



Assessing the Risks of Climate Change on Wetland Ecosystems Using the GCM Model (Case Study: Alagol, Ajigol and Almagol Wetlands: Golestan Province)

Saleh Arekhi ^{1*}, Abolghasem Mamashli ², Abdolhafez Panahi³

¹ Department of Geography, Faculty of Human Sciences, Golestan University, Gorgan, Iran

² Department of Survey, non-profit Lampi Gorgani Institute, Gorgan, Iran

³ General Department of Meteorology, Golestan Province, Golestan, Iran

ARTICLE INFO

Article History

Received: 19 October 2024

Revised: 30 January 2025

Accepted: 19 April 2025

Available Online: 19 April 2025

Keywords:

Climate Change

Ecological Risk Assessment

Climate Change Modeling

Wetland Vulnerability

Alagol–Ajigol–Almagol
Wetlands

ABSTRACT

The present research based on the nature of the problem and subject under investigation, adopts a descriptive-analytical approach with the aim of identifying ecological stressors caused by climate change in wetlands. In the climate change section, simulation data of average rainfall from the HadCM3 model using LARS-WG under the SRES A1B scenario for the period 2021–2050 were utilized. The AHP method and Expert Choice software were employed to weight risk factors and assess the indicators influencing risk levels. According to the modeling results, the rainfall series at the Inche-Brun station shows a decreasing trend. Additionally, both maximum and minimum temperatures exhibit an increasing trend. The primary risks threatening the wetland include drought, water shortage, increased evaporation and transpiration, sedimentation and infilling, and habitat loss. Since the most significant risks, as identified based on the ALARP principle, are classified as high or medium, it is essential to control, eliminate, or reduce these risks. Given the ongoing degradation of wetlands, it is crucial to incorporate these processes and their consequences into future wetland management plans. As drought has been identified as the most critical risk, establishing a drought monitoring network and calculating and allocating environmental water rights for wetlands are the most important management strategies to prevent a drought crisis.

*Corresponding author: Dr. Saleh Arekhi

E-mail address: S.arekhi@gu.ac.ir

How to cite this article: Arekhi, S., Mamashli, A., & Panahi, A. (2025). Assessing the Risks of Climate Change on Wetland Ecosystems Using the GCM Model (Case Study: Alagol, Ajigol and Almagol Wetlands: Golestan Province). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 14(2), 88-121. <https://doi.org/10.22067/geoh.2025.90342.1526>



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Extended Abstract

Introduction

Wetlands should be considered as biological reservoirs, and international programs for the reasonable and rational protection and exploitation must be prepared and implemented in order to ensure the survival of wetlands and their biodiversity. Environmental risk assessment is a step beyond human risk assessment, and in it, in addition to examining and analyzing various aspects of risk, a full understanding of the environment of the affected area, its sensitivity, and its special ecological values are also analyzed and evaluated.

Climate change refers to changes in the climatic behavior of a region compared to historical or expected patterns over a long period of time. This phenomenon is one of the most important challenges in sustainable development, with significant negative effects on land and sea ecosystems. Until recently, climate change was considered to be caused by natural factors only, but in recent years, human activity has also contributed to the climate change process. Climate change and loss of biodiversity are among the global challenges that may lead to an increased risk of losing ecosystem services.

Various studies have been conducted on the evaluation of the vulnerability of wetlands worldwide, focusing on the impacts of climate change. Using climate scenarios, models, and change analysis, it was determined that about 10% of wetland functions will be affected in the future due to climate change.

Jafari-Azer et al. (2017), in their article, evaluated and analyzed the environmental risks of Khorkhoran International Wetland using multi-criteria decision-making methods. They identified wetland risk indicators using the Delphi method and ranked and prioritized threats using AHP and TOPSIS methods. The results indicate that, according to the degree of closeness (CL+), among the environmental criteria, oil pollution (0.88), illegal fishing (0.87), and fuel smuggling (0.71), and among the natural criteria, drought and climate change (0.72), are the top risks.

Panahi et al. (2023), in an article titled "Investigation of climate change and transformation of natural components with emphasis on floods" (case study: Gorganrood watershed), used LARS-WG and HadCM3 model under the SRA1B scenario between 2011 and 2045. The results showed that human intervention in main streams, urban and rural expansion, dam construction, pasture degradation, and forest destruction are among the primary causes of sudden flooding in the region. This integrated approach highlighted the necessity of continuous evaluation and validation of hydrological and hydraulic models in the Gorganrood basin and its ephemeral streams.

