگ آبی در شکل الف) در حال حاضر اراضی بایر و کاربری مرتع و بیشه‌زار وجود دارد (رنگ قهوه‌ای و سبز تیره در شکل ب) و مناطقی که برای تفرج گسترده طبقه ۱ و مرتع‌داری طبقه ۴ و حفاظت اکولوژیک دارای توان مناسب تشخیص داده‌شده‌اند (سبز پررنگ در شکل الف) در حال حاضر به مرتع و بیشه‌زار و بخش محدودی درختچه زار (رنگ سبز تیره و زرد در شکل ب) اختصاص دارند که لزوم مدیریت برنامه‌های تفرجی و انجام اقدامات حفاظتی در این منطقه آسیب‌پذیر را نمایان می‌سازد. جدول (۲) درصد مساحت هر طبقه توان اکولوژیک

دشت سیستان و همچنین کاربری اراضی فعلی در هر طبقه ارزیابی توان را نمایش می‌دهد.



الف ب

شکل (۷): مقایسه نقشه توان اکولوژیکی دشت سیستان(الف) با کاربری فعلی آن (ب) (یافته‌های پژوهش)

جدول ۲ : درصد مساحت هر طبقه توان اکولوژیک دشت سیستان و کاربری اراضی فعلی در هر طبقه توان

		طبقات توان اکولوژیک دشت سیستان			
		مرتع‌داری طبقه ۴ + حفاظت	تفرج گسترده طبقه ۱ + حفاظت	تفرج گسترده ط ۱ + مرتع‌داری ط ۴ + حفاظت	حفاظت
درصد مساحت طبقات توان (٪)		۱/۱	۴۵/۹	۱۷/۷	۳۵/۲
کاربری اراضی فعلی (درصد مساحت)	جنگل	۱۰	۹	۱۱	۱۴
	اراضی بایر	۰	۴۵	۱۹	۲۳
	مرتع و بیشه‌زار	۸۸	۴۴	۷۰	۲۴
	شهری	۰	۰	۰	۲
	کشاورزی	۲	۰	۰	۳۳
	رودخانه	۰	۰	۰	۰
	جاه نیمه	۰	۰	۰	۲

همان‌طور که در جدول (۲) ارایه شده است، از کل پهنه دشت سیستان ۱/۱ درصد توان توأم حفاظت و مرتع‌داری طبقه ۴ دارد که از این میزان، ۱۰ درصد آن در حال حاضر کاربری جنگل و ۸۸ درصد مرتع و بیشه‌زار و ۲ درصد به کشاورزی اختصاص داده شده است. ۴۵/۹ درصد پهنه توان توأم حفاظت و تفرج گسترده طبقه ۱ دارد که در حال حاضر ۹ درصد آن جنگل، ۴۵ درصد اراضی بایر و ۴۴ درصد مرتع و بیشه‌زار می‌باشند. ۱۷/۷درصد از مساحت دشت سیستان توان توأم حفاظت، تفرج گسترده طبقه۱ و مرتع‌داری طبقه ۴ دارد که در حال حاضر کاربری ۱۱ درصد آن جنگل، ۱۹ درصد اراضی بایر و ۷۰ درصد آن مرتع و بیشه‌زار

