

## Research Paper

**Wind Erosion and Economic Estimation of its Impacts on the Origin (Case Study: Hamoon Wetland)****Saleheh Erfani Nasab<sup>1</sup>, Jafar Kambouzia<sup>2</sup>, Seyyede Fatemeh Aghamir<sup>3</sup>, Hossein Sargazi<sup>4</sup>, Mohammad Reza Nazari<sup>5</sup>, Hassan Esmailzadeh<sup>6\*</sup>**

<sup>1</sup>Graduated from Department of Environmental Planning and Design, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

<sup>2</sup>Associate Professor of Agroecology Department, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

<sup>3</sup>Assistant Professor of Agroecology Department, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

<sup>4</sup>PhD in Desertification, Department of Engineering and Studies, General Department of Natural Resources and Watershed Management, Sistan and Baluchestan Province, Iran

<sup>5</sup>Assistant Professor of Department of Environmental Planning and Design, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

<sup>6</sup>Assistant Professor, Department of Environmental Planning and Design, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 2023/3/17

Accepted: 2023/5/2

**ABSTRACT**

*Among the various processes of land degradation, soil erosion is known as a major environmental problem that causes the loss of topsoil and nutrients, reduces fertility, and thus decreases in crop yield. Evaluating and preparing a risk map and estimating the lost economic value due to the loss of soil nutrients can provide the basis for rational planning to prevent and control wind erosion. The aim of this research is to estimate the economic consequences of wind erosion in the Hamoon wetland, which is considered as one of the centers of dust production in the Sistan plain. This research has been done in two stages; first, using the IRIFR model, which is an experimental model to estimate the intensity of wind erosion, an attempt has been made to investigate the erosion intensity, prepare a map of erosion classes (danger), as well as determine the amount of annual sediment production in Hamoon wetland. In the second stage and the economic discussion on the topic, in two parts and using the information obtained from the first stage, using two methods of risk assessment and alternative cost, to prepare a risk map, and the economic value lost due to the loss of the main nutritional elements of the soil action has been taken due to wind erosion in the proposed region. The findings show that Hamoon lagoon has five risk classes in which, the low-risk class has the largest area with 41.15 percent. In terms of economics, from the point of view of the risk map, the largest area of the wetland includes the intensity of risk with 59.93 percent in the very low class, 32.68 percent in the very high class, and 7.36 percent in other classes. The amount of lost economic value of the main soil elements due to wind erosion in the mentioned wetland is estimated to be 994 billion Rials.*

**Keywords:**

*Wind Erosion; IRIFR Model; Risk Model; Replacement Cost Method, Hamoon Lake..*

**\*Corresponding Author:** Assistant Professor, Department of Environmental Planning and Design, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

<http://dor.20.1001.1.16059689.1402.0.0.6.2>

<https://doi.10.2022/hmsp.27.1.5>

ORCID: 0000-0002-9956-3676

**H\_ esmailzadeh@sbu.ac.ir**

Copyright© 2023, the Authors | Publishing Rights, ASPI. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution- NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

T

**Extended Abstract****Introduction**

The occurrence of drought and the consequent reduction of vegetation cover and the drying of Hamoon wetland as well as the 120-day winds in the Sistan region have created conditions for wind erosion and the occurrence of dust storms, which are among the most sensitive areas to wind erosion in this region. The consequences of wind erosion include the disappearance of traditional jobs such as agriculture and animal husbandry, increase in unemployment and poverty in the region, the spread of fake jobs, the spread of various diseases, an increase in irrigation and fodder costs, the sharp decrease in the income of farmers and ranchers, and the decrease in production. The research has prepared an economic risk map resulting from wind erosion in the wetland, as well as a quantitative estimation of the economic value of lost food elements due to wind erosion there.

**Methodology**

In order to investigate the economic issues and reach an economic risk map as well as obtain a quantitative estimation of the lost economic value in this research, in the first stage, using the IRIFR model, we prepared a map of wetland erosion classes (the risk map needed to calculate the equation of the risk), and then by estimating the amount of precipitation, the amount of produced sediment was used to quantitatively estimate the lost economic value. In the second stage, the risk equation was used to prepare a map using the IRIFR model. Then, based on the existence of various uses in Hamoon wetland, a map of endangered species was prepared. In this part, firstly, based on the method of damage estimation according to the information of the organization and experts' group, the amount of risk was estimated for each user unit, and then the amount of risk was calculated separately for all users of each erosion class. In the next step, the vulnerability map of the elements at risk was classified in terms of economic, ecological, and user experts' viewpoints. Finally, the risk level was calculated and classified based on these three factors, and the risk map was prepared in GIS software. In the second economic part, to estimate the lost economic value of the main nutrients of the soil due to erosion, the replacement cost method was used, through the information on the amount of production sediment obtained from the IRIFR model, the amount of nutrients lost from the soil was calculated (by Sampling from the wetland location and laboratory estimations of nutrients in the soil), the total amount of nutrient loss based on erosion in the area was calculated and then, considering the price of substitute fertilizers to compensate for the elements, the lost economic value of all elements was estimated using the replacement cost method.

**Results and discussion**

The results indicate that Hamoon wetland includes five erosion classes (danger), in which the highest erosion class corresponds to the low erosion class with 122,167 hectares (41.15%) and the lowest one corresponds to the very high erosion class with 13,573 hectares (4.57%). The results of the damage estimation illustrate that the highest damage is related to roads (3145 million Rials per unit), followed by hand-planted forests (300 million Rials per unit), agricultural lands, pastures, and groves (150 million Rials per unit each), whereas the least damage is related to residential areas (10 million Rials per unit). Then, the amount of wind erosion potential damage of different classes was investigated. The highest amount of damage is related to land uses of classes 2 and 3 (9,843,664 and 6,045,232 million rials, respectively), and the lowest amount of damage is related to classes 4 and 1 (respectively, 85,715 and 628,977 million rials). In the following, the frequency of economic risk intensity classes of the study area was investigated. The findings indicate that very low risk classes, 59.93% (177,885 hectares), low risk classes,

2.31% (6884 hectares), medium risk classes, 0.60% (1800 hectares), high risk classes, 4.45% (13,217 hectares), and very high-risk classes have occupied 32.68% (97,028 hectares). Findings also show the highest and lowest amount of P element is 16.8 and 3.2 ppm, respectively, and the average of the samples for this element is 10.44 measurements. The highest and lowest amount of K elements are 400 and 90 ppm, respectively, and 247 ppm for this element were measured in all samples. The highest and lowest amount of the N element is 0.06 and 0.02%, respectively, and the average of all samples for this element is 0.037%, which is equal to 3700 ppm, that the value of each element is used as CU. In total, the highest amount of lost value in the amount of 994 billion Rials is related to the very high erosion class and the lowest amount is related to the very low erosion class in the amount of 32 billion Rials.

### Conclusion

This research tried to first estimate the economic risk of wind erosion in each of the working units of Hamoon wetland, and then calculated the lost economic value due to this erosion in the wetland. The results revealed the most erosion is related to forests, pastures, agricultural lands and groves. Among the most important reasons for high erosion in the mentioned parts, it can be mentioned the changes in land use (residential constructions and road construction) as well as the indiscriminate grazing of livestock, and the continuation of this situation can increase the intensity of erosion to the central and southern parts as well. Another issue in this field is the lack of international joint working groups (between Iran and Afghanistan) in the division of rights and water management, which unfortunately is due to the non-compliance of rights by Afghanistan, and is the most important factor in the drying up of the wetland water and the growth of wind erosion in the region. The amount of lost economic value in the study area, on the one hand is due to the prevailing poverty in the region and on the other hand due to the increase in the intensity of erosion in the coming years (due to drought, water crisis, climate changes, and land use changes). This trend will not only threaten the food security in the Sistan region, but also make this region more dependent on the import of food resources from other provinces and neighboring countries than in the past. In order to reduce the severity of wind erosion and the effects caused by it, first of all, it is necessary to use scientific models and methods of wind erosion measurement in the field of policy-making in order to obtain a better understanding of the state and trend of the wetland, and more detailed plans should be presented to adjust the problems. Also, the quantitative estimation of the economic value will provide the possibility for managers and policy makers to identify the focal points and prevent the increase in the severity of the crisis with accurate information on the amount of damage caused. Another political solution is to form a secretariat between Iran and Afghanistan, so that on the one hand, the parties' interests can be determined more precisely, and on the other hand, operational projects can be defined to prevent the formation of problems and negative consequences in this field. Finally, it is necessary to develop monitoring mechanisms in order to prevent land use changes and indiscriminate livestock grazing. In this context, the formation of integrated wetland management with the presence of the management and planning organization and other stakeholders and actors in this field in order to manage these areas.

## فرسایش بادی و برآورد اقتصادی تأثیرات آن در مبدأ (مطالعه موردی: تالاب هامون)

صالحه عرفانی نسب<sup>۱</sup>، جعفر کامبوزیا<sup>۲</sup>، سیده فاطمه آقامیر<sup>۳</sup>، حسین سرگزی<sup>۴</sup>، محمدرضا نظری<sup>۳</sup>، حسن اسماعیل زاده<sup>۵\*</sup>

۱. دانش‌آموخته گروه برنامه‌ریزی و طراحی محیطی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
۲. دانشیار گروه آگرواکولوژی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
۳. استادیار گروه آگرواکولوژی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
۴. دکتری تخصصی بیابان‌زایی، اداره مهندسی و مطالعات، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
۵. استادیار گروه برنامه‌ریزی و طراحی محیطی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

### چکیده

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۱۲

فرسایش خاک در میان فرایندهای مختلف تخریب زمین، به‌عنوان مشکل عمده محیط زیستی شناخته شده است که باعث از بین رفتن خاک سطحی و مواد مغذی، کاهش حاصلخیزی و در نتیجه کاهش عملکرد محصول می‌شود. ارزیابی و تهیه نقشه ریسک و برآورد ارزش اقتصادی از دست رفته ناشی از اتلاف عناصر غذایی خاک می‌تواند زمینه لازم برای برنامه‌ریزی منطقی برای پیشگیری و کنترل فرسایش بادی را فراهم سازد. هدف این پژوهش، برآورد اقتصادی پیامدهای فرسایش بادی در تالاب هامون است که یکی از کانون‌های تولید گردوغبار در دشت سیستان محسوب می‌شود. این پژوهش در دو مرحله انجام شده است: در مرحله اول با استفاده از مدل IRIFR که یک مدل تجربی برای برآورد شدت فرسایش بادی است، به بررسی شدت فرسایش و تهیه نقشه کلاس‌های فرسایش (خطر)، و همچنین تعیین میزان تولید رسوب سالانه در تالاب هامون اقدام شده است. در مرحله دوم و مبحث اقتصادی، در دو بخش و با بهره‌گیری از اطلاعات به‌دست آمده از مرحله اول، با استفاده از دو روش ارزیابی ریسک و هزینه جایگزین، به تهیه نقشه ریسک، و ارزش اقتصادی ازدست‌رفته ناشی از اتلاف عناصر اصلی غذایی خاک در اثر فرسایش بادی در تالاب هامون اقدام شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که تالاب هامون دارای پنج کلاس خطر است که کلاس خطر کم با ۴۱،۱۵ درصد، بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده است. در مبحث اقتصادی، از منظر نقشه ریسک تالاب، بیشترین شدت ریسک با ۵۹،۹۳ درصد در کلاس خیلی کم، ۳۲،۶۸ درصد در کلاس خیلی زیاد و ۷،۳۶ درصد نیز در سایر کلاس‌ها واقع شده است. میزان ارزش اقتصادی ازدست‌رفته عناصر اصلی خاک ناشی از فرسایش بادی در تالاب یادشده، معادل ۹۹۴ میلیارد ریال برآورد شده است.

فرسایش بادی، مدل IRIFR، مدل ریسک، روش هزینه جایگزین، تالاب هامون

واژگان کلیدی:

## ۱. مقدمه

پدیده فرسایش و رسوب تولیدی امروزه در همه نقاط دنیا به عنوان یک مشکل بزرگ محیط زیستی به حساب می آید (عنبرانی، ۱۳۷۷؛ کاظمی و نوحه گر، ۱۳۹۰: ۷). در واقع از جدی ترین تهدیدهای محیط زیستی فرسایش خاک است که همه کشورها، به ویژه کشورهای در حال توسعه با آن مواجه هستند (Kefi & Kirui & Mirzabaev, 2014: 1-4; Yoshino, 2010: 930-935). واژه فرسایش از ریشه لاتین eroder به معنای ساییدگی، و عبارت است از فرسودگی و از بین رفتن مداوم خاک سطح زمین توسط آب یا باد (انتظاری و حیدری، ۱۳۹۳). فرسایش خاک از عوامل اصلی در کاهش حاصلخیزی خاک، انباشت رسوبات در آبراهه ها، کانال های آبیاری و رودخانه ها، کاهش ظرفیت مخازن سدها، تشدید وقوع سیلاب های مخرب و آلودگی محیط زیست است (داوری و همکاران، ۱۳۸۵: ۱۰۳). در سطح جهان، حدود ۵۴۹ میلیون هکتار از اراضی در اثر فرسایش بادی از بین رفته است (Subramaniam & Chinappa, 2002)، و ۲۹۶ میلیون هکتار از این اراضی از فرسایش شدید بادی رنج می برند (Lal, 2003: 437-450)؛ بنابراین فرسایش بادی مسئله اساسی تمامی قاره ها بوده است و در مقیاس جهانی شاید اهمیت و خطر فرسایش بادی کم تر از فرسایش آبی نباشد (نگارش و لطیفی، ۱۳۸۷: ۴۴). نقشه جهان کمربند عظیمی از مناطق خشک و نیمه خشک از اوراسیا مرکزی تا خاور دور، یعنی قزاقستان، مغولستان و شمال چین را نشان می دهد. آسیای مرکزی یکی از بزرگ ترین منابع گردوغبار در جهان است (Sokolik & Toon, 1996: 681-683). در واقع فرسایش بادی، تهدید گسترده ای برای سیمای سرزمین در سراسر جهان (Jarrah et al., 2020: 1) و یکی از جنبه های اصلی تخریب زمین در مناطق خشک و نیمه خشک (Coppinger et al., 1991: 254-258) است.