Karami et al. (2023) assessed the vulnerability of ecosystem services of the Hamoon International Wetland to climate change. The results showed that climate change, drought, water diversion in the upstream basin, and livestock and vehicle traffic are the main threats. Diplomatic efforts to secure water supplies are the most important management strategy to reduce vulnerability.

This research provides a framework for managing climate change-related risks in wetlands. Its main purpose is to investigate temperature, precipitation, and climate indicators in the Alagol, Ajigol, and Almagol wetlands. Using statistical data and satellite images, climate changes over different time periods are modeled. Risks are then calculated based on severity and likelihood. A multi-criteria decision-making process is used to prioritize these risks. Finally, suitable management solutions are presented to reduce unacceptable risks.

Material and Methods

Alagol, Ajigol, and Almagol international wetlands are located in Golestan Province, near the Iran–Turkmenistan border, at relatively close distances from one another in the Dashli-Borun region. In this research, the assessment of climate change risks on wetland ecosystems was conducted using the GCM model.

To implement the research objectives—including modeling climate change, forecasting ecological conditions, and identifying and prioritizing ecological risks—20 years of data (2001–2020) on monthly and annual average precipitation and temperature from local meteorological stations were used.

Precipitation and temperature forecasts were generated using outputs from the HadCM3 model, a coupled atmosphere–ocean general circulation model (AOGCM). ArcGIS 10.8 was used for initial data preparation, ENVI 5.3 for radiometric and atmospheric corrections, and IDRISI TerrSet for image classification, pre-processing, change analysis, and model validation. Simulated rainfall data from HadCM3 in LARS-WG under the SRA1B scenario (2021–2050) were analyzed. Statistical indicators such as ME, RMSE, and MSE were used to select the best interpolation method.

Results and Discussion

The region's temperature between 2021 and 2050 is expected to increase by 0.5 to 1.5°C compared to the base period. The results indicate temperature increases across all months and climate scenarios. Scenario A2 shows the highest increase, B1 the lowest (optimistic), and A1B a moderate rise.

Rainfall percentage changes under the three scenarios indicate a decline in most months. Annual rainfall will decrease by 6–8% compared to the base period. Scenario A2 shows the greatest reduction, particularly in March (up to 75%), while B1 shows the smallest, particularly in February (up to 55%). In a few months, slight increases in rainfall are observed, though these are not significant in dry months.

To compare the ecological risks of natural origin with those caused by human activity, the AHP method and Expert Choice software were used. The analysis shows high importance for natural-origin risks. Ecological and human-origin risks each make up nearly half of total risks.

Drought has the highest risk weight at 0.19. Natural-origin risks make up 51%, and human-origin risks 49%. Ten key risks were identified based on ecological conditions, field visits, expert interviews, and previous studies. All identified risks are present and will intensify under future climate conditions.

The most significant climate-related threats to the wetlands include: drought and water shortage, increased evaporation and transpiration, sedimentation and infilling, and habitat loss. According to the ALARP principle, high and medium-level risks must be controlled, reduced, or eliminated. Risks with higher occurrence probability, severity, and extent require prioritized control measures. However, this does not imply that other risks are unimportant, as the final scores were derived by integrating all three risk indicators.

Conclusion

The prioritization results show that the key threats to Alagol, Ajigol, and Almagol wetlands are drought/dehydration, increased evaporation and transpiration, sedimentation and filling, and habitat loss. By 2035, the area of Alagol, Almagol, and Ajigol wetlands is expected to reach 1747.50 ha, 102.30 ha, and 33.90 ha, respectively. This reflects reductions in Almagol and Ajigol, although Alagol shows a slight increase—still indicating an overall decline in extent over the study period.

Predicted land use maps for 2035 show saline land occupying 13,346.55 ha (63%), vegetation 5,601.78 ha (26.4%), and water surface 2,265.75 ha (10.6%). This reveals decreased water levels and increased salt marshes, signifying drought and reduced rainfall.

The effectiveness of the modeling methods and climate scenarios (HadCM3, A2, A1B1, B2, and LARS-WG) is consistent with the findings of Arkhi et al. (2024), Panahi et al. (2023), and Karami et al. (2022). Additionally, the environmental risk evaluation aligns with the multi-criteria methods used by Jafar-Azer et al. (2019) and Jafari-Azer et al. (2017).