است. ۳۵/۲ درصد پهنه فقط دارای توان برای حفاظت اکولوژیک است که در این بین در حال حاضر ۱۴ درصد آن جنگل، ۲۳ درصد اراضی بایر، ۲۴ درصد مرتع و بیشه‌زار و ۳۳ درصد کشاورزی و ۲ درصد چاه نیمه می‌باشند. از دیدگاهی دیگر، ۱۰۰ درصد دشت سیستان برای کاربری حفاظت اکولوژیک، ۶۳ درصد برای طبقه ۲ کاربری اکوتوریسم گسترده و ۱۹ درصد برای طبقه ۴ کاربری مرتع‌داری دارای توان اکولوژیکی است و برای سایر کاربری‌ها از جمله انواع کشاورزی، آبزی‌پروری، جنگلداری و توسعه شهری و صنعتی دارای توان مناسبی نیست. به‌طورکلی نتایج تحقیق نشان می‌دهد که در تمامی پهنه کاربری غالب هماهنگ با قابلیت‌ها و توان اکولوژیک دشت سیستان، از نوع حفاظتی است و همچنین سایر کاربری‌های مجاز شامل مرتع‌داری و تفرج گسترده نیز باید با کمترین نشانگان و آسیب به محیط‌زیست حساس منطقه انجام شود. همچنین از آنجایی که فرایند ارزیابی توان اکولوژیک سرزمین، شامل تهیه و تلفیق و به‌روزرسانی داده‌های متعدد از شرایط مختلف اکولوژیکی، فیزیکی، اقلیمی و زیستی پهنه مورد بررسی است که غالباً مستلزم صرف زمان و هزینه فراوانی است، یکی از اهداف از تحقیق حاضر، معرفی قابلیت تلفیق علم و فناوری سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی با مدل‌های اکولوژیک موجود جهت ارزیابی توان اکولوژیک کشور از جهت اهمیت آن در تسریع، تدقیق و به‌روزرسانی اطلاعات و خروجی‌های مدل‌های موجود و در نهایت تسریع در فرایند آمایش سرزمین می‌شود که در حال حاضر از مهم‌ترین چالش‌های پیش رو جهت حصول به توسعه پایدار در کشور است.

منابع

Abd El Aal, A. K., Kamel, M., & Alyami, S. H. 2020. Environmental analysis of land use and land change of Najran city: GIS and remote sensing. Arabian Journal for Science and Engineering, 45(10), 8803-8816. (in Persian)

AbdelRahman, M. A., Natarajan, A., & Hegde, R. 2016. Assessment of land suitability and capability by integrating remote sensing and GIS for agriculture in Chamarajanagar district, Karnataka, India. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 19(1), 125-141.

Akhzari Hamedani, M. 2013. Evaluating the ecological potential of eco-tourism using fuzzy logic and AHP in GIS environment (case study: Kerman province), Master's thesis, University of Advanced Industrial and Technological Education. (in Persian)

Arab Nakhai, R. 2016. Assessment of suitability of agricultural lands using FDAHP integrated model (case study: Sistan plain), master's thesis, Birjand University. (in Persian)

Girmay, G., Sebnie, W., & Reda, Y. 2018. Land capability classification and suitability assessment for selected crops in Gateno watershed, Ethiopia. Cogent Food & Agriculture, 4(1), 1532863.

Karami, A; Hosseini Nasr, M.; Jalilvand, H. & Mir Yaqoubzadeh, M. H. 2013. Evaluation of the ecological potential of the Babol River basin for agricultural use using the Analytical Hierarchy Process (AHP), Journal of Natural Ecosystems of Iran, Volume 5, Number 1, pp. 37-48. (in Persian)

Karimzadeh Mutlagh, Z. 2013. Evaluation of the ecological potential of the central part of Birjand based on the weighted linear combination method in geographic information systems, master's thesis, Birjand University. (in Persian)

Kazemi komak, R. 2016. Evaluation of the land suitability of the land for the development of pasture land using spatial multi-criteria decision-making methods (case study of the Sistan plain), master's thesis, Zabul University. (in Persian)

Mahmoudi, S. 2016. Modeling the ecological capacity of Kermanshah Resin watershed using the approach of fuzzy hierarchical analysis process and geographic information system, master's thesis, Razi University of Kermanshah. (in Persian)

Makhdoum, M. 2012. Shalode Amash Sarzamin, Tehran University Press, 15th edition. (in Persian)

Makhdoum, M. et al. 2008. Evaluation of environmental planning with Geographic Information System (GIS), Tehran University Press, 4th edition. (in Persian)

Makhdoum, M.; Darvish Sefat, A. A; Hoorfarzadeh, J. & Makhdoum, A. 2012. Environmental assessment and planning with Geographic Information System, Tehran University Press, page 27. (in Persian)

Malhotra. R.C.1980. Environmental management: Intregrated Rural 277.