از مطالعات انجام شده در مورد فرسایش بادی و اثرات اقتصادی آن در مباحث ریسک اقتصادی و ارزش اقتصادی فرسایش بادی می توان به پژوهش انجام شده در مورد مروری بر مدل های فرسایش بادی: الزامات داده ها، فرایندها و اعتبار (Jarrah et al., 2020: 1-16)؛ مبارزه با فرسایش بادی از طریق تثبیت خاک تحت شرایط جریان باد شبیه سازی شده: مطالعه موردی کویت (Burezq, 2020: 154-163)؛ شاخص ها و معیارها برای پایش، ارزیابی و مدیریت فرسایش بادی (webb et al., 2020: 1-12)؛ ارزیابی فرسایش بادی خاک و مدیریت پایدار استپ معمولی در مغولستان داخلی، چین (Lyu et al., 2021: 1-13)؛ ارزیابی خطر و ریسک بیابانزایی در منطقه باشتین سبزوار (سیلاخوری و همکاران، ۱۳۹۸)؛ مدیریت ریسک خطر بیابانزایی منطقه عمرانی گناباد به وسیله مقایسه کارایی دو مدل IMDPA و ESAs (جعفری و همکاران، ۱۳۹۸)؛ ارزیابی شدت و ریسک بیابانزایی و ارائه مدیریت دشت سگری اصفهان (بوعلی و محمدیان بهبهانی، ۱۳۹۸: ۱۸۱-۱۹۴)؛ برآورد خسارت ناشی از فرسایش بادی (طوفان های گرد و خاک) در منطقه سیستان (میری و همکاران، ۱۳۸۴: ۷۶۵-۷۷۹)؛ برآورد ارزش اقتصادی نقش پوشش گیاهی در کنترل فرسایش خاک حوزه آبخیز کچیک (فارسی و همکاران، ۱۳۹۹)؛ ارزیابی اقتصادی خسارات زیست محیطی ناشی از خشکی تالاب هامون بر اکوسیستم سیستان (دهمرد و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۰۹-۲۲۸)؛ بررسی ارزش اقتصادی کارکرد حفاظت خاک پوشش

## فصلنامه برنامه ریزی و آمایش فضا

گیاهی مراتع (خسروپور، ۱۳۹۷)؛ ارزش‌گذاری اقتصادی کارکرد حفظ حاصلخیزی خاک در اکوسیستم‌های مرتعی احیاشده در مناطق خشک (قاسمی، ۱۳۹۵)؛ برآورد ارزش اقتصادی هدررفت کمی و کیفی خاک و آب در مراتع در اثر فرسایش (آقایی، ۱۳۹۵)؛ برآورد ارزش کارکرد حفاظت از مواد مغذی خاک در اکوسیستم‌های جنگلی (مبرقی، ۱۳۸۹)؛ ارزیابی ارزش پیشگیری از فرسایش خاک در تالاب‌های پکن (Bo et al., 2011)؛ و ... اشاره کرد. با توجه به مطالعات بررسی شده مدل‌های فرسایش بادی در سه گروه مختلف دسته‌بندی می‌شوند: مدل‌های تجربی، مفهومی و فیزیکی، و از ساده تا پیچیده را دربرمی‌گیرند. کاربرد عملی هر مدل فرسایش بادی به پیچیدگی و دقت طبیعی مدل بستگی دارد (Jarrah et al., 2020). از جمله مدل‌های فرسایش بادی می‌توان به مدل‌های RWEQ، WEPP، IRIFR، TEAM، WEPS و غیره اشاره کرد. با وجود این، مدل IRIFR با در نظر گرفتن شرایط خاص اکولوژیکی برای تخمین تلفات احتمالی خاک در مناطق کویری ایران کاربرد دارد (Ahmadi, 1998). این مدل برای ارزیابی سناریوهای مختلف سامانه‌های مدیریتی و تغییر کاربری زمین مناسب است (Azarkar et al., 2006; Rezaei et al., 2016). برای برآورد اقتصادی هزینه‌های مستقیم فرسایش خاک، دو روش کلی وجود دارد که یکی از آن‌ها روش هزینه جایگزینی مواد مغذی (NRCM) است که به‌عنوان هزینه تخلیه مواد مغذی نیز شناخته می‌شود و به دنبال بازگرداندن خاک فرسوده به سطح قبل از فرسایش خاک است. روش دوم، روش ارزش کاهش بهره‌وری (VLPM) است که به کاهش تولید زراعی معروف است و کاهش تولیدات زراعی را در اثر فرسایش به قیمت بازار اندازه‌گیری می‌کند (Panahi, 2005: 294). در این پژوهش با توجه به برآورد هزینه مستقیم فرسایش خاک از روش اول استفاده شده است. با وجود پژوهش‌های متعدد صورت گرفته در مورد پدیده فرسایش بادی و برآوردهای اقتصادی توجه خاصی به اثرات اقتصادی فرسایش بادی در کانون‌های تولیدکننده گردوغبار (مبدأ) مانند تالاب‌های خشک شده یا در حال خشک شدن صورت گرفته نشده است. این پژوهش با بهره‌گیری از مدل فرسایش بادی IRIFR و روش‌های برآورد مباحث اقتصادی (معادله ریسک، روش هزینه جایگزین) اقدام به تهیه اطلاعاتی دقیقی به صورت کیفی (نقشه خطر، نقشه ریسک) و کمی (برآورد ارزش اقتصادی از دست رفته) از تأثیرات فرسایش بادی در یکی از مهم‌ترین کانون گردوغبار (مبدأ فرسایش) دشت سیستان با نام تالاب هامون کرده است و نسبت به سایر مطالعات صورت گرفته در این زمینه با استفاده از چندین مدل و روش کاربردی بررسی جامع و همه‌جانبه در مبدأ گردوغبار را صورت داده است. همچنین با توجه به تأثیرات روزافزون اقتصادی، اجتماعی و محیطی گردوغبار تولیدی ناشی از فرسایش بادی در تالاب هامون بر منطقه مورد مطالعه، با در اختیار داشتن اطلاعات دقیق از میزان رسوب تولیدی، مناطق با ریسک اقتصادی بالا و همچنین میزان عناصر غذایی از دست‌رفته خاک ناشی از فرسایش که باعث فقیر شدن هرچه بیشتر خاک و کاهش پوشش گیاهی که از عوامل مهم کنترل فرسایش است، با بررسی همه‌جانبه می‌توان امکان برنامه‌ریزی دقیق برای کنترل این پدیده را فراهم کرد.

ضررهای فرسایش بادی به دلیل اثرات محیط زیستی، بهداشتی و اقتصادی آن بسیار زیاد است که باعث از بین رفتن حاصلخیزی خاک، آسیب به زیرساخت‌ها و خطوط راه‌آهن، تهدید زندگی گونه‌های گیاهی و جانوری، وقوع طوفان‌های گردوغبار شدید و پایین آمدن کیفیت هوا و زیست می‌شود (Khanmani et al., 2011: 49-59). خاک‌ها محصول و نتیجه عملکرد فرایندهای مختلفی هستند (بیاتی، ۱۳۸۹: ۳۴) که در برآورد هر ساله ۲۴ میلیارد تن خاک حاصلخیز به دلیل فرسایش نابود می‌شود. به عبارت دیگر، هر سال برای هر فرد روی کره زمین، حدود ۳/۴ تن خاک ازدست می‌رود که برای آن هزینه جهانی سالانه ۸ میلیارد دلار تولید ناخالص داخلی جهان را تخمین زده‌اند (Sartori et al., 2019). فرسایش خاک، به عنوان یکی از مهم‌ترین مشکلات محیط زیست شناخته شده که سبب کاهش سطح خاک و مواد غذایی خاک و حاصلخیزی خاک می‌شود (Zhao et al., 2013: 499-510). همچنین در نتیجه تولید و جابه‌جایی شن و ماسه بر روی تأسیسات عمومی و املاک مسکونی، خسارات مالی سالانه هنگفتی ثبت شده است (Cao et al., 2015). فرسایش خاک در ایران نیز پدیده‌ای محیط زیستی محسوب می‌شود که در صورت بی‌توجهی به آن، پیامدهای محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی فراوانی به همراه خواهد داشت. گزارش‌های استانی نیز بیان‌کننده نرخ زیاد فرسایش خاک در بیشتر استان‌های کشور هستند (حسینی و همکاران، ۱۳۹۷: ۴۱-۶۴). در دهه‌های اخیر رشد جمعیت، مهاجرت روستاییان به شهرها و پایین بودن سطح فناوری در تولید محصولات کشاورزی، زمینه‌های فرسایش و نابودی منابع خاک را فراهم کرده است. عوامل تهدیدکننده خاک در ایران را باید از نظر کمبود بارندگی، کاهش مواد آلی خاک، افزایش شوری و قلیائیت خاک، تبدیل کاربری اراضی و آلاینده‌های صنعتی مورد بررسی قرار داد (سازمان برنامه بودجه، ۱۳۷۸: ۱۷۴-۱۷۵). در منطقه سیستان نیز وقوع خشک‌سالی و به تبع آن کاهش پوشش گیاهی و خشک شدن تالاب هامون و همچنین وزش بادهای ۱۲۰ روزه، شرایط مناسبی جهت فرسایش بادی و وقوع طوفان‌های گردوغبار را در این منطقه ایجاد کرده‌اند (نگارش و لطیفی، ۱۳۸۷: ۴۳). از جمله حساس‌ترین مناطق به فرسایش بادی در این منطقه بسترهای خشک هامون هستند (Rashki et al., 2013: 552-554; Zoraghi et al., 2019). بنابراین با خشک شدن این بسترهای گسترده، خاک کف تالاب ترک خورده و تردد دام‌ها باعث لگدکوبی شدید بستر خشکیده دریاچه و در نتیجه افزایش فرسایش بادی شده است که از جمله تأثیرات آن می‌توان به تأثیرات اقتصادی و اجتماعی شامل مهاجرت روستاییان به شهرهای اطراف از جمله زابل و زاهدان، از بین رفتن مشاغل سنتی مانند کشاورزی و دامداری، افزایش بیکاری و گسترش فقر در منطقه، گسترش مشاغل کاذب در منطقه، گسترش بیماری‌های مختلف، افزایش هزینه‌های آبیاری و علوفه، کاهش شدید درآمد زراعت و دامداران و کاهش تولیدات دامی و گیاهی و بدهی کشاورزان و دامداران به سیستم بانکی کشور اشاره کرد (بامری و همکاران، ۱۳۹۸: ۴). با توجه به افزایش روزافزون فرسایش بادی در منطقه و خسارت‌های ناشی از آن، اهداف این پژوهش به منظور قرار دادن اطلاعات دقیق در اختیار مدیران و برنامه‌ریزان برای برنامه‌ریزی بهتر برای کنترل فرسایش بادی در تالاب هامون تهیه نقشه ریسک اقتصادی حاصل از فرسایش بادی در تالاب و همچنین برآورد کمی ارزش اقتصادی عناصر غذایی ازدست‌رفته ناشی از فرسایش بادی تالاب بوده است. در

#### فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

این راستا، مهم‌ترین سؤالات پژوهش عبارت‌اند از: (۱) ریسک اقتصادی گردوغبار در هر یک از واحدهای کاری تالاب به چه میزان است؟ و (۲) ارزش اقتصادی ازدست‌رفته ناشی از فرسایش خاک در تالاب هامون چقدر است؟

## ۲. روش تحقیق و داده‌ها

### ۲-۱. معرفی محدوده مورد مطالعه

تالاب بین‌المللی هامون یکی از مهم‌ترین تالاب‌های جهان و بزرگ‌ترین دریاچه آب شیرین در کل فلات ایران به شمار می‌رود که حدود ۵۷۰۰ کیلومتر مربع مساحت و عمق ۱ تا ۵ متر در منطقه بیابانی شرق کشور، در منطقه سیستان و در محدوده ۳۱ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی و ۶۰ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۳۵ دقیقه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). این دریاچه از سه قسمت هامون پوزک در شمال شرقی، هامون صبوری در شمال و هامون هیرمند در غرب و جنوب غربی سیستان تشکیل شده است. بخش بزرگی از هامون پوزک و قسمت اصلی هامون صبوری در خاک افغانستان و بقیه هامون‌ها در خاک ایران واقع شده‌اند (سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۹۵).