ارزیابی ریسک‌های ناشی از تغییرات اقلیم بر اکوسیستم‌های تالابی با استفاده از مدل GCM (مطالعه موردی: تالاب‌های آلاگل، آجی گل و آلمانگل: استان گلستان)

صالح آرخی^{۱*}، ابوالقاسم ممشلی^۲، عبدالحافظ پناهی^۳

^۱ دانشیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

^۲ کارشناسی ارشد مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه لامعی گرگانی، گرگان، ایران

^۳ دکتری تخصصی آب و هواشناسی، اداره کل هواشناسی استان گلستان، گلستان، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخچه مقاله:	پژوهش حاضر، با توجه به ماهیت مسئله و موضوع مورد بررسی، از نوع توصیفی-تحلیلی و از نوع مطالعات کاربردی با هدف شناسایی عوامل تنش‌زای اکولوژیکی ناشی از تغییر اقلیم تالاب‌ها، انجام شده است. در قسمت تغییر اقلیم داده‌های شبیه‌سازی شده میانگین بارندگی حاصل از مدل HadCM3 در LARS-WG تحت سناریو SRA1B بین سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰ برآورد شده است. به منظور وزن‌دهی به گزینه‌های ریسک و همچنین شاخص‌های موثر برآورد سطح ریسک از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و نرم‌افزار Expert Choice بهره‌گیری شد. بر اساس نتایج مدل‌سازی، سری‌های بارش در ایستگاه اینچه‌برون با روند کاهش تقریبی همراه بوده است. همچنین دمای حداکثر و دمای حداقل روند افزایشی را نشان می‌دهند. بر طبق نتایج، ریسک‌های تهدید کننده تالاب، خشکسالی، وقوع کم‌آبی، افزایش تبخیر و تعرق، رسوب و پر شدن و از بین رفتن زیستگاه می‌باشد. با توجه به اینکه سطح مهم‌ترین ریسک‌های شناسایی شده بر اساس اصل ALARP (ارزشیابی ریسک) در طبقه‌بندی زیاد و متوسط می‌باشند، باید نسبت به کنترل، حذف یا کاهش ریسک‌ها اقدام کرد. با توجه به اینکه خشکسالی مهم‌ترین ریسک می‌باشد، طراحی شبکه پایش خشکسالی و محاسبه و تخصیص حق‌آبه زیست محیطی تالاب‌ها مهم‌ترین راهکارهای مدیریتی برای جلوگیری از بحران خشکسالی می‌باشند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۸	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۱/۱۱	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۳۰	
کلمات کلیدی:	
تغییر اقلیم	
ارزیابی ریسک اکولوژیکی	
مدل سازی تغییرات اقلیمی	
زنجیره مارکوف	
تالاب‌های آلاگل، آلمانگل، آجی گل	

مقدمه

تغییر اقلیم به تغییرات رفتار اقلیمی یک منطقه در مقایسه با رفتاری که در طول یک دوره زمانی بلند مدت در گذشته از آن منطقه ثبت شده یا مورد انتظار است، می‌گویند (Alizadeh, 2010). این پدیده یکی از مهمترین چالش‌ها در توسعه پایدار می‌باشد که تأثیرات منفی چشمگیری را بر اکوسیستم‌های خشکی و دریایی دارد. در موضوع پیش‌بینی طولانی مدت بلایای جوی-اقلیمی، روش‌های گوناگونی وجود دارد. یکی از این روش‌ها کاربرد خروجی الگوهای گردش عمومی و منطقه‌ای جو می‌باشد. به طور کلی الگوهای اقلیمی بسیار پیچیده و در عین حال ساده هستند. یکی از پیشرفته‌ترین الگوهای اقلیمی، الگوهای GCM یا الگوهای گردش عمومی جو است. این دسته از کامل‌ترین الگوهایی هستند که در حال حاضر به طور چشم‌گیری از آنها استفاده می‌شود. به صورت آنالیز سه بعدی بوده و سیستم‌های اقلیمی را با لحاظ نمودن بیشتر فرآیندها و پارامترهای اقلیمی پیش‌بینی می‌نمایند (Arekhi, 2024).

از نظر تنوع زیستی تالاب‌ها به عنوان کانون‌های حساس آنچنان باید و شاید مانند زیستگاه‌های خشکی مورد توجه دانشمندان قرار نگرفته‌اند و تنها کنوانسیون رامسر و بخش تالاب‌های اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت (I.U.CN¹) فعالیت‌هایی را برای حفاظت از تالاب‌ها انجام می‌دهند در صورتی که باید به تالاب‌ها به عنوان مخازن زیستی نگریسته شود و برنامه‌های بین‌المللی برای حفاظت و بهره‌برداری معقول و منطقی تهیه و اجرا شود تا بتوان از بقای تالاب‌ها و تنوع زیستی آنها اطمینان حاصل کرد (Ramsar Convention Secretariat, 2007).