Montgomery, B., Dragićević, S., Dujmović, J., & Schmidt, M. 2016. A GIS-based Logic Scoring of Preference method for evaluation of land capability and suitability for agriculture. Computers and Electronics in Agriculture, 124, 340-353.

Motiei Langroudi, S. Nasiri, H. Azizi, A. & Mustafaei, A. 2012. Modeling the ecological potential of the land from the perspective of agricultural and pasture uses using the FUZZY AHP method in the teak environment of a case study of Maroodasht city), University of Tehran Journal of Land Studies, Volume 4, Number 6, pp. 101 to 124. (in Persian)

Rafiei Mirza, A. 2012. Evaluation of the ecological potential of the environment in the Geographical Information System (GIS) and satellite images (case study: the area of the reservoir and the irrigation network of the Green Nahavand dam), master's thesis, Islamic Azad University, Yazd branch. (in Persian)

Rudgarmi, P. 2017. Preliminary evaluation of the ecological potential of the Damavand watershed for pasture use by Geographic Information System, the fifth conference of geographic information systems. (in Persian)

Sargolzaei, B. 2019. Evaluation of the ecological potential of Zabol city using Remote Sensing (RS) technologies and Geographic Information System (GIS), master's thesis, Islamic Azad University, Tehran Electronics Department. (in Persian)

Sargolzahi, S. 2014. Study and analysis of Sistan plain with emphasis on agricultural development, master's thesis, Zabul University. (in Persian)

Shan, W., Jin, X., Ren, J., Wang, Y., Xu, Z., Fan, Y., Gu, Z., Hong, C., Lin, J., & Zhou, Y. 2019. Ecological environment quality assessment based on remote sensing data for land consolidation. Journal of Cleaner Production, 239, 118126.

Sharifipour, R., & Makhdoum, M. 2013. Land survey of the Kabar-Kahk Qom watershed (using geographic information system). Environmental Science, 30(34)

Shojaeizadeh, A. 2016. Evaluation of the ecological potential of Behbahan city in the direction of strategic development of sustainable residence and activity, Master's thesis, Allameh Tabatabai University. (in Persian)

Tolche, A. D., Gurara, M. A., Pham, Q. B., & Anh, D. T. 2021. Modelling and accessing land degradation vulnerability using remote sensing techniques and the analytical hierarchy process approach. Geocarto International, 1-21.

Yalew, S. G., Van Griensven, A., Mul, M. L., & Van der Zaag, P. 2016. Land suitability analysis for agriculture in the Abbay basin using remote sensing, GIS and AHP techniques. Modeling Earth Systems and Environment, 2(2), 1-14.

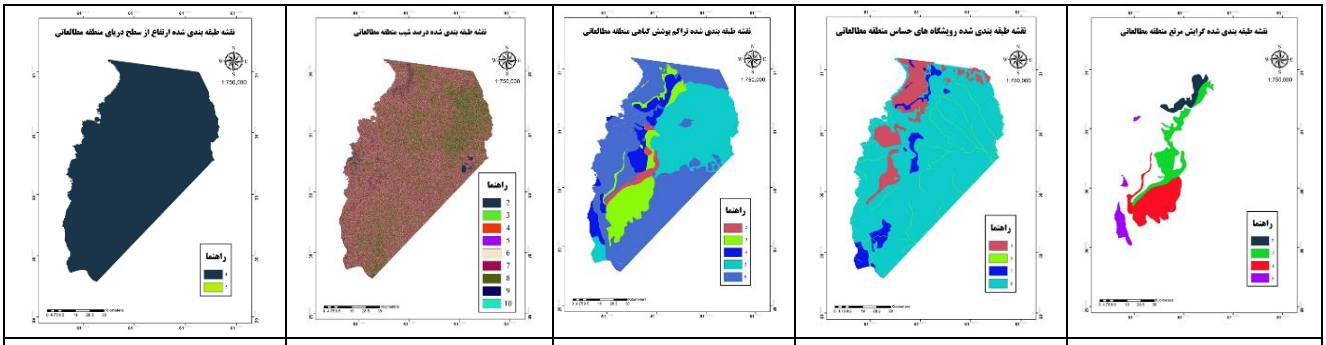
Zamani, M. 2014. Evaluation of the ecological potential of Oz Baharestan region using GIS, master's thesis in the field of land management, Payam Noor University of Tehran Province, East Tehran Center. (in Persian)