شکل ۱. موقعیت تالاب هامون

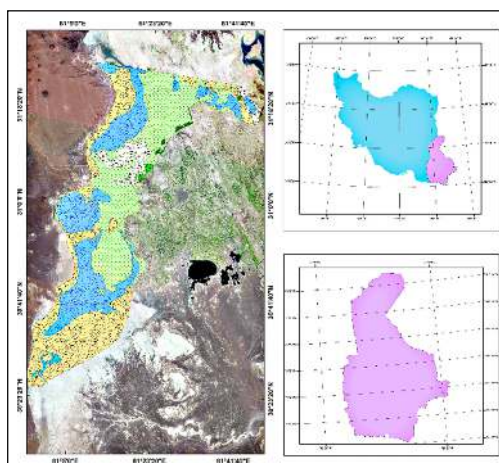


Figure 1. Location of Hamoon wetland

### ۲-۲. روش انجام تحقیق

به منظور بررسی مباحث اقتصادی در این پژوهش در دو مرحله به تهیه نقشه ریسک اقتصادی و برآورد کمی ارزش اقتصادی ازدست‌رفته ناشی از فرسایش خاک اقدام شده است. در مرحله اول با استفاده از مدل IRIFR، نقشه کلاس فرسایش تالاب (نقشه خطر) تهیه شد که برای محاسبه معادله ریسک نیز مورد استفاده قرار گرفته

### فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا



است. سپس به وسیله برآورد میزان رسوب‌دهی به کمک مدل IRIFR میزان رسوب تولیدی در معادله ۳ قرار داده شده و برای برآورد کمی ارزش اقتصادی ازدست‌رفته به وسیله روش هزینه جایگزین به کار گرفته شده است. در مرحله دوم برای تهیه نقشه ریسک از معادله ریسک استفاده شده است که نقشه خطر در این معادله به وسیله مدل IRIFR تهیه شده است. سپس با توجه به موجود بودن کاربری‌های متنوع در تالاب هامون به تهیه نقشه عوارض در معرض خطر اقدام شده است. در این قسمت ابتدا براساس نحوه برآورد خسارت با توجه به اطلاعات سازمان و اشخاص متخصص میزان خسارت برای هر واحد کاربری برآورد شده است و سپس کل کاربری‌های هر کلاس فرسایش را به صورت جداگانه میزان خسارت آن محاسبه شده است. در مرحله بعد نقشه آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر از لحاظ اقتصادی، اکولوژیکی و نظر کارشناسی کاربری‌ها کلاس‌بندی شده است. در نهایت میزان ریسک براساس این سه عامل محاسبه کلاس‌بندی شد و نقشه ریسک در نرم‌افزار GIS تهیه شده است. در بخش دوم اقتصادی برای برآورد ارزش اقتصادی ازدست‌رفته عناصر غذایی اصلی خاک ناشی از فرسایش از روش هزینه جایگزینی استفاده شده است و با استفاده از اطلاعات میزان رسوب تولیدی به دست آمده از مدل IRIFR و محاسبه مقدار عناصر غذایی ازدست‌رفته از خاک (به وسیله نمونه‌برداری از محل تالاب و برآوردهای آزمایشگاهی عناصر غذایی موجود در خاک) مقدار کلی هدررفت عناصر غذایی براساس فرسایش در منطقه محاسبه شده و سپس با در نظر گرفتن قیمت کودهای جانشین برای جبران عناصر به وسیله روش هزینه جایگزین ارزش اقتصادی ازدست‌رفته کل عناصر برآورد شده است.

## ۳-۲. مدل IRIFR

مدل IRIFR به دلیل یکسان بودن با شرایط اقلیمی ایران در سازمان جنگل‌ها و مراتع طراحی شده است (اختصاصی و احمدی، ۱۳۷۴). این مدل دارای نه عامل مؤثر با دامنه امتیازبندی مشخص به خود که شامل سنگ‌شناسی (۰-۱۰)، شکل اراضی و پستی و بلندی (۰-۱۰)، سرعت و وضعیت باد (۰-۲۰)، عامل خاک و پوشش سطح آن (۵-۱۵-)، انبوهی پوشش گیاهی (۵-۱۵-)، آثار فرسایشی خاک (۰-۲۰)، رطوبت خاک (۰-۱۰)، نوع و پراکنش نهشته‌های بادی (۰-۱۰)، مدیریت و استفاده از زمین (۵-۱۵-) است. هر عامل با توجه به وضعیت موجود و بررسی متخصصان در واحد کاری، به تنهایی امتیازدهی و براساس مجموع امتیاز دریافتی هر رخساره در نه عامل مدل IRIFR مطابق جدول ۱ شدت و کلاس فرسایشی آن درجه‌بندی و امتیازدهی شده است و در نهایت نقشه کلاس فرسایش بادی (خطر) در نرم‌افزار GIS برای منطقه مطالعاتی ترسیم شده است.

## فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

جدول ۱. تعیین میزان رسوب سالانه و کلاس فرسایش خاک در مدل IRIFR

شدت و کلاس فرسایش	علامت کلاس	تولید رسوب سالانه Ton/Km <sup>2</sup> /Year	امتیاز نشان‌دهنده شدت
خیلی کم	I	کم‌تر از ۲۵۰	کم‌تر از ۲۵
کم	II	۲۵۰ - ۵۰۰	۲۵ - ۵۰
متوسط	III	۵۰۰ - ۱۵۰۰	۵۰ - ۷۵
زیاد	IV	۱۵۰۰ - ۶۰۰۰	۷۵ - ۱۰۰
خیلی زیاد	V	بیشتر از ۶۰۰۰	بیشتر از ۱۰۰

Table 1. Determining the amount of annual Sediment and soil erosion class in the IRIFR model

(منبع: احمدی، ۱۳۸۵)

## ۲-۳-۱. برآورد میزان رسوب‌دهی به کمک مدل IRIFR

در هر یک از رخصاره‌های موجود در منطقه مطالعاتی، امتیازدهی به هر یک از ۹ عامل مؤثر در فرسایش بادی موجود در مدل مطابق جدول ۱، باتوجه به شدت و ضعف اثر هر عامل بر فرسایش بادی و تأثیر آن بر رسوب‌زایی، با استفاده از نقشه‌های پایه و جمع‌آوری اطلاعاتی از جمله رطوبت، باد و وضعیت فرسایش سطح خاک صورت گرفت است. در آخر، پتانسیل فرسایش بادی و میزان رسوب‌دهی در هر واحد کاری (رخصاره) و کل عرصه مطالعاتی، با استفاده از معادله ۱ محاسبه شده است (کوچمی ساردو، ۱۳۹۶).

$$Q_s = 41[EXP(0.05R)] \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن  $Q_s$ ، میزان رسوب‌دهی بر حسب تن بر کیلومتر مربع در سال و  $R$ ، مجموعه امتیازات عوامل مؤثر بر فرسایش بادی است.

## ۲-۴. معادله ریسک

ارزیابی ریسک به‌عنوان یک ابزار استراتژیک مدیریتی امکان تهیه نقشه‌های پتانسیل و شدت خطر را فراهم می‌سازد (Messner & Mayer, 2005). خسارت به‌صورت مستقیم متأثر از شدت و احتمال وقوع سانحه طبیعی، احتمال آسیب‌پذیری سرمایه‌ها و ارزش یا اهمیت سرمایه‌های تحت تأثیر است. در واقع ریسک ترکیبی از احتمال وقوع و وخامت عواقب حادثه یا سانحه است (صنّعی، ۱۳۹۰). خسارت کلی بیابان‌زایی به‌وسیله معادله ۲، (معادله ریسک) برآورد می‌شود (Ownegh, 2009: 35-45).

## فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

$$R = H \times E \times V \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن R ریسک، H بزرگی خطر، E عناصر در معرض خطر و V درجه آسیب پذیری عناصر است

### ۵-۲. روش هزینه جایگزین (NRCM)

برای برآورد هزینه‌های مستقیم فرسایش خاک از نظر اقتصادی از روش هزینه جایگزینی مواد غذایی (NRCM) که به هزینه‌های تخلیه مواد مغذی هم معروف است استفاده می‌شود. در این روش هزینه خرید کود شیمیایی لازم برای حفظ و احیای بهره‌وری خاک محاسبه می‌شود و هزینه‌های جایگزینی مواد غذایی به صورت مستقیم و بر مبنای تخلیه NPK (نیتروژن - فسفر - پتاسیم) برآورد می‌شود (Panahi, 2005). مقدار هدررفت عناصر غذایی در مناطق فرسایش یافته در هر واحد کاری، از رابطه زیر محاسبه می‌شود (بختیاری و همکاران، ۱۳۸۸: ۷۳):

$$D_{un} = S \times C_{un} \quad \text{معادله (۳)}$$

که در آن DU میزان عناصر غذایی هدررفته در هر واحد کاری؛ n دوره زمانی تحقیق؛ U نام عنصر مربوطه؛ S میزان فرسایش در هر واحد کاری (kg/ha)؛ CU مقدار عناصر غذایی در خاک از دست رفته (mg/kg) است.

ارزش اقتصادی عناصر غذایی خاک با استفاده از روش هزینه جانشین از دست رفته برآورد می‌شود. در روش هزینه جانشین، هزینه‌های لازم برای جایگزین کردن عناصر از دست رفته خاک از طریق کودهای شیمیایی قابل مبادله در بازار، ارزش اقتصادی خاک حفظ شده را بیان می‌کند (بختیاری و همکاران، ۱۳۸۸). با در نظر گرفتن قیمت کودهای جانشین برای جبران عناصر از دست رفته خاک، می‌توان ارزش اقتصادی عناصر را طبق معادله (۴) برآورد کرد:

$$V = (P_N D_N + P_P D_P + P_K D_K) \quad \text{معادله (۴)}$$

در رابطه بالا  $P_N, P_P, P_K$ ، به ترتیب قیمت کودهای جانشین برای عناصر پتاسیم، فسفر و نیتروژن و V ارزش اقتصادی کل عناصر است.

### ۳. یافته‌های تحقیق

#### ۳-۱. شدت و کلاس فرسایش بادی با استفاده از مدل IRIFR

جدول ۲، نتایج حاصل از امتیازدهی به عوامل نه‌گانه مدل IREFR در کدهای رخساره موجود در تالاب هامون را نشان می‌دهد. در این جدول براساس جمع امتیاز عوامل مدل IRIFR در هر رخساره شدت و کلاس فرسایش آن مطابق جدول ۱ مشخص شده است. بیشترین امتیاز براساس بازه امتیازدهی مربوط به عامل W، و کم‌ترین امتیازات مربوط به عامل‌های LU و AD است.

#### فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

جدول ۲. ارزیابی فرسایش بادی با استفاده از مدل IRIFR در تالاب هامون

شماره	کد رخساره	میانگین امتیاز عامل فرسایش									میانگین کلاس رخساره	
		SS	LU	AD	D	E	V	S	W	LM		P
۱	3-1-1	۴۵	۰	۲	۶	۴	۷	-۳	۱۵	۷	۷	ارضای رسی لیمونی با پوشش پر
۲	3-2-1	۹۳	۱	۹	۱۰	۱۳	۱۵	۱۴	۱۵	۷	۹	مخروطافکنه پالایی
۳	3-3-1	۲۶/۳	-۳/۱	۰	۲	۰	۲/۹	-۳	۱۵	۷	۵/۵	گودی‌های آبگیر بدون پوشش
۴	3-1-10	۱۱۲/۷	۱۵	۸	۱۰	۱۷	۱۳	۱۴	۱۹	۸/۷	۸	پوسته خشک توأم با نیکاهها
۵	3-1-11	۴۵	۰	۲	۶	۴	۷	-۳	۱۵	۷	۷	پوسته خشک و سخت همراه با پوشش
۶	3-1-12	۲۱	۰	۰	۱۰	۱	۶	-۳	۲	۲	۳	اینسلیبرگ و تپه‌ماهورهای آن
۷	3-1-13	۸۹	۵	۳	۸	۱۵	۱۵	۱۳	۱۵	۷	۸	آبکند با رسوبات شور
۸	3-1-14	۸۹	۵	۳	۹	۱۳	۱۴	۱۳	۱۸	۶	۸	منطقه مسکونی
۹	3-1-15	۴۸	۰	۰	۲	۵	۱۰	۳	۱۵	۷	۶	کفه نمکی
۱۰	3-1-16	۴۸	۰	۲	۳	۱	۱۰	۳	۱۵	۷	۷	ارضای شور و پف کرده بدون پوش
۱۱	3-1-2	۴۶/۱	۰	۲/۱	۵	۰	۱۰	۰	۱۵	۷	۷	پهنه‌رسی با شوری زیاد
۱۲	2-3-2	۶۴	۰	۶	۵	۸	۸	۷	۱۵	۷	۸	ارضای کشاورزی عمدتاً رهاشده
۱۳	3-3-2	۲۴	-۳	۰	۰	۰	۴	-۵	۱۵	۷	۶	دریاچه نمک
۱۴	3-1-3	۸۷	۲	۵	۶	۱۲	۱۴	۱۴	۱۸	۸	۸	ارضای کشاورزی

## فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

IV	۸۱/۱	۱/۱	۳	۴	۱۲	۱۴	۱۴	۱۸	۷	۸	۳-۳-۳ اراضی شور و پف کرده با پوشش	۱۵
IV	۹۰	۱۰	۵	۵	۲۰	۱۰	۷	۱۸	۷	۸	۳-۱-۴ اراضی رسی لیمونی با تپه‌های	۱۶
II	۳۶/۹	-۴/۸	۲	۳	۵	۲/۷	۰	۱۵	۷	۷	۳-۱-۵ پوسته خشک و سخت با پوشش متوس	۱۷
V	۱۰۱	۵	۱۰	۱۰	۱۰	۱۵	۱۵	۱۸	۸	۱۰	۳-۱-۶ اراضی بادکنده شده با کلونک	۱۸
V	۱۰۸	۱۲	۱۰	۱۰	۲۰	۷	۱۵	۱۸	۷	۹	۳-۱-۷ گزار خشکیده با تپه‌های ماس	۱۹
II	۴۲/۲	۴/۲	۰	۵	۵	-۲	-۱	۱۷	۷	۷	۳-۱-۸ پوسته خشک همراه با نی	۲۰
II	۴۸/۷	-۴	۰	۶	۷	۷/۷	۰	۱۸	۷	۷	۳-۱-۹ پوسته خشک همراه با گز و نی	۲۱

Table 2. Evaluation of wind erosion using IRIFR model in Hamoon wetland

یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۱

شکل ۲. کلاس‌های فرسایش خاک تالاب هامون در روش IRIFR

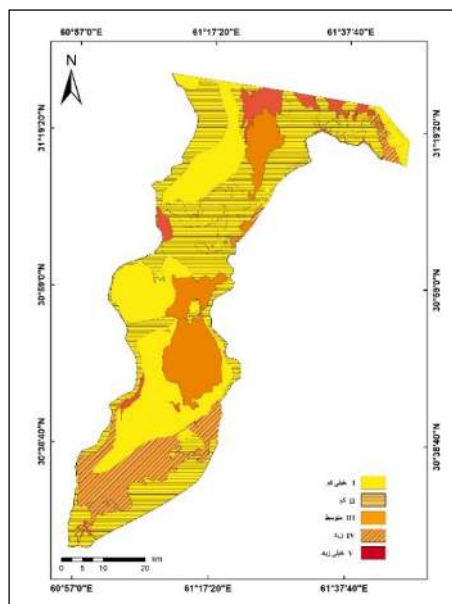


Figure 2. Classes of soil erosion of Hamoon wetland in the IRIFR model

فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

شکل ۲ نقشه نهایی شدت و کلاس فرسایش بادی تالاب هامون را براساس جمع‌بندی نهایی نقشه‌های نه‌گانه عوامل تأثیرگذار در فرسایش بادی نشان داده است. کلاس فرسایشی با شدت بالا، عمدتاً در بخش‌های شمالی، شمال شرقی، و بخش‌هایی از غرب تالاب را دربرگرفته‌اند. کلاس فرسایشی با شدت خیلی کم نیز بخش‌های شمال غربی و غربی را شامل می‌شود. سایر کلاس‌های فرسایشی نیز در بخش‌های مختلف محدوده مورد مطالعه قابل مشاهده است. همان‌گونه که در شکل ۲ نمایش داده شده است تالاب هامون شامل پنج کلاس فرسایشی (خطر) است که در جدول ۳ میزان، مساحت و درصد هر کلاس بیان شده است. بیشترین کلاس فرسایشی تالاب، مربوط به کلاس فرسایشی کم با ۱۲۲۱۶۷ هکتار (۴۱،۱۵ درصد) و کم‌ترین آن مربوط به کلاس فرسایشی خیلی زیاد با ۱۳۵۷۳ هکتار (۴،۵۷ درصد) است.