تالاب‌ها با توجه به موقعیت جغرافیایی و وضعیت اکولوژیکی زیستگاه مهم و با ارزشی برای جمعیت‌های آبرزی و کنار آبرزی اعم از بومی و مهاجر در تابستان و زمستان می‌باشد. حفاظت تالاب‌ها تنها به منظور حراست از پرندگان آبرزی و حمایت از جمعیت‌های نادر و کمیاب آن نبوده بلکه اهمیت این پهنه‌های آبی از لحاظ زیستگاه گیاهی و جانوری و ایجاد تعادل بیولوژیک و اکولوژیک و فواید اقتصادی و اجتماعی نیز قابل توجه است. ارزیابی ریسک محیط زیستی گامی فراتر از ارزیابی ریسک انسانی بوده و در آن علاوه بر بررسی و تحلیل جنبه‌های مختلف ریسک، ضمن شناخت کامل از محیط زیست منطقه تحت تأثیر، میزان حساسیت محیط متأثر و همچنین ارزش‌های خاص محیط زیستی منطقه نیز در تجزیه و تحلیل و ارزیابی در نظر گرفته می‌شود (Heller & Zavaleta, 2009). تغییر الگوهای بارش و دما ناشی از تغییر اقلیم، فرآیندهای فیزیکی و اکولوژیکی تالاب را تحت تأثیر قرار می‌دهند. درک اثرات تغییر اقلیم روی موجودات زنده تالاب و فرآیندهای هیدرولوژیکی چالشی است که منجر به پیچیدگی فضایی و مکانی زیستگاه‌های تالابی می‌شود. اثر عمده تغییر اقلیم مربوط به تغییرات کمیت و کیفیت عرضه آب و در نتیجه تغییر کاربری اراضی و رژیم‌های هیدرولوژیکی است. این امر می‌تواند منجر به کاهش ظرفیت عملکردی یا تغییر محل جغرافیایی تالاب شود (Brooks, 2009). تغییر اقلیم ریسک‌هایی را برای سیستم‌های طبیعی و انسانی به وجود می‌آورد که ارزیابی ریسک‌های اقلیمی و مدیریت آنها به نظر ضروری می‌رسند. مدیریت ریسک اقلیم رویکردی سیستماتیک برای ملاحظه روندهای مرتبط با اقلیم و رویدادهایی در توسعه تصمیم‌گیری برای به حداقل رساندن خطرات بالقوه می‌باشد. تغییر اقلیم ماهیت ریسک اقلیم را تغییر می‌دهد، عدم قطعیت را افزایش داده و ما را مجبور به ارزیابی مجدد شیوه‌های مدیریت ریسک اقلیم متداول می‌کند (UNDP, 2013).