ضمیمه ۱: نحوه تهیه داده‌ها و اطلاعات موردنیاز

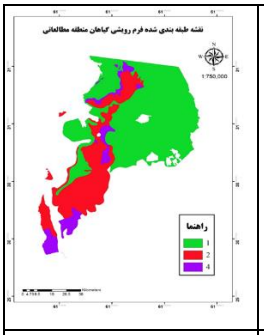
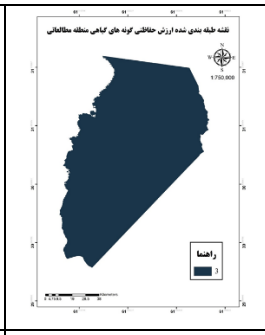
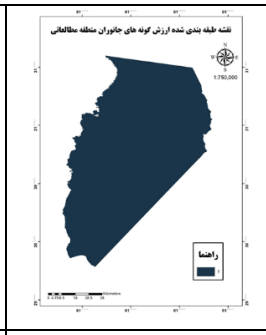
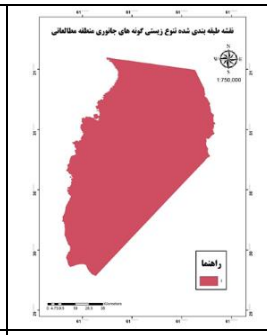
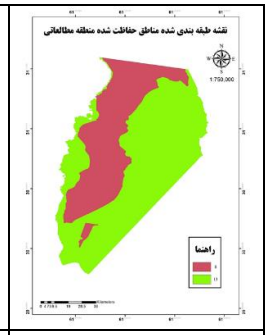
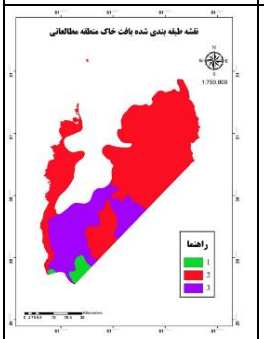
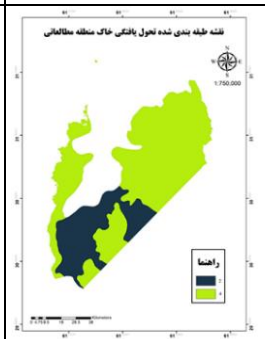
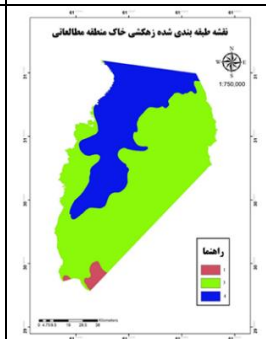
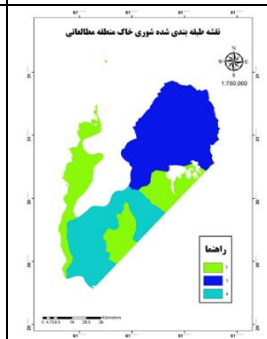
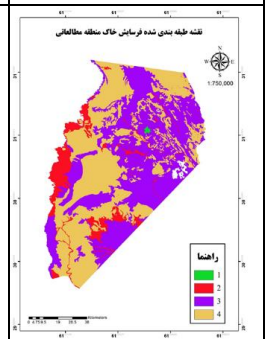
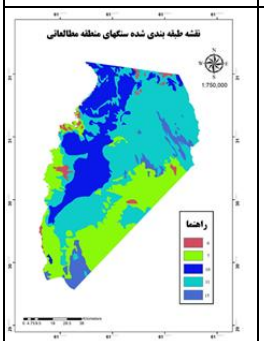
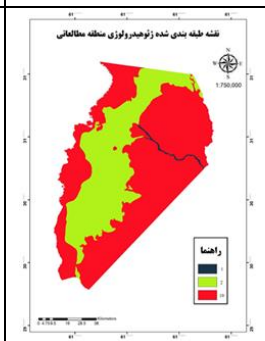
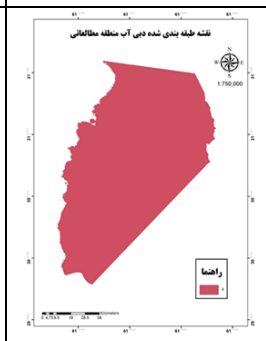
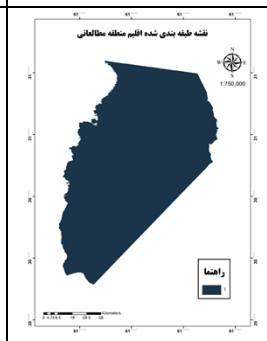
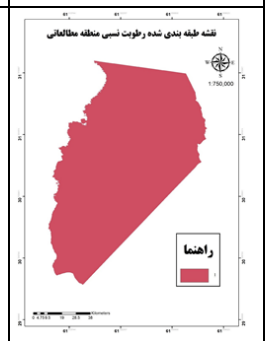
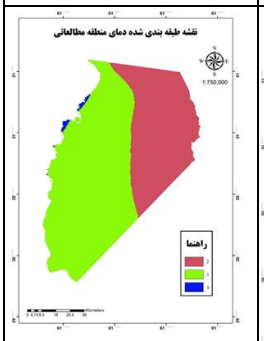
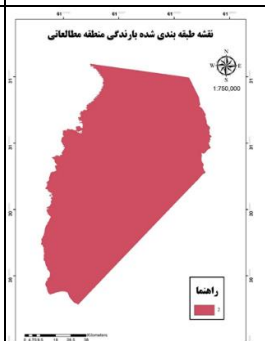
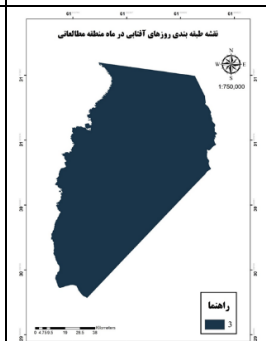
شماره	شاخص	توضیحات
۱	ارتفاع از سطح دریا	با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل رقومی ارتفاع، تغییرات ارتفاع در محدوده دشت سیستان به دست آمد که در دوطبقه (۴۰۱–۶۰۰ متر) و (۶۰۱–۱۲۰۰ متر) به ترتیب با شماره طبقات ۴ و ۵ قرار می‌گیرد.
۲	درصد شیب	با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل رقومی ارتفاعی (۳۰ متری) منطقه ، لایه درصد شیب تهیه و طبقه‌بندی شد
۳	تراکم پوشش گیاهی	با استفاده با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، درصد پوشش گیاهی منطقه موردمطالعه مشخص و طبقه‌بندی انجام شد.