جدول ۳. وسعت و درصد کلاس‌های فرسایش با استفاده از مدل IRIFR در تالاب هامون

شدت و کلاس فرسایش	علامت کلاس	امتیاز	تولید رسوب سالانه Ton/Km2/Year	وسعت (هکتار)	درصد
خیلی کم	I	۲۵ >	کم‌تر از ۲۵۰	۸۴۵۳۷	۲۸،۴۸
کم	II	۲۵-۵۰	۲۵۰-۵۰۰	۱۲۲۱۶۷	۴۱،۱۵
متوسط	III	۷۵-۵۰	۵۰۰-۱۵۰۰	۴۰۱۲۵	۱۳،۵۱
زیاد	IV	۱۰۰-۷۵	۱۵۰۰-۶۰۰۰	۳۶۴۱۲	۱۲،۲۶
خیلی زیاد	V	۱۰۰ <	بیشتر از ۶۰۰۰	۱۳۵۷۳	۴،۵۷
جمع	-	-	-	۲۹۶۸۱۴	۱۰۰

Table 3. breadth and percentage of erosion classes using the IRIFR model in Hamoon wetland

یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۱

### ۳-۲. برآورد ریسک اقتصادی ناشی از فرسایش بادی

جهت پهنه‌بندی نقشه ریسک، ابتدا عناصر در معرض خطر (اراضی کشاورزی، مراتع، جنگل‌ها، اماکن مسکونی، راه‌های مواصلاتی، کانال‌ها و نهرهای آب‌رسانی و تأسیسات مهم) طبق شکل ۳ شناسایی شد و سپس برای به دست آوردن درجه آسیب‌پذیری و ضرایب آن ضمن مراجعه به ادارات و سازمان‌های مربوطه هزینه‌های تحمیل‌شده بر هر واحد از عناصر طی یک سال (در صورت وقوع خسارت) برآورد و در جدول ۴ نحوه برآورد خسارت و در جدول ۵ میزان کل خسارت براساس رخساره‌های مختلف واقع شده در هر کلاس فرسایشی ارائه شده است. نتایج برآورد خسارت‌ها نشان می‌دهد که بیشترین خسارت‌ها به ترتیب مربوط به جاده‌ها (۳۱۴۵ میلیون ریال در هر کیلومتر) جنگل دست کاشت (۳۰۰ میلیون ریال در هر واحد)، و اراضی زراعی، مراتع و بیشه‌زارها (هر کدام ۱۵۰ میلیون ریال در هر واحد)، و کم‌ترین خسارت مربوط به اماکن مسکونی (۱۰ میلیون ریال در واحد) بوده است.

### فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

شکل ۳. نقشه کاربری اراضی تالاب هامون

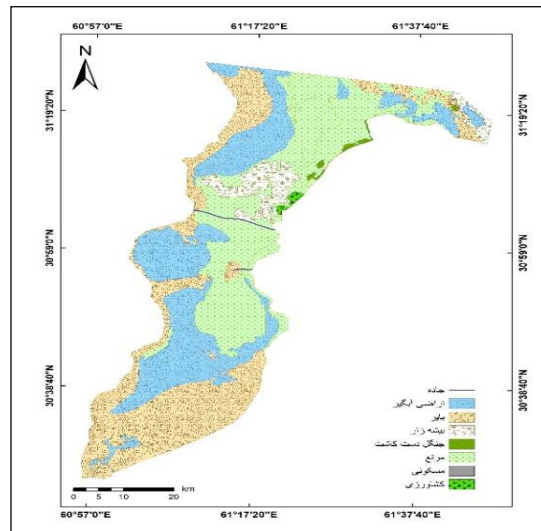


Figure 3. Hamoon wetland land use map

جدول ۴. نحوه برآورد خسارات ناشی از فرسایش بادی

عناصر در معرض خطر	نحوه برآورد خسارت (هزینه بازیابی منابع)	واحد	میزان خسارت در واحد (میلیون ریال)
اماکن مسکونی	متوسط هزینه ماسه‌روبی سالانه + خسارت تخریب دیوار	واحد	۱۰
جاده‌ها	نصب علائم، خط‌کشی و ترمیم آسفالت یا تسطیح جاده	کیلومتر	۳۱۴۵
اراضی زراعی (کشاورزی)	خسارت عدم کشت بر اساس متوسط تولید محصول عمده (گندم) و کاه + هزینه تسطیح	هکتار	۱۵۰
مراعی	هزینه بوته‌کاری + یک سال مراقبت و آبیاری + ضرر تولید سالانه مرتع	هکتار	۱۵۰
جنگل دست‌کاشت	هزینه جنگل‌کاری + یک سال مراقبت و آبیاری	هکتار	۳۰۰
بایر	بازیابی منابع داخل مناطق بایر	هکتار	۰
بیشه‌زار	هزینه بوته‌کاری + یک سال مراقبت و آبیاری + ضرر تولید سالانه مرتع	هکتار	۱۵۰
اراضی آبگیر		هکتار	۰

Table 4. Estimation method of damages caused by wind erosion

منبع: سرگزی، ۱۳۸۴: ۱۰۴؛ عرفانی‌نسب، ۱۴۰۱

در جدول ۵، میزان خسارات پتانسیل ناشی از فرسایش بادی در کاربری‌های هر کلاس قابل مشاهده است. همانگونه که در این جدول نیز نشان داده شده است، بیشترین میزان خسارات پتانسیل فرسایش بادی مربوط به کاربری‌های کلاس‌های ۲ و ۳ (به ترتیب با ۹،۸۴۳،۶۶۴ و ۶،۰۴۵،۲۳۲ میلیون ریال)، و کم‌ترین میزان خسارات مربوط به کلاس‌های ۴ و ۱ (به ترتیب با ۸۵،۷۱۵ و ۶۲۸،۹۷۷ میلیون ریال) است.

### فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

جدول ۵. برآورد خسارات پتانسیل ناشی از فرسایش بادی در کاربری‌های هر کلاس فرسایش تالاب هامون

کاربری‌ها		کلاس فرسایش ۱		کلاس فرسایش ۲		کلاس فرسایش ۳		کلاس فرسایش ۴		کلاس فرسایش ۵	
عناصر در معرض خطر	واحد	میزان (میلیون ریال)	خسارت (میلیون ریال)	میزان (میلیون ریال)	خسارت (میلیون ریال)	میزان (میلیون ریال)	خسارت (میلیون ریال)	میزان (میلیون ریال)	خسارت (میلیون ریال)	میزان (میلیون ریال)	خسارت (میلیون ریال)
اماکن مسکونی	واحد	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۷۰۱	۷۰۱	۰	۰
جاده‌ها	کیلومتر	۲,۴۸	۴,۲۷۷	۱۸,۶۵	۵۸,۶۵۴	۰,۹۸	۳,۰۸۲	۱۲,۲۸	۳۸,۶۲۱	۰	۰
اراضی زراعی	هکتار	۰	۰	۰	۰	۱۰۱,۸۷	۱۵۲,۸۰۵	۰	۰	۰	۰
مراعی	هکتار	۰	۰	۵۰۴۵۲,۷	۷,۵۶۷,۹۰۵	۳۸۹۵۱,۳	۵,۸۴۲,۶۹۵	۵۲۴,۷	۷۸,۷۰۵	۷۶۲۴,۴	۱,۱۴۳,۶۶۰
جنگل‌ها	هکتار	۶۰۶,۴	۱۸۱,۹۲۰	۷۸۱,۶	۲۳۴,۴۸۰	۱۵۵,۵	۴۶,۶۵۰	۰	۰	۰	۰
بایر	هکتار	۶۹۰,۴	۰	۵۱۱۰۷,۶	۰	۰	۰	۳۳۵۵۷,۸	۰	۵۹۴۹,۱	۰
بیشه‌زار	هکتار	۲۹۵۶,۹	۴۴۳,۵۳۵	۱۳۲۱۷,۵	۱,۹۸۲,۶۲۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰
اراضی آبگیر	هکتار	۸۰۲۸۳	۰	۶۶۰۷,۷	۰	۰	۰	۲۲۳۱,۲	۰	۰	۰
جمع کل		۶۲۸,۹۷۷		۹۸۴۳,۶۶۴		۶,۰۴۵,۲۳۲		۸۵,۷۱۵			۱,۱۴۳,۶۶۰

Table 5. Estimation of potential damages caused by wind erosion in the land uses of each erosion class of Hamoon wetland

یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۱

براساس میزان خسارت وارده و کلاس خطری که هر عنصر در آن قرار گرفته ضریب آسیب‌پذیری هر عنصر مطابق جدول ۶ تعیین شد. نتایج نشان می‌دهد که کاربری‌های مربوط به مراعی، بیشه‌زارها و اراضی آبگیر دارای کلاس آسیب‌پذیری کم، کاربری‌های مربوط به اراضی کشاورزی، جاده‌ها و جنگل‌های دست‌کاشت دارای کلاس آسیب‌پذیری متوسط، و در نهایت، کاربری‌های مسکونی دارای کلاس آسیب‌پذیری زیاد بوده‌اند. در جدول و نقشه زیر، کلاس آسیب‌پذیری هر یک از کاربری‌ها نشان داده شده است.

جدول ۶. کلاس آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر تالاب هامون

کلاس آسیب‌پذیری	علامت کلاس	کاربری
کم	I	مراعی، بایر، بیشه‌زار، اراضی آبگیر
متوسط	II	کشاورزی، جاده، جنگل دست‌کاشت
زیاد	III	مسکونی

Table 6. Vulnerability class of elements at risk in Hamoon wetland

یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۱

### فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا



شکل ۴. نقشه پهنه‌بندی شدت ریسک اقتصادی در تالاب هامون

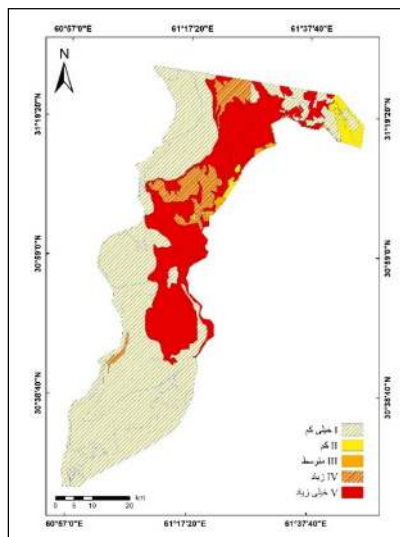


Figure 4. Economic risk intensity zoning map in Hamoon wetland

یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۱

در ادامه، فراوانی کلاس‌های شدت ریسک اقتصادی تالاب مورد بررسی قرار گرفته شد. یافته‌ها نشان می‌دهد که کلاس‌های ریسک خیلی کم، ۵۹,۹۳ درصد (۱۷۷,۸۸۵ هکتار)، ریسک کم، ۲,۳۱ درصد (۶,۸۸۴ هکتار)، کلاس‌های ریسک متوسط، ۰,۶۰ درصد (۱,۸۰۰ هکتار)، کلاس‌های ریسک زیاد، ۴,۴۵ درصد (۱۳,۲۱۷ هکتار)، و کلاس‌های ریسک خیلی زیاد، ۳۲,۶۸ درصد (۹۷,۰۲۸ هکتار) را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول ۷. فراوانی کلاس‌های شدت ریسک اقتصادی تالاب هامون

کلاس‌بندی ۵ کلاس R				
طبقات کیفی	کلاس ریسک	میزان ریسک (میلیارد تومان)	مساحت (هکتار)	درصد
خیلی کم	I	۱۰-۰	۱۷۷۸۸۵	۵۹,۹۳
کم	II	۵۰-۱۰	۶۸۸۴	۲,۳۱
متوسط	III	۱۰۰-۵۰	۱۸۰۰	۰,۶۰
زیاد	IV	۵۰۰-۱۰۰	۱۳۲۱۷	۴,۴۵
خیلی زیاد	V	۲۰۰۰-۵۰۰	۹۷۰۲۸	۳۲,۶۸

Table 7. Frequency of economic risk intensity classes of Hamoon wetland

یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۱

**فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا**

## ۳-۳. برآورد ارزش اقتصادی از دست رفته ناشی از فرسایش بادی

همانطور که در این جدول نیز قابل مشاهده است، در کلاس فرسایشی خیلی کم که تولید رسوب سالانه، کم تر از ۲۵۰ تن در کیلومتر مربع در سال است، میانگین (S) QS برابر با ۱۲۶۲,۸ کیلوگرم در هکتار بوده است (به عنوان کم ترین میزان (S) QS)، در حالی که در کلاس فرسایشی خیلی زیاد، که تولید رسوب سالانه برابر با ۵۰۰-۶۰۰۰ تن در کیلومتر مربع در سال است، میانگین QS معادل ۳۳۶۹۶,۷ کیلوگرم در هکتار بوده است (به عنوان بیشترین میزان (S) QS).