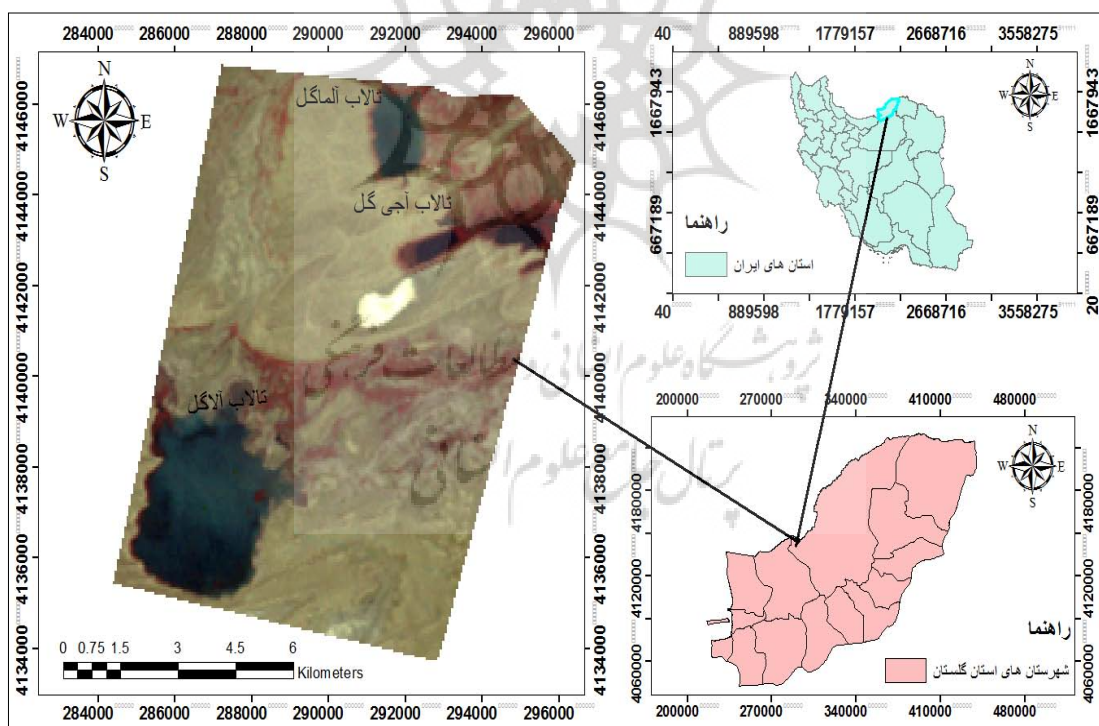
پژوهش‌های مختلفی در مورد ارزیابی آسیب‌پذیری تالاب‌ها در جهان انجام شده که تأکید و تمرکز آنها بیشتر بر آسیب‌پذیری تالاب‌ها تحت تأثیر تغییرات اقلیمی بوده است (Rahimi Blouchi & Malekmohammadi, 2013). اثرات تغییر اقلیم روی کارکردهای تالابی با استفاده از سناریو اقلیم، مدل اقلیم و آنالیز تغییر اقلیم مشخص گردید که حدود ۱۰ درصد عملکردهای تالاب در آینده در اثر تغییر اقلیم، دست خوش تغییر خواهند شد. خلیانی و همکاران (Khalyani et al., 2016)، نیز در مطالعه‌ای با استفاده از روش