۴	رویشگاه‌های حساس	با استفاده از نقشه‌های کاربری زمین و نوع پوشش گیاهی، نقشه رویشگاه‌های حساس منطقه تهیه و پس از طبقه‌بندی مشخص گردید منطقه موردمطالعه دارای طبقات ۸،۷،۵،۳ هست.
۵	گرایش مرتع	با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، وضعیت مراتع منطقه موردمطالعه مشخص گردید و در نهایت نقشه گرایش مرتع منطقه با ۴ طبقه شامل طبقات ۲،۳،۴،۵ تهیه شد.
۶	ارزش حفاظتی گونه‌های گیاهی	با مراجعه به اداره محیط‌زیست و منابع طبیعی سیستان اطلاعات این بخش جمع‌آوری و با استفاده از جدول طبقه‌بندی مشخص گردید منطقه سیستان دارای طبقه ۳ هست.
۷	ارزش گونه‌های جانوران	با بررسی اطلاعات سازمان حفاظت محیط‌زیست و منابع طبیعی منطقه سیستان در خصوص گونه‌های جانوری و مطابقت با جدول طبقه‌بندی به‌منظور مدل‌سازی مشخص گردید منطقه موردمطالعه در طبقه ۵ قرار می‌گیرد.
۸	فرم رویشی گیاهان	با استفاده از نقشه‌های نوع پوشش گیاهی و کاربری اراضی اخذ شده از سازمان منابع طبیعی استان سیستان و بلوچستان، همچنین بررسی‌های میدانی انجام‌شده در منطقه موردمطالعه در نهایت نقشه فرم رویشی گیاهان منطقه تهیه و با استفاده از جدول طبقه‌بندی مشخص گردید طبقات ۲،۱ و ۴ در منطقه موردمطالعه موجود است.
۹	تنوع زیستی گونه‌های جانوری	با بررسی اطلاعات سازمان حفاظت محیط‌زیست و منابع‌طبیعی منطقه سیستان در خصوص تنوع‌زیستی گونه‌های جانداران و مطابقت با جدول طبقه‌بندی به‌منظور مدل‌سازی مشخص گردید منطقه موردمطالعه در طبقه ۱ قرار می‌گیرد.