جدول ۸. میزان رسوب دهی در هر کلاس فرسایشی تالاب هامون

شدت و کلاس فرسایش	علامت کلاس	تولید رسوب سالانه Ton/Km2/Year	امتیاز نشان دهنده شدت	R(میانگین عدد امتیاز هر کلاس فرسایش)	QS براساس میانگین عدد امتیازات هر رخساره Ton/Km2/Year	QS (S) kg/ha
خیلی کم	I	کم تر از ۲۵۰	کم تر از ۲۵	۲۲,۵	۱۲۶,۲۸	۱۲۶۲,۸
کم	II	۲۵۰-۵۰۰	۲۵-۵۰	۴۲,۹۱	۳۵۰,۳۹	۳۵۰۳,۹
متوسط	III	۵۰۰-۱۵۰۰	۵۰-۷۵	۶۴	۱۰۰۵,۸۳	۱۰۰۵۸,۳
زیاد	IV	۱۵۰۰-۶۰۰۰	۷۵-۱۰۰	۸۸,۱۸	۳۳۶۹,۶۷	۳۳۶۹۶,۷
خیلی زیاد	V	بیشتر از ۶۰۰۰	بیشتر از ۱۰۰	۱۰۷,۲۳	۸۷۳۴,۸۱	۸۷۳۴۸,۱

Table 8. Sedimentation rate in each erosion class of Hamoon wetland

یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۱

جدول ۹ بیانگر نتایج محاسباتی پارامتر CU برای معادله ۳ براساس محاسبه میانگین عناصر غذایی از دست رفته خاک است. به این منظور چندین نمونه بردای برای هر عنصر در عمق‌های متفاوت که به صورت میانگین بین ۰-۲۷ است در محدوده مطالعاتی صورت گرفته است. بیشترین و کم ترین میزان عنصر P به ترتیب ۱۶,۸ و ۳,۲ ppm و میانگین تمام نمونه‌ها برای این عنصر ۱۰,۴۴ اندازه گیری شده است. بیشترین و کم ترین میزان عنصر K به ترتیب ۴۰۰ و ۹۰ ppm و میانگین تمام نمونه‌ها برای این عنصر ۲۴۷ ppm اندازه گیری شده است. بیشترین و کم ترین میزان عنصر N به ترتیب ۰,۰۶ و ۰,۰۲ درصد و میانگین تمام نمونه‌ها برای این عنصر ۰,۰۳۷ درصد که برابر ۳۷۰۰ ppm اندازه گیری شده است که عدد میانگین هر عنصر به عنوان CU مورد استفاده قرار گرفته است.

## فصلنامه برنامه ریزی و آمایش فضا

جدول ۹. نتایج مربوط به آنالیز خاک در ده ناحیه مختلف از تالاب هامون

پروفیل شاهد	عمق خاک	Av.P Ppm	Av.K Ppm	N%
شماره ۱	۲۱-۰	۱۳٫۸	۳۲۰	۰٫۰۴
شماره ۲	۱۶-۰	۱۵٫۸	۲۳۰	۰٫۰۵
شماره ۳	۲۷-۰	۳٫۲	۹۰	۰٫۰۲
شماره ۴	۱۷-۰	۱۶٫۸	۲۵۰	۰٫۰۶
شماره ۵	۲۱-۰	۱۰٫۸	۲۵۰	۰٫۰۳
شماره ۶	۱۶-۰	۱۰٫۸	۳۰۰	۰٫۰۴
شماره ۷	۱۷-۰	۶٫۲	۱۶۰	۰٫۰۴
شماره ۸	۱۸-۰	۱۶٫۲	۴۰۰	
شماره ۹	۲۲-۰	۴٫۸	۲۳۰	۰٫۰۴
شماره ۱۰	۱۶-۰	۶	۱۵۰	۰٫۰۲
میانگین		۱۰٫۴۴	۲۴۷	۰٫۰۳۷

Table 9. Results of soil analysis in ten different areas of Hamoon wetland

مأخذ: برگرفته از مهندسین مشاور نوآوران علوم مکانی، ۱۴۰۰

پس از برآورد میزان رسوبدهی در هر کلاس فرسایش و محاسبه مقدار هر یک از عناصر غذایی موجود در خاک تالاب به وسیله معادله ۳ مقدار هدررفت کلی عناصر غذایی موجود در هر کلاس فرسایشی مطابق جدول ۱۰ برآورد شده است. جدول ۱۰، بیانگر میزان کل عناصر غذایی هدررفته (DP، DK، DN) برای عناصر P، N، K در هر کلاس فرسایش است. بیشترین و کمترین میزان هدررفته عنصر P به ترتیب مربوط به کلاس فرسایش زیاد با میزان ۱۲۸۰۹٫۵۰ و کلاس فرسایش خیلی کم با میزان ۱۱۱۴٫۵۰ میلی گرم بر هکتار برآورد شده است. بیشترین و کمترین میزان هدررفته عنصر K به ترتیب مربوط به کلاس فرسایش زیاد با میزان ۳۰۳۰۶۰٫۱۶ و کلاس فرسایش خیلی کم با میزان ۲۶۳۶۸٫۰۷ میلی گرم بر هکتار برآورد شده است. بیشترین و کمترین میزان هدررفته عنصر N به ترتیب مربوط به کلاس فرسایش زیاد با میزان ۴۵۳۹۷۶۷٫۶۸ و کلاس فرسایش خیلی کم با میزان ۳۹۴۹۸۷٫۲۹ میلی گرم بر هکتار برآورد شده است.

### فصلنامه برنامه ریزی و آمایش فضا

جدول ۱۰. مقدار کل هدررفت عناصر غذایی، P، K، N در کلاس‌های فرسایش تالاب هامون

$D_N$ کل	$D_N$ Mg/ha	N Pp m	$D_K$ کل	$D_K$ Mg/ha	Av. K Ppm	$D_P$ کل	$D_P$ Mg/ha	Av. P Ppm	kg/h a	وسعت (هکتار)	علامت کلاس	شدت و فرسایش کلاس
۳۹۴۹۸۷,۳	۴۶۷۲۳۶	۳۷۰۰	۲۶۳۶۸,۱	۳۱۱۹۱۱,۶	۲۴۷	۱۱۱۴,۵	۱۳۱۸۳,۶	۱۰,۴۴	۱۲۶۲,۸	۸۴۵۳۷	I	خیلی کم
۱۵۸۳۸۲۵,۵	۱۲۹۶۴۴۳	۳۷۰۰	۱۰۵۷۳۱,۱	۸۶۵۴۶۳,۳	۲۴۷	۴۴۶۹	۳۶۵۸۰,۷	۱۰,۴۴	۳۵۰۳,۹	۱۲۲۱۶۷	II	کم
۱۴۹۳۲۸۰,۴	۳۷۲۱۵۷۱	۳۷۰۰	۹۹۶۸۶,۶	۲۴۸۴۴۰۰,۱	۲۴۷	۴۲۱۳,۵	۱۰۵۰۰۸,۷	۱۰,۴۴	۱۰۰۵۸,۳	۴۰۱۲۵	III	متوسط
۴۵۳۹۷۶۷,۷	۱۲۴۶۷۷۹۰	۳۷۰۰	۳۰۳۰۶۰,۲	۸۳۲۳۰۸۴,۹	۲۴۷	۱۲۸۰۹,۵	۳۵۱۷۹۳,۵	۱۰,۴۴	۳۳۶۹۶,۷	۳۶۴۱۲	IV	زیاد
۴۳۸۶۶۳۰,۳	۳۳۳۱۸۷۹۰	۳۷۰۰	۲۹۲۸۳۷,۲	۲۱۵۷۴۹۸۰,۷	۲۴۷	۱۲۳۷۷,۴	۹۱۱۹۱۴,۲	۱۰,۴۴	۸۷۳۴۸,۱	۱۳۵۷۳	V	خیلی زیاد

Table 10. The amount of total loss of nutrients, P, K, N in the erosion classes of Hamoon wetland

یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۱

در ادامه، برای محاسبه ارزش اقتصادی کل عناصر در هر کلاس فرسایش روش اقتصادی هزینه جایگزین به کار گرفته شده است؛ بدین ترتیب که به منظور جبران عناصر غذایی از دست‌رفته ناشی از فرسایش خاک، نیاز به جایگزین کردن این عناصر با استفاده از کودهای شیمیایی است و ارزش بازاری این کودها می‌تواند برآوردی از ارزش کنترل فرسایش خاک در اختیار ما قرار دهد. جدول ۱۱، هزینه یک کیلوگرم از کودهای جانشین سه عنصر ازت، فسفر و پتاسیم را برآورد کرده است. براساس این جدول، هزینه تأمین یک کیلوگرم عنصر ازت ۶۵۱۰۰ هزار ریال، عنصر فسفر ۱۸۳۵۸۲ هزار ریال و عنصر پتاسیم ۲۱۷۷۰۰ هزار ریال است.

جدول ۱۱. قیمت کودهای جانشین عناصر غذایی سال ۱۴۰۰

نوع کود	عنصر	درصد عناصر در کود شیمیایی	مقدار کود داشتن یک کیلوگرم عنصر	قیمت غیریارانه‌ای (کیلوگرم/ریال)	قیمت کل (هزار ریال)
اوره	ازت	۰,۴۶	۲,۱۷	۳۰۰۰۰	۶۵۱۰۰
سوپر تریبیل فسفات	فسفر	۰,۴۶	۲,۱۷	۸۴۶۰۰	۱۸۳۵۸۲
سولفات پتاسیم	پتاسیم	۰,۵	۲	۱۰۸۸۵۰	۲۱۷۷۰۰

Table 11. The price of fertilizers replaced food elements in 1400

منبع: قیمت‌ها برگرفته از شرکت خدمات حمایتی کشاورزی، ۱۴۰۰

## فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

جدول ۱۲ مطابق معادله ۴ به برآورد میزان ارزش اقتصادی هدررفته کل عناصر در هر کلاس فرسایش در تالاب هامون پرداخته است. بیشترین میزان ارزش ازدست‌رفته به مقدار ۹۹۴ میلیارد ریال مربوط به کلاس فرسایش خیلی زیاد و کم‌ترین میزان مربوط به کلاس فرسایش خیلی کم به میزان ۳۲ میلیارد ریال است.

جدول ۱۲. ارزش اقتصادی کلی هدررفته عناصر اصلی غذایی خاک در کلاس‌های فرسایش تالاب هامون

شدت و کلاس فرسایش	علامت کلاس	V (میلیارد ریال)
خیلی کم	I	۳۲
کم	II	۱۲۷
متوسط	III	۱۲۰
زیاد	IV	۳۶۴
خیلی زیاد	V	۳۵۲
جمع کل		۹۹۴

Table 12. Total wasted economic value of the main soil nutrient elements in Hamoon wetland erosion classes

یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۱

#### ۴. بحث

خشکی تالاب هامون علاوه بر تأثیرات مستقیم بر امنیت و معیشت ساکنان، باعث پدید آمدن مشکلات بسیاری از جنبه فرسایش بادی می‌شود. سهم زیاد اراضی بستر این تالاب در فرسایش و تشکیل تپه‌های ماسه‌ای اهمیت حفظ این عرصه‌ها را متمایز می‌سازد (سرگزی، ۱۳۹۰: ۸۸۸). همچنین خشک‌سالی‌های اخیر هامون موجب افزایش پدیده بیابان‌زایی در این منطقه شده است. اثر خشک‌سالی بر محیط فیزیکی با کاهش مواد غذایی موجود در سطح خاک در اثر افزایش فرسایش بادی، کاهش نقل و انتقالات مواد غذایی در خاک، افزایش طوفان‌های گرد و خاک و تخریب بافت و ساختمان خاک همراه بوده است (اشرفی‌زاده، ۱۳۹۵: ۲۲).