ریزمقیاس نمایی آماری و تحت سه سناریو اقلیمی A2، A1B1 و B2 به بررسی بارش، تبخیر، تعرق، کمبود بارش و کاهش نسبی عملکرد- محصول پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که در اثر تغییر اقلیم، فصل بارش مرطوب‌تر و فصل خشکی خشک‌تر خواهد شد. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که میزان تبخیر تعرق در ماه‌های خشک با کاهش بارندگی و افزایش دما افزوده خواهد شد. ملک‌محمدی و همکاران (Malekmohammadi, Blouchi, Ghehi & Shakib, 2015)، اثرات تغییر اقلیم را روی تالاب چغاخور با استفاده از ارزیابی ریسک و سنجش از دور مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور دما و بارش در یک دوره ۲۰ ساله بررسی شد. سپس تصمیم‌گیری چند معیاره برای اولویت بندی ریسک‌ها مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت راهکارهای مدیریتی به منظور کاهش ریسک‌ها ارائه شد. جعفری‌آذر و همکاران (Jafariazar, Sabzghabaei, Tavakoly & Dashti, 2017) در مقاله ارزیابی و تحلیل ریسک‌های زیست محیطی تالاب بین‌المللی خورخوران ریسک‌های شاخص تالاب را با روش دلفی شناسایی و به منظور رتبه‌بندی و مشخص نمودن اولویت عوامل تهدید، از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره AHP و TOPSIS استفاده کردند. نتایج حاکی از آن است که به ترتیب برحسب میزان نزدیکی (CL+) از بین معیارهای زیست‌محیطی، آلودگی‌های نفتی (۰/۸۸)، صید بی‌رویه و غیرمجاز (۰/۸۷) و قاچاق سوخت (۰/۷۱) و از میان معیارهای طبیعی، خشکسالی و تغییرات اقلیم (۰/۷۲) در اولویت‌های اول و سایر ریسک‌ها در رتبه‌های بعدی جای دارند. با توجه به نتایج به‌دست آمده اولویت‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی در جهت کاهش تأثیر و پیامدهای ریسک‌ها که اثرات جبران‌ناپذیری بر محیط‌زیست و عملکرد تالاب دارند، می‌بایست مورد توجه جدی قرار گیرند. جعفری‌آذر و همکاران (Jafariazar, Sabzghabaei, Tavakoly & Dashti, 2019) در مقاله ارزیابی ریسک زیست‌محیطی تالاب بین‌المللی رودهای شور، شیرین و میناب بر اساس روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره با هدف شناسایی و تجزیه و تحلیل ریسک‌های تهدیدکننده تالاب بین‌المللی صورت پذیرفت. نتایج حاکی از آن است که به ترتیب برحسب میزان نزدیکی (CL+) چهار عامل آلودگی نفتی (۰/۹۱)، احداث سد در بالادست (۰/۸۱)، پدیده خشکسالی و تغییرات اقلیم (۰/۸۰) و قاچاق سوخت (۰/۷۵) در رده غیرقابل تحمل برای تالاب قرار دارند. بنابراین بدون تردید شناخت درست و دقیق از عوامل تهدید کننده تالاب‌ها بر اساس اهمیت و میزان تأثیرگذاری آن‌ها می‌تواند زمینه را برای جلوگیری و مقابله اصولی‌تر با این عوامل و نیز تهیه و اجرای دقیق طرح‌های حفاظت از تالاب‌ها و مدیریت محیط‌زیستی آن‌ها فراهم آورد. مهدی‌نسب و باقرزاده‌کریمی (Mehdinasab & Bagherzadeh Karimi, 2020) در مقاله‌ای به ارزیابی ریسک‌های زیست محیطی تالاب‌های پلدختر بر اساس مدل EFMEA پرداختند. نتایج نشان داد که از نظر اکولوژیکی: آتش‌سوزی نیزارها و زهکشی تالاب‌های گوری بلمک و پیکه، از لحاظ هیدرولوژیک تهدید افزایش بار رسوب معلق، خشکسالی‌های دوره‌ای و حفر چاه‌های عمیق و نیمه عمیق در آبخوان تالاب‌هاست در مجموع ۸۸/۲ درصد از ریسک در رده بدون ریسک، ریسک کم و متوسط و تنها ۸/۱۸ درصد ریسک‌ها در حد ریسک زیاد و بی‌نهایت قرار دارند که نیازمند اقدامات فوری از سوی متولیان حفاظت و نگهداری از تالاب‌ها برای کاهش خطرات این ریسک‌ها می‌باشند. پناهی و همکاران (Panahi, Janbaz Ghobadi, Motavalli & Khaledi, 2024) مقاله‌ای تحت عنوان بررسی تغییر اقلیم و دگرگونی مولفه‌های طبیعی با تأکید بر سیلاب (مطالعه موردی: حوضه آبخیز گرگانرود) با استفاده از مدل LARS-WG و HadCM3 تحت سناریو SRA1B بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۵ برآورد شده است. نتایج حاصل از این رویکرد نشان داد مداخله انسان در جریان‌های اصلی، پراکندگی شهری و روستایی، ایجاد آب‌بندان و تخریب مراتع و آسیب به جنگل‌ها از اصلی‌ترین عواملی است که در ایجاد سیلاب‌های ناگهانی در منطقه موثر بوده است. این رویکرد یکپارچه، ضرورت ارزیابی و اعتبارسنجی مداوم مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی را در حوضه گرگانرود و جریان‌های زودگذر آشکار کرد. نتایج تحقیق نشان داد که مناطق بسیار خطرناک سیل در نزدیکی شبکه زهکشی یافت شده است. تلاش دیپلماتیک برای تامین حق‌آبه تالاب مهم‌ترین راهکار مدیریتی کاهش آسیب‌پذیری آن است. تالاب‌های آلاگل، آجی‌گل و آماگل با توجه به موقعیت جغرافیایی و وضعیت اکولوژیکی زیستگاه مهم و با ارزشی هستند بنابراین اطلاع از چگونگی رخداد تغییرات بارندگی و دما و ریسک‌های ناشی از تغییر اقلیم در آینده، با توجه به نقش مهمی که این تالاب‌ها در حیات منطقه و استان گلستان دارد، ضروری است.

به ویژه اینکه می‌تواند در مدیریت محیط زیستی به خصوص در مدیریت منابع آب و خشکسالی، کشاورزی پایدار در منطقه، جلوگیری از بروز سیلاب‌های فصلی و پیشگیری از فرسایش خاک در حوضه، مؤثر واقع شود. این تحقیق چارچوبی را برای مدیریت ریسک‌های ناشی از تغییر اقلیم تالاب‌ها فراهم می‌آورد. هدف اصلی این تحقیق بررسی دما، بارش و شاخص‌های اقلیمی در تالاب‌های آلاگل، آجی‌گل و آلمگل می‌باشد. برای این منظور، با استفاده از داده‌های آماری و تصاویر ماهواره‌ای، تغییرات اقلیم در دوره‌های زمانی مختلف مدل‌سازی و سپس ریسک‌های ناشی از تغییر اقلیم بر اساس شدت و احتمال