۱۰	شوری خاک	با استفاده از نقشه شوری خاک منطقه سیستان که توسط سارمان مطالعات آب‌وخاک کشور و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سیستان تهیه گردیده است و مطابقت با جدول طبقه بندی داده‌ها مشخص گردید منطقه موردمطالعه شامل طبقات ۴،۳،۲ هست.
۱۱	زهکشی خاک	از نقشه نوع خاک منطقه سیستان که توسط سازمان مطالعات آب‌وخاک کشور و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع‌طبیعی سیستان تهیه گردیده است، توان زهکشی خاک منطقه موردمطالعه مشخص و با استفاده از جدول طبقه بندی داده‌ها مشخص گردید منطقه موردمطالعه شامل طبقات ۴،۳،۱ است.
۱۲	تحول‌یافتگی خاک	از نقشه نوع خاک منطقه سیستان که توسط سازمان مطالعات آب‌وخاک کشور و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع‌طبیعی سیستان تهیه گردیده است، درجه تحول‌یافتگی خاک مشخص و با استفاده از جدول طبقه بندی داده‌ها مشخص گردید منطقه موردمطالعه شامل طبقات ۲ و ۴ هست.
۱۳	مناطق حفاظت‌شده	منطقه سیستان دارای منطقه حفاظت‌شده تالاب بین‌المللی هامون است، نقشه محدوده حفاظت شده از سازمان حفاظت محیط‌زیست اخذ گردید و با توجه به جدول طبقه‌بندی داده‌ها مشخص گردید منطقه موردمطالعه شامل طبقات ۸ و ۱۳ است.
۱۴	بافت خاک	با استفاده از نقشه نوع خاک منطقه سیستان که توسط سارمان مطالعات آب‌وخاک کشور و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع‌طبیعی سیستان تهیه گردیده است و مطابقت با جدول طبقه‌بندی داده‌ها مشخص گردید منطقه موردمطالعه شامل طبقات ۳،۲،۱ است.