با توجه به مطالب بیان‌شده، این پژوهش تلاش کرده است تا ابتدا ریسک اقتصادی فرسایش بادی در هر یک از واحدهای کاری تالاب هامون را برآورد و سپس ارزش اقتصادی ازدست‌رفته ناشی از فرسایش را در تالاب محاسبه کند. برای این منظور ابتدا به وسیله مدل‌های برآورد شدت فرسایش بادی به بیان شدت و کلاس فرسایش بادی و در ادامه میزان رسوب تولیدی سالانه تالاب اقدام شده است. با توجه به این که مدل‌های IRIFR ۱ و ۲ مدل‌های تجربی و مبتنی بر شاخص و امتیازدهی هستند می‌توانند پتانسیل فرسایش‌پذیری بادی خاک را در کاربری‌های مختلف زراعی و غیر زراعی برآورد کنند (اختصاصی، ۱۳۸۹). با در نظر گرفتن وسعت تالاب و بیان این مطلب که سایر مدل‌ها عمدتاً برای مناطق نسبتاً کوچک مورد استفاده واقع شده‌اند و استفاده از آن‌ها برای شناسایی خطر فرسایش بادی در مناطق بزرگ با سیمای اراضی متفاوت دارای نقاط ضعف بسیاری است (Webb, 2006). بنابراین در پژوهش حاضر از مدل IRIFR

#### فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

برای بیان شدت و میزان رسوب تولیدی در تالاب هامون، که کاربری غیرزراعی و دارای وسعت نسبتاً زیادی است، استفاده شده است. نتایج نشان داد که بیشترین کلاس فرسایشی تالاب، مربوط به کلاس فرسایشی کم است که عمدتاً بخش‌های شمالی و جنوبی تالاب را احاطه کرده و کم‌ترین آن مربوط به کلاس فرسایشی خیلی زیاد است که در بخش‌های شمالی، شمال شرقی، و بخش‌هایی از غرب تالاب واقع شده‌اند. با توجه به این موضوع که تالاب هامون منطقه‌ای آبی محسوب می‌شود، منطقی است که میزان فرسایش کم در این منطقه، بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده باشد. ولی با توجه به مساحت زیاد تالاب، فرسایش کم هم در آن می‌تواند تأثیرات جبران‌ناپذیر درون منطقه‌ای و برون منطقه‌ای بسیاری ایجاد کند و با توجه به گسترش خشکی روزافزون تالاب هامون و عدم دریافت حق آبه شدت فرسایش بادی در این منطقه رو به افزایش است. با توجه به مطالعات انجام‌شده به وسیله پژوهشگران در سایر مناطق دشت سیستان مانند زهک (هاشمی و همکاران، ۱۳۸۹؛ پهلوانروی، ۱۳۹۱) و جزینک (ذوالفقاری و خسروی، ۱۳۹۴) که بیشترین شدت فرسایش در کلاس‌های زیاد، خیلی زیاد و متوسط قرار گرفته است، می‌توان انتظار داشت که با خشک شدن تالاب، شدت فرسایش در این محدوده نیز مانند سایر مناطق دشت سیستان، به شدت کلاس‌های فرسایشی بالاتر تغییر وضعیت دهد و این مطلب با توجه به حجم بالای رسوب تولیدی ناشی از فرسایش خاک کف تالاب می‌تواند نتایج اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی بسیاری را برای منطقه دشت سیستان و مناطق همسایه آن در برداشته باشد. در مبحث اول اقتصادی (نقشه ریسک) برای بیان میزان خسارت احتمالی ایجادشده از پدیده فرسایش بادی و گردوغبار ناشی از آن در تالاب به‌عنوان یک مبدأ (کانون اصلی) تولید گردوغبار که در محدوده خود دارای کاربری‌های متنوع مسکونی، کشاورزی، جاده و غیره است و توجه به این نکته که گردوغبار می‌تواند خسارت‌های اقتصادی بسیاری ایجاد کند، با استفاده از معادله ریسک، پس از بررسی سه پارامتر بزرگی خطر، عناصر در معرض خطر و درجه آسیب‌پذیری آن در محدوده تالاب نتایج بیانگر ریسک اقتصادی با شدت خیلی زیاد تا خیلی کم و وجود پنج کلاس ریسک بوده است. نقشه ریسک نشان‌دهنده آن است که بیشترین شدت خسارات وارده به تالاب با توجه به وسعت بالای کاربری مرتع مربوط به این کاربری خواهد بود. در نتیجه، کلاس ریسک خیلی زیاد با مساحت ۹۷۰۲۸ هکتار و ۳۲٫۶۸ درصد مربوط به بخش اعظمی از مراتع تالاب است که قادر است خسارتی بالغ بر ۵۰۰-۲۰۰۰ میلیارد ریال ایجاد کند. در مبحث دوم اقتصادی (برآورد ارزش اقتصادی از دست‌رفته) با توجه به اهمیت این مطلب که خاک سطحی اولین قسمتی است که در معرض فرسایش قرار می‌گیرد و میزان عناصر غذایی خاک در این سطح بسیار کاهش می‌یابد. این کاهش باعث کاهش مواد آلی (نیترژن، فسفر و پتاسیم) می‌شود (عاقلی و صادقی، ۱۳۸۴: ۸۹). در صورت کاهش شدید عناصر غذایی خاک در اثر فرسایش برای جبران میزان عناصر از دست‌رفته نیاز به استفاده از کودهای جایگزین این عناصر است که با برآورد میزان کود مورد نیاز می‌توان ارزش اقتصادی از دست‌رفته خاک در اثر فرسایش را محاسبه کرد. به همین منظور ارزش اقتصادی از دست‌رفته ناشی از اتلاف عناصر غذایی اصلی خاک تالاب، با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از میزان رسوب تولیدی سالانه به وسیله مدل IRIFR و میزان هدررفت کلی عناصر غذایی با استفاده از روش هزینه

جایگزین، ارزش اقتصادی ازدست‌رفته، برابر با ۹۹۴ میلیارد ریال برآورد شده است. در نتیجه در پی ایجاد پدیده فرسایش بادی، حجم بالایی از خسارت مالی به تالاب و محیط زیست وارد می‌شود، در واقع، ارزش اقتصادی از ازدست‌رفته در هر هکتار در سال ۱۴۰۰ در تالاب هامون برابر با ۱,۷۴۳,۴۲۲ ریال برآورد شده است. این میزان ارزش اقتصادی ازدست‌رفته در مقایسه با سایر پژوهش‌هایی که در استان‌های دیگر انجام شده است، میزان بالایی است که از آن جمله می‌توان به نتایج پژوهش‌های قاسمی آریان (۱۳۹۵) در استان خراسان جنوبی (برابر با ۳۶۷,۲۴۴ ریال در هر هکتار)، و آقاییگی (۱۳۹۵) در استان همدان (۲۷۴,۰۰۰ ریال در هر هکتار) اشاره کرد. این میزان ارزش اقتصادی ازدست‌رفته، از یک سو با توجه به فقر حاکم در سطح منطقه و از سوی دیگر به دلیل افزایش شدت فرسایش در سال‌های پیش رو (به دلیل خشک‌سالی، بحران آب، تغییرات اقلیمی، و تغییرات کاربری اراضی)، روند نگران‌کننده‌ای دارد، به طوری که امنیت اجتماعی و اقتصادی در منطقه سیستان را تهدید خواهد کرد.

نتایج نشان دادند که متغیرهایی همچون سرعت باد، چرای بی‌رویه دام و همچنین تغییرات کاربری اراضی (ساخت‌وسازهای مسکونی و راه‌سازی)، به عنوان مهم‌ترین دلایل فرسایش بادی در بخش‌های یادشده محسوب می‌شوند که تداوم این وضعیت، به همراه عوامل برون‌منطقه‌ای مؤثر در افزایش فرسایش مثل عدم دریافت حقایق تالاب از کشور همسایه و تغییرات اقلیمی می‌تواند با توجه به خشکی روزافزون تالاب، شدت فرسایش را افزایش و به بخش‌های مرکزی و جنوبی گسترش دهد. بررسی‌ها همچنین نشان داد که مکانیسم‌های نظارتی در محدوده تالاب پایین بوده و این مسئله باعث تشویق تغییرات کاربری اراضی در این محدوده‌ها شده است. از دیگر مسائل موجود در این زمینه، می‌توان به فقدان کارگروه‌های مشترک بین‌المللی (بین ایران و افغانستان) در تقسیم حقایق‌ها و مدیریت آب در این زمینه اشاره کرد که متأسفانه عدم رعایت حقایق از سوی افغانستان، مهم‌ترین عامل خشک شدن آب تالاب و رشد فرسایش بادی در منطقه شده است. براساس نتایج اقتصادی، فرسایش بادی در تالاب باعث خسارت‌های مالی بسیاری به کاربری‌های موجود در تالاب از جمله مراتع، زمین‌های کشاورزی، اماکن مسکونی، جاده‌ها و نظیر این‌ها می‌شود و همچنین با توجه به رسوب تولیدی در نتیجه فرسایش بادی باعث از دسترس خارج شدن عناصر اصلی غذایی خاک و از بین رفتن ارزش اقتصادی این عناصر می‌شود.

فرسایش بادی در تالاب هامون، پیامدهای متعددی داشته که از آن جمله به موارد زیر می‌توان اشاره کرد: (۱) پیامدهای اجتماعی - جمعیتی: اعم از تهدید سلامتی و گسترش بیماری‌های مختلف از جمله ریه، چشم، قلب و ...، مهاجرت روستاییان به شهرهای پیرامون، خشک شدن سایر مناطق آب زیرزمینی، آسیب به اراضی زراعی؛ و نظیر این‌ها؛ (۲) پیامدهای اقتصادی - نهادی: نظیر تخریب زیرساخت‌های عمومی و از بین رفتن مشاغل سنتی مانند کشاورزی و دامداری، کاهش تولیدات دامی و گیاهی و به تبع آن کاهش شدید درآمد زارعان و دامداران، کاهش مساحت زیر کشت، آسیب به اراضی زراعی و باغی، افزایش چالش‌های سازمانی، افزایش منابع اعتباری در شهرداری و فرمانداری و غیره؛ (۳) پیامدهای محیطی - کالبدی: شامل تخریب زیستگاه‌های حیوانات و گیاهان و در نتیجه کاهش حجم پوشش گیاهی و به تبع آن کاهش تعداد جانوران منطقه و تلف شدن وحوش و آبیان منطقه، کاهش کیفیت خاک از جمله کاهش مواد غذایی موجود

#### فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

در سطح خاک، کاهش نقل و انتقالات مواد غذایی در خاک، افزایش طوفان‌های گرد و غبار و تخریب بافت و ساختمان خاک، تخریب و مدفون شدن روستاها زیر شن و ماسه. پیامدهای فرسایش بادی در پژوهش‌های متعددی مورد بررسی و تأیید قرار گرفته شده‌اند (ملکیان، ۱۳۸۷؛ بامری و همکاران، ۱۳۹۸).

در مجموع می‌توان گفت که اندازه‌گیری فرسایش بادی می‌تواند بینش ما در مورد مکانیزم‌های فرایند، ارزیابی اثرات محیط زیستی فرسایش بادی، پیش‌بینی وقوع آن و ارزیابی اقدامات حفاظتی را بهبود بخشد. نتایج این پژوهش می‌تواند به مدیران کمک کند تا عوامل موثر بر فرسایش باد و همچنین اجرای سیاست‌های حفاظت را کنترل و پیش‌بینی کنند. همچنین استفاده از روش‌های اقتصادی (اعم از روش معادله ریسک و تهیه نقشه ریسک) باعث شناسایی مناطقی با انواع شدت ریسک متفاوت می‌شود. این نقشه‌ها امکان برنامه‌ریزی دقیق‌تر و مشخص‌تر برای کنترل فرسایش بادی با توجه به میزان ریسک بیان‌شده برای هر محدوده به صورت مجزا و براساس شدت ریسک آن را برای سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان فراهم می‌کند. همچنین استفاده از روش هزینه جایگزین و برآورد میزان هدررفت عناصر غذایی خاک در اثر فرسایش با بیان داده‌های کمی میزان هدررفت امکان جبران دقیق عناصر از دست رفته خاک را فراهم می‌کند. در نهایت، با بیان هزینه جایگزینی عناصر از دست رفته با کدهای جایگزین میزان خسارت وارده در صورت بروز فرسایش خاک سطحی را محاسبه کرده و امکان پیشگیری از آن با صرف هزینه کم‌تر برای سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان را امکان‌پذیر کرده است.

## ۵. نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر نشان داد که فرسایش بادی در تالاب هامون، طی دهه‌های اخیر رشد گسترده‌ای یافته است. نقشه‌های ریسک منطقه نشان داد که فرسایش بادی پیامدهای متعددی داشته است که از آن جمله می‌توان به ارزش اقتصادی از دست‌رفته عناصر اصلی خاک در سطح تالاب اشاره کرد. به منظور کاهش شدت فرسایش بادی و تأثیرات ناشی از آن، قبل از هر چیز، لازم است در حوزه سیاست‌گذاری‌ها، از مدل‌ها و روش‌های علمی سنجش فرسایش بادی (همچون مدل IRIFR، ارزیابی ریسک و برآورد ارزش اقتصادی از دست رفته خاک ناشی از فرسایش بادی) استفاده شود تا از یک سو شناخت بهتری از وضعیت و روند تالاب حاصل شود، از سوی دیگر، برنامه‌ریزی‌های دقیق‌تری برای تعدیل مسائل ایجادشده، ارایه شود. همچنین برآورد کمی ارزش اقتصادی، این امکان را برای مدیران و سیاست‌گذاران فراهم خواهد کرد تا با اطلاع دقیق از میزان خسارت‌های ایجادشده، نقاط کانونی را شناسایی و از افزایش شدت بحران پیشگیری کنند. یکی دیگر از راهکارهای سیاستی، تشکیل دبیرخانه حل مسئله فرسایش بادی بین ایران و افغانستان است تا از یک سو حقایق طرفین (در رودخانه هیرمند و سایر رودخانه‌های مشترک منطقه) به شکل دقیق‌تری تعیین شود و از سوی دیگر، پروژه‌های عملیاتی برای پیشگیری از شکل‌گیری مسائل و پیامدهای منفی در این زمینه تعریف شوند. در نهایت، توسعه مکانیسم‌های نظارتی به منظور پیشگیری از تغییرات کاربری اراضی و چرای بی‌رویه دام‌ها ضروری است. در این



زمینه شکل‌گیری مدیریت یکپارچه تالاب با حضور سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی و دیگر نهادهای ذینفع و بازیگر در این زمینه (اعم از استانداری، فرمانداری‌ها، بخشدارها، بنیاد مسکن انقلاب اسلامی، اداره کل منابع طبیعی، سازمان میراث فرهنگی و گردشگری و صنایع دستی، سازمان جهاد کشاورزی، وزارت نیرو و ...) به منظور مدیریت این محدوده‌ها الزامی می‌نماید. به‌عنوان پژوهش‌های آتی، در ادامه کار، انجام پژوهش‌های زیر پیشنهاد می‌شود: ارزیابی تأثیرات اجتماعی و فرهنگی فرسایش بادی در تالاب‌ها، کاربست‌های نهادی حل مسئله فرسایش بادی در تالاب‌ها، و شبیه‌سازی فرسایش بادی در دهه‌های پیش رو در تالاب‌ها.