۱۵	فرسایش خاک	با استفاده از نقشه اخذ شده از سازمان منابع‌طبیعی کشور، میزان فرسایش خاک منطقه موردمطالعه مشخص گردیده و با توجه به جدول طبقه‌بندی داده‌ها مشخص گردید منطقه موردمطالعه شامل طبقات ۴،۳،۲،۱ می‌باشد.
۱۶	نوع سنگ‌ها	با استفاده از نقشه نوع سنگ‌ها که از سازمان زمین‌شناسی کشور اخذ شد و تطبیق نوع سنگ‌ها با جدول طبقه‌بندی داده‌ها مشخص گردید منطقه موردمطالعه دارای طبقات ۱۵،۱۱،۱۰،۷،۶ هست.
۱۷	ژئوهیدرولوژی	نقشه ژئوهیدرولوژی از سازمان زمین‌شناسی کشور اخذ گردیده و پس از طبقه‌بندی مشخص شد که منطقه موردمطالعه دارای طبقات ۱۰،۲،۱ هست.
۱۸	روزهای آفتابی در ماه	با استفاده از داده‌های اخذشده از ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی واقع در دشت سیستان مشخص گردید مجموع روزهای آفتابی منطقه در ماه بیشتر ۱۵ روز هست، بنابراین بر اساس جدول طبقه‌بندی داده‌ها منطقه موردمطالعه در طبقه ۳ قرار می‌گیرد.
۱۹	بارندگی	با استفاده از داده‌های اخذشده از ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی واقع در دشت سیستان مشخص گردید مجموع بارندگی سالانه این کمتر از ۶۰ میلی‌متر هست، بنابراین بر اساس جدول طبقه‌بندی داده‌ها منطقه موردمطالعه در طبقه ۲ قرار می‌گیرد.
۲۰	دما	با استفاده از لایه خطوط هم‌دما که از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد و همچنین مقایسه مقادیر موجود با جدول طبقه‌بندی داده‌ها مشخص گردید منطقه موردمطالعه شامل طبقات ۴،۳،۲ است.
۲۱	رطوبت نسبی	با استفاده از داده‌های اخذشده از ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی واقع در دشت سیستان مشخص گردید متوسط رطوبت نسبی سالانه این منطقه کمتر از ۲۰ درصد هست، بنابراین بر اساس جدول طبقه‌بندی داده‌ها منطقه موردمطالعه در طبقه ۱ قرار می‌گیرد.
۲۲	دبی آب	با استفاده از داده‌های اخذ شده از سازمان آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان دبی آب ورودی به دشت سیستان محاسبه و مشخص گردید منطقه موردمطالعه در طبقه ۴ قرار می‌گیرد.
۲۳	اقلیم	با استفاده داده‌های اخذ شده از سازمان هواشناسی کشور و تطبیق آن با اقلیم دومارتن اصلاح‌شده مشخص گردید دشت سیستان دارای اقلیم فراخشک از نوع گرم هست و با توجه به جدول طبقه‌بندی داده‌ها در طبقه ۱ قرار می‌گیرد.
۲۴	سرعت باد	با استفاده از داده‌های اخذشده از ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی واقع در دشت سیستان مشخص گردید متوسط سرعت باد در منطقه بین ۶۱ تا ۱۰۰ کیلومتر در ساعت هست، بنابراین بر اساس جدول طبقه‌بندی داده‌ها منطقه موردمطالعه در طبقه ۳ قرار می‌گیرد. اطلاعات لایه‌های موجود از منطقه موردمطالعه در جدول ۱ ارایه شده است.

ضمیمه ۲: کلیه نقشه‌های تولیدشده در فرایند ارزیابی توان اکولوژیک دشت سیستان



الف	ب	ج	د	ه

				
و	ز	ح	ط	ی
				
ک	ل	م	ن	س
				
ع	ف	ص	ق	ر
				
ش	ت	ث	خ	

شامل: الف) طبقات ارتفاعی ب) شیب ج) تراکم پوشش گیاهی د) رویشگاه‌های حساس ه)گرایش مرتع و) فرم رویشی ز) ارزش حفاظتی گونه‌های گیاهی ح) ارزش حفاظتی گونه‌های جانوری ط) تنوع‌زیستی گونه‌های جانوری ی) مناطق حفاظت‌شده ک) بافت خاک ل) تحول‌یافتگی خاک م) زه کشی خاک ن) شوری خاک س) فرسایش خاک ع) طبقه‌بندی سنگ‌ها ف) ژئوئیدرولوژی ص) دبی آب ق) اقلیم ر) رطوبت نسبی ش) دما ت) بارندگی ث) روزهای آفتابی خ) سرعت باد مآخذ: (یافته‌های پژوهش)