## منابع

- آقابگی امین، س.، فتاحی، ب.، جهانتاب، ا.، و پورحسین، ف. (۱۳۹۵). برآورد ارزش اقتصادی هدررفت کمی و کیفی خاک و آب در مراتع در اثر فرسایش. *یازدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، توسعه مشارکتی در مدیریت حوزه‌های آبخیز.
- احمدی، ح. (۱۳۸۵). *ژئومورفولوژی کاربردی*. ج ۲. بیابان - فرسایش بادی. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- اختصاصی، م. ر. (۱۳۸۹). معرفی و بررسی کارایی دو مدل شاخصی برآورد فرسایش بادی با نام‌های اختصاری IRIFR1 و IRIFR2. *اولین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه، آب، خاک و هوا*. مرکز بین‌المللی علوم تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی دانشگاه شهید باهنر کرمان. <https://civilica.com/doc/97565>
- اشرفی‌زاده، ح. (۱۳۹۵). اثرات زیست‌محیطی خشک شدن دریاچه هامون بر منطقه سیستان. *کنفرانس سالانه علمی - تخصصی عمران، معماری، شهرسازی و علوم جغرافیایی در ایران باستان و معاصر*. تهران، <https://civilica.com/doc/521063>
- انتظاری، م.، و غلام‌حیدری، ح. (۱۳۹۳). مقایسه مدل‌های SLEMSA و CORINE در ارزیابی فرسایش خاک (مطالعه موردی: حوضه تنگ سرخ شیراز). *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، ۳، ۱-۲۸.
- بامری، ح.، جلالیان، ع.، و پیری، ح. (۱۳۹۸). بررسی مشکلات زیست‌محیطی تالاب هامون از منظر حقوق محیط زیست. *کنفرانس بین‌المللی گردوغبار در جنوب غرب آسیا*، دانشگاه زابل.
- بختیاری، م.، پناهی، م.، کرمی، م.، قدوسی، ج.، مشایخی، ز.، و پورزادی، م. (۱۳۸۸). ارزش‌گذاری اقتصادی کارکرد حفظ و نگهداشت عناصر غذایی خاک در جنگل‌های منطقه سبزکوه. *جنگل ایران*، ۱(۱)، ۶۹-۸۱.
- بوعلی، ع.، و بهبهانی، ع. (۱۳۹۸). ارزیابی شدت ریسک بیابان‌زایی و ارائه برنامه مدیریت منطقه مورد مطالعه: دشت سگری اصفهان. *جغرافیا و توسعه*، ۵۶، ۱۸۱-۱۹۴.
- بیاتی، م. (۱۳۸۹). نقش تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در طول دامنه‌ها در فرسایش‌پذیر شدن خاک‌های کوهستان‌ها (با تأکید بر فرسایش خندقی): دامنه‌های شمال غربی سبلان (از اهر تا مشکین شهر). *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، ۱۴(۶۵)، ۳۳-۵۶. <https://sid.ir/paper/171962/fa>. SID.

## فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

- پهلوانروی، ا. (۱۳۹۱). ارزیابی فرسایش و رسوبات بادی با استفاده از مدل IRIFR در منطقه زهک دشت سیستان. *جغرافیا و توسعه*، ۲۷، ۱۲۷-۱۴۰.
- جعفری، ح.، اکبری، م.، کاشکی، م.، و بدیعی نامقی، ح. (۱۳۹۸). مقایسه کارایی دو مدل ESAS و IMDPA جهت مدیریت ریسک خطر بیابان‌زایی منطقه عمران گناباد در جنوب غربی استان خراسان جنوبی. *خشک بوم*، ۹(۱)، ۳۹-۵۴. doi: 10.29252/aridbiom.2019.1542.
- حسین پور، ر.، اونق، م.، بایرام کمکی، ج.، و رضانی گسک، م. (۱۳۹۵). ارزیابی ریسک بیابان‌زایی و ارائه برنامه مدیریتی منطقه تالاب کجی نمکزار نهبندان با مدل MICD. *سومین کنگره ملی زیست‌شناسی و علوم طبیعی ایران*. تهران، <https://civilica.com/doc/566803>.
- حسینی، ص.، امینی‌زاده، م.، و یزدانی، س. (۱۳۹۷). ارزیابی پیامدهای سیاست‌های تجاری - مالیاتی بر فرسایش خاک؛ کاربرد الگوی تعادل عمومی چندبخشی. *تحقیقات اقتصاد کشاورزی*، ۱، ۴۱-۶۴.
- خسروپور، ن. (۱۳۹۷). بررسی ارزش اقتصادی کارکرد حفاظت خاک پوشش گیاهی مرتع. *هفتمین کنفرانس ملی مرتع و مرتع‌داری ایران*.
- داوری، م.، بهرامی، ح.، قدوسی، ج.، و طهماسبی پور، ن. (۱۳۸۵). استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب حوزه آبخیز نوژیان (جنوب شرقی خرم آباد). *ویژه‌نامه جغرافیا*، ۱۰ (۴۵)، ۱۰۳-۱۲۲. SID. <https://sid.ir/paper/6797/fa>.
- دهمرده، م.، شهرکی، ج.، و اکبری، ا. (۱۳۹۸). ارزیابی اقتصادی خسارت زیست‌محیطی ناشی از خشکی تالاب هامون بر اکوسیستم منطقه سیستان. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۹، ۲۰۹-۲۲۸.
- سازمان برنامه و بودجه (۱۳۷۸). اولین گزارش ملی توسعه انسانی ایران.
- سازمان حفاظت محیط زیست با همکاری اداره کل محیط زیست استان سیستان و بلوچستان (۱۳۹۵). برنامه جامع مدیریت تالاب بین‌المللی هامون، ۷۲ ص.
- سرگزی، ح. (۱۳۸۴). *منشأیابی و برآورد شدت و خسارت فرسایش بادی بیابان نیاتک سیستان*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم و کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- سرگزی، ح. (۱۳۹۰). اهمیت زیست محیطی اکولوژیکی و اقتصادی تالاب هامون، دومین همایش ملی مقابله با بیابان‌زایی و توسعه پایدار تالاب‌های کویری ایران. اراک، <https://civilica.com/doc/156468>.
- سیلاخوری، ا.، اونق، م.، و سلیمانی ساردو، م. (۱۳۹۸). ارزیابی خطر و ریسک بیابان‌زایی با استفاده از روش TOPSIS-GIS (مطالعه موردی: منطقه باشتین سبزوار - خراسان رضوی). *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۲۵، ۴۴-۵۹.
- شرکت خدمات حمایتی کشاورزی (۱۴۰۰).

- ۱- صنیعی، ا. (۱۳۹۰). ارزیابی خطر، خسارت روتنگری خاک در دشت‌های ساحلی دریای خزر، استان گلستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- ۲- عاقلی کهنه شهری، ل.، و صادقی، ح. (۱۳۸۴). برآورد آثار اقتصادی فرسایش خاک در ایران. پژوهش‌های رشد و توسعه پایدار (پژوهش‌های اقتصادی)، ۵(۱۵)، ۸۷-۱۰۰. SID. <https://sid.ir/paper/86558/fa>
- ۳- عرفانی‌نسب، ص. (۱۴۰۱). عوامل مؤثر در فرسایش خاک و شکل‌گیری گردوغبار در دشت سیستان، و ارائه راهبردهای مناسب (مطالعه موردی: تالاب هامون). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی تهران.
- ۴- عنبرانی، ج. (۱۳۷۷). تخمین رواناب در حوضه‌های آبخیز دریای خزر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی، دانشگاه اصفهان.
- ۵- فارسی، ر.، یگانه، ح.، حسینعلی‌زاده، م.، و عظیمی، م. (۱۳۹۹). برآورد ارزش اقتصادی نقش پوشش گیاهی در کنترل فرسایش خاک (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کچیک). نشریه پژوهش‌های حفاظت آب‌ونخاک، ۶، ۱۳۷-۱۵۲.
- ۶- قاسمی آریان، ی.، آذرنیوند، ح.، و کیانی‌راد، علی. (۱۳۹۵). ارزش‌گذاری اقتصادی کارکرد حفظ حاصلخیزی خاک در اکوسیستم‌های مرتعی احیاشده در مناطق خشک (مطالعه موردی: پروژه بین‌المللی ترسیب کربن، خراسان جنوبی). مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، ۴، ۱۰۳۱-۱۰۴۲.
- ۷- کوچمی ساردو، ا.، بسالت‌پور، ع.، بشری، ح.، شیرانی، ح.، و اسفندیارپور بروجنی، ع. (۱۳۹۶). ارزیابی مدل IRIFR برای شبیه‌سازی هدررفت خاک در رخساره‌های گوناگون فرسایش بادی به کمک داده‌های دستگاه سنجش فرسایش بادی. خشک بوم، ۱۷(۱)، ۲۵-۱۳. doi: 10.29252/aridbiom.7.1.13
- ۸- مبرقی، ن. (۱۳۸۹). برآورد ارزش کارکرد حفاظت از مواد مغذی خاک در اکوسیستم‌های جنگل. پژوهش‌های محیط زیست، ۲، ۳-۱۲.
- ۹- ملکیان، م. (۱۳۸۷). اهمیت زیست محیطی و اقتصادی تالاب بین‌المللی هامون در منطقه سیستان. اولین کنفرانس بین‌المللی بحران آب، دانشگاه زابل.
- ۱۰- مهندسین مشاور نوآوران علوم مکانی (۱۴۰۰). مطالعات پایه بخش خاک‌شناسی و قابلیت اراضی. تهران.
- ۱۱- میری، ع.، احمدی، ح.، و اختصاصی، م. (۱۳۸۴). برآورد خسارت ناشی از فرسایش بادی (طوفان‌های گردوخاک) در منطقه سیستان. اولین همایش ملی فرسایش بادی. یزد، <https://civilica.com/doc/101123>
- ۱۲- نگارش، ح.، و لطیفی، ل. (۱۳۸۷). تحلیل ژئومورفولوژیکی روند پیش‌روی تپه‌های ماسه‌ای شرق دشت سیستان در خشک‌سالی‌های اخیر. جغرافیا و توسعه، ۱۲، ۴۳-۶۰.
- ۱۳- نوحه‌گر، ا.، و کاظمی، م. (۱۳۹۰). ارزیابی تغییرات زمانی پهنه‌بندی خطر فرسایش آبی با استفاده از مدل CORINE (مطالعه موردی: حوضه آبخیز تنگ بستانک شیراز). پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۱(۲)، ۵-۱۶. SID. <https://sid.ir/paper/223055/fa>.

- هاشمی، ز.، جوادی، م.، و میری، ع. (۱۳۸۹). بررسی شدت فرسایش بادی و پتانسیل رسوب‌دهی حاصل از آن با استفاده از مدل IRIFR در منطقه زهک سیستان. دومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گردوغبار. دانشگاه یزد.
- یگانه، ح.، آذرنیوند، ح.، صالح، ا.، ارزانی، ح.، و امیرنژاد، ح. (۱۳۹۵). برآورد ارزش اقتصادی کارکرد حفاظت خاک (مطالعه موردی: تهم زنجان). *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ج ۲۳، ۱، ۱۶۱-۱۷۶.
- Aghabeigi Amin, S., Fatahi, B., Jahantab, A., & Pourhossein, F. (2015). Estimating the economic value of quantitative and qualitative loss of soil and water in pastures due to erosion, the 11th National Conference on Watershed Science and Engineering of Iran, participatory development in watershed management. SID. <https://sid.ir/paper/885920/fa>. (In Persian)
- Agheli Kohenshahri, L., & Sadeghi, H. (2005). Estimating the economic effects of soil erosion in Iran. *Sustainable Development and Growth Research (Economic Research)*, 5(15), 87-100. SID. <https://sid.ir/paper/86558/fa>
- Ahmadi, H., (1998). Applied geomorphology: desert and wind erosion. Tehran University Publication, pp. 85–395.
- Ahmadi, H. (2006). *Applied Geomorphology*. vol. 2. Desert - wind erosion. Tehran University Publications. (In Persian)
- Anbrani, J. (1999). *Estimation of runoff in Caspian Sea watersheds*. Master's thesis. Faculty of Agriculture, Isfahan University. (In Persian)
- Ashrafizadeh, H. (2015). The environmental effects of the drying up of Lake Hamoon on the Sistan region, the annual scientific-specialist conference on civil engineering, architecture, urban planning, and geographical sciences in ancient and contemporary Iran. Tehran: <https://civilica.com/doc/521063>. (In Persian)
- Azarkar, S.M., Ahmadi, H., Khorasani, N., & Karami, M., (2006). Investigating the relationship between wind erosion and value of animal habitats in desert areas. *Intern. J. Environ. Sci. Tech*, 2, 387–393. <https://doi.org/10.1007/BF03325899>
- Bakhtiari, M., Panahi, M., Karimi, M., Qudousi, J., Meshaikehi, Z., & Pourzadi, M. (2009). Economic valuation of soil nutrients retention function of Sabzkouh forests. *Iranian Forestry Journal, Iranian Forestry Association*, 69-81. (In Persian)
- Bamri, H., Jalalian, A., & Piri, H. (2018). Investigating the environmental problems of Hamoon wetland from the perspective of environmental rights. *International Dust Conference in Southwest Asia, Zabol University*. <https://civilica.com/doc/894655> (In Persian)
- Bhuyan, S.J., Kalita, P.K., Janssen, K.A., & Barnes, P.L., (2002). Soil loss predictions with three erosion simulation models. *Environ. Modell. Software*, 17, 137-146. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(01\)00046-9](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(01)00046-9)
- Bo, Z., Lin, Z., Wenji, Z., & Hao, L. (2011). The Evaluation of the Value of Soil Erosion Prevention on Wetlands in Beijing. *International Conference on Photonics and Image in Agricultural Engineering (PIAGENG 2010)*, 2010, Qingdao, China. doi: 10.1117/12.887989

- Boali, A., & Behbahani, A. (2019). Assessing the severity of desertification risk and presenting the management plan of the studied area: Isfahan's Segzai Plain. *Geography and Development*, 56, 181-194. doi: 10.22111/gdij.2019.4896.(In Persian)
- Burezq, H. (2020). Combating wind erosion through soil stabilization under simulated wind flow condition - Case of Kuwait. *International Soil and Water Conservation Research*, 154-163. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.03.001>.
- Cao H., Liu J., Wang G., Yang G., & Luo L. (2015). Identification of sand and dust storm source areas in Iran. *Journal Arid Land*, 7, 567-578. <https://doi.org/10.1007/s40333-015-0127-8>
- Consulting Engineers for Spatial Science Innovators. 2022. Basic studies of soil science and land capability. (In Persian)
- Coppinger, K.D., Reiners, W.A., Burke, I.C., & Olson, R.K. (1991). Net erosion on a sagebrush steppe landscape as determined by cesium-137 distribution. *Soil Sci. Soc. Am. J*, 55(1), 254-258. doi:10.2136/SSSAJ1991.03615995005500010043X
- Davari, M., Bahrami, H A., Ghoddousi, J., & Tahmasebi pour ,n. (2006). Using of Geographic Information System in estimating of soil erosion and sediment production on Nojian watershed ( Southeast of Khorramabad city). *MJSP*, 10(2) ,103-123. URL: <http://hmsp.modares.ac.ir/article-21-10698-fa.html>.( In Persian)
- Dehmardeh, M., Shahraki, J., & Akbari, A. (2018). Economic Assessment of Environmental Damages Caused by Drying up of Hamoon Wetland in Sistan Region. *Journal of Natural Environment Hazards*, 8(19), 209-228. doi: 10.22111/jneh.2018.22176.1321. .( In Persian)
- Ekhtesasi.M.R., (2010). *Presentation and study on application of two wind erosion estimating*.
- Enteziri, M., & Gholam Heydari, H. (2015). Comparing the two models SLEMSA and Corine in the assessment of soil erosion. (case study: Teng Sorekh basin of Shiraz). *MJSP Space Planning and esign Quarterly (Humanities Teacher)*, 18(3), 1-28. URL: <http://hmsp.modares.ac.ir/article-21-898-fa.html>.(In Persian)
- Environmental Protection Organization in cooperation with the General Department of Environment of Sistan and Baluchistan Province (2015). *Hamoon International Wetland Comprehensive Management Program*, 72 p..( In Persian)
- Erfani Nasab, S. (2022). Effective Factors in Soil Erosion and Dust Formation in Sistan Plain and Presenting Appropriate Strategies (Case Study: Hamoon Wetland). *master's thesis, Shahid Beheshti University, Tehran*, 163 p.(In Persian)
- Farsi, R., Yeganeh, H., Hossein Alizadeh, M., & Azimi, M. (2021). Estimating the economic value of the role of vegetation in controlling soil erosion (Case Study: Kechik Watershed). *Journal ofwater and Soil Conservation Research*, 27(6), 137-152. doi: 10.22069/jwsc.2020.17763.3331.(In Persian)
- Fryrear, D., Sutherland, P., Davis, G., Hardee, G., & Dollar, M., (1999). Wind erosion estimates with RWEQ and WEQ. *Proceedings of Conference Sustaining the Global Farm. In: 10th International Soil Conservation Organization Meeting. Purdue University*, pp. 760-765.

- Ghasemi Arian, Y., Azarnivand, H., & Kianirad, Ali. (2016). Economic valuation of the function of maintaining soil fertility in restored pasture ecosystems in arid regions (case study: International Carbon Sequestration Project, South Khorasan). *Pasture and Watershed Management, Journal of Natural Resources of Iran*, 69(4), 1031-1042. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2017.61095>. (In Persian)
- Hashemi, Z., Javadi, M., & Miri, A. (2011). Investigating the intensity of wind erosion and its resulting sedimentation potential using the IRIFR model in the Zahak region of Sistan. *the second national conference on wind erosion and dust storms, Yazd University*. (In Persian)
- Hosseini, S., Aminizadeh, M., & Yazdani, S. (2018). Evaluating the consequences of commercial-tax policies on soil erosion; Application of multi-sector general equilibrium model. *Agricultural Economics Research*, 10(1), 41-64. (In Persian)
- Hosseinpour, R., Ownegh, M., Bayram Kemki, Ch., & Ramezani Gask, M. (2015). Assessing the risk of desertification and presenting the management plan of the Keji Namakzar wetland area of Nehbandan with the MICD model. *the 3rd National Congress of Biology and Natural Sciences of Iran, Tehran*, <https://civilica.com/doc/566803>. (In Persian).
- Ekhtesasi, M. R. (2010). Introducing and evaluating the efficiency of two wind erosion estimation index models with the abbreviations IRIFR1 and IRIFR2. *The first international conference on plant, water, soil and air modeling. International Center for Advanced Technology Sciences and Environmental Sciences of Shahid Bahonar University, Kerman*. <https://civilica.com/doc/97565>. (In Persian)
- Jafari, H., Akbari, M., Kashki, M., & Badie Namaghi, H. (2019). An Efficiency Comparison of the IMDPA and ESAs Models on Desertification Risk Management in Arid regions of Southern Khorasan Razavi. *Iran, Arid Biome Scientific Journal, Two Scientific Quarterly of Khosh Bom*, 9, (1). doi: 10.29252/ARIDBIOM.2019.1542. (In Persian)
- Jarrah, M., Mayel, S., Tatarko, J., Funk, R., & Kuka, K. (2020). A review of wind erosion models: Data requirements, processes, and validity. *Catena*, 187. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104388>
- Khatibi M. (2010). The changes in physical and chemical properties of soils on length of slope and the role of these changes on soils erosive characterizes in mountain (emphasis on Gully erosion) Case study: North west of Sabalan (From Ahar to Meshkin Shahr). *MJSP*, 14 (1), 33-56. SID. <https://sid.ir/paper/171962/fa>. (In Persian)
- Kefi, M., & Yoshino, K. (2010). Evaluation of the economic effects of soil erosion risk on agricultural productivity using remote sensing: Case of Watershed in Tunisia. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, XXXVIII(8), 930-935.
- Khanmani, AS., Karimzadh, H., & Jafari, R. (2011). The use of soil criteria for assessment desertification (Case Study: Isfahan Segsi Plain). *J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. Soil and Water Sciences*, 17(63), 49-59. (In Persian)

- Khosropour, N. (2018). Investigation of Economic Value of Soil Conservation Function of Rangeland vegetation. *the 7th National Conference on Pasture and Pasture Management of Iran.* (In Persian)
- Kirui, O.L., & Mirzabaev, A. (2014). Economics of land degradation in Eastern Africa. *ZEF Policy Brief, 10*, 1-4. <http://hdl.handle.net/10419/99988>
- Kuchami Sardo, A., Besalatpour, A., Bashri, H., Shirani, H., & Esfandiarpour Broujeni, I. (2017). Assessment of IRIFR model capability in simulation of soil loss in different wind geomorphology landforms using wind erosion meter. *Arid Biome Scientific and Research Journal, 7(1)*. doi: 10.29252/aridbiom.7.1.13.(In Persian)
- Lal, R. (2003). Soil erosion and the global carbon budget. *Environ. Int. 29 (4)*, 437-450. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00192-7](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00192-7)
- Lyu, X., Li, X., Wang, H., Gong, J., Li, S., Dou, H., & Dang, D. (2021). Soil wind erosion evaluation and sustainable management of typical steppe in Inner Mongolia. *China. Journal of Environmental Management, 277*. doi: 10.1016/j.jenvman.2020.111488
- Malekian, M., (2008). "Environmental and Economic Importance of International Hamoon Wetland in Sistan Region". *First International Water Crisis Conference, Zabol University.* (In Persian)
- Messner, F., & Mayer, V. (2005). Flood damage, vulnerability and risk perception challenges for flood damage research. *UFZ, Leipzig*, 19 pp. <http://hdl.handle.net/10419/45258>
- Miri, A., Ahmadi, H., & Ekhsati, M. (2006). Estimation of damage caused by wind erosion (dust storms) in Sistan region. *the first national wind erosion conference, Yazd*, <https://civilica.com/doc/101123>.(In Persian)
- Mobareghee, N. (2010). Estimating the Value of Conservation Function of Soil Nutrient in Forest Ecosystems. *Environmental Research, 1(2)*, 3-12. 20.1001.1.20089597.1389.1.2.1.2.(In Persian)
- Nagaresh, H., & Latifi, L. (2009). Geomorphological Analysis of Dunes Drifting Process in the East of Sistan Plain During Recent Draughts. *Geography and Development, 6( 12)*, 43-60. doi: 10.22111/GDIJ.2008.1242.(In Persian)
- Nohegar, A., & Kazemi, M. (2011). Tempural Evaluation of Water Erosion with CORINE Model (case study: Tang Bestank watershed, Shiraz). *Environmental Erosion Research, 1(2)*, 5-16. SID. <https://sid.ir/paper/223055/fa>. (In Persian)
- Ownegh, M. (2009). Assessing land degradation hazard intensity and management plans using subjective models and the analytical hierarchy process in Gorgan. *Iran. International Journal of Sustainable Development and Planning, 1(11)*, 35-45. doi: <https://doi.org/10.2495/SDP-V4-N1-35-45>
- Pahlvanroi, A. (2012). Evaluation and Zoning of Severity and Danger of Desertification in the Some Parts of Sistan Plain and Hamoon Lake Bed Using IRIFR Model in the drainage area of the Sistan Plain. *Geography and Development, 27*, 127-140. doi: 10.22111/gdij.2012.366.( In Persian)

- Panahi, M. (2005). Economic valuation of hyrcanian forest. *Ph.D thesis. Faculty of Natural resource. Tehran university.* p. 294.
- Program and Budget Organization (1999), *the first national report on human development of Iran.* (In Persian)
- Rashki, A., Kaskaoutis, D., Goudie, A., & Kahn, R. (2013). Dryness of ephemeral lakes and consequences for dust activity: the case of the Hamoon drainage basin, southeastern Iran. *Sci. Total Environ, 463*, 552-564. doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.06.045
- Rezaei, M., Sameni, A., Fallah Shamsi, S.R., & Bartholomeus, H., (2016). Remote sensing of land use/cover changes and its effect on wind erosion potential in southern Iran. *PeerJ, 4*, e1948. doi: 10.7717/peerj.1948
- Sanii, A. (2012). Risk assessment, soil erosion damage in the coastal plains of the Caspian Sea. Golestan province, *master's thesis in watershed management, supervisor Khushrovan, Homayoun, Ong, Majid. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 105 p.(In Persian)
- Sargazi, H. (2005). Finding the origin and estimating the intensity and damage of wind erosion in the Niatek desert of Sistan. *Master's thesis, Gorgan University of Sciences, Agriculture and Natural Resources*, 136 p.( In Persian)
- Sargazi, H. (2010). The environmental, ecological and economic importance of Hamoon wetland. *the second national conference on combating desertification and sustainable development of desert wetlands in Iran, Arak*, <https://civilica.com/doc/156468>.( In Persian)
- Sartori, M., Philippidis, G., Ferrari, E., Borrelli, P., Lugato, E., Montanarella, L., & Panagos, P. (2019). A linkage between the biophysical and the economic: Assessing the global market impacts of soil erosion. *Land Use Policy, 86*, 299-312. doi: 10.1016/j.landusepol.2019.05.014 (online)
- Silakhouri, A., Ong, M., & Soleimani Sardo, M. (2020). Assessing the risk of desertification using TOPSIS-GIS method (case study: Bashtin Sabzevar region - Razavi Khorasan), *Geographical Studies of Dry Areas, 9(35)*, 44-59. SID. <https://sid.ir/paper/383393/fa>.( In Persian)
- Sokolik, I. N., & Toon, O. B. (1996). Direct radiative forcing by anthropogenic airborne mineral aerosols. *Nature, 381*, 681-683. doi: <https://doi.org/10.1038/381681a0>
- Subramaniam, N., & Chinappa, G.P. (2002). Remote sensing and GIS techniques for land degradation assessment due to water erosion. In: 17th WCSS. Thailand, 815–819.
- Webb, N.P., Kachergis, E., Millerb, S.W., McCord, S.E., Bestelmeyer, B.T., Brown, J.R., Chappell, A., Edwards, B.L., Herrick, J.E., Karl, J.W., Leys, J.F., Metz, L.J., Smarik, S., Tatarko, J., Van Zee, J.W., & Zwicke, G. (2020). Indicators and benchmarks for wind erosion monitoring, assessment and management. *Ecological Indicators*, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105881>



- Webb, N.P., McGowan, H.A., Phinn, S.R., & McTainsh, G.H., (2006). AUSLEM (Australian Land Erodibility Model): a tool for identifying wind erosion hazard in Australia. *Geomorphology*, 78, 179-200. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.01.012>
- Yeganeh, H., Azarnivand, H., Saleh, I., Arzani, H., & Amirnejad, H. (2016). Estimating the economic value of soil conservation function (Case study: Taham watershed, Zanjan province). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 23 (1), 161-176. SID. <https://sid.ir/paper/106873/fa>. (In Persian)
- Zhao, G., Mu, X., Wen, Z., Wang, F., & Gao, P. (2013). Soil erosion, conservation, and eco-environment changes in the Loess Plateau of China. *Land Degradation and Development*, 24, 499-510. doi: 10.1002/ldr.2246
- Zoraghi, G.H., Shabani Goraji, K., Noura, M.R., Rashki, A.R., & Bumby, A. (2019). Identification of sand dune sources in the east Sistan, Iran by using mineralogical and morphoscopic characterization of sediments. *Iran. J. Earth Sci.* 11, 183-195. doi: <https://doi.org/10.30495/ijes.2019.667378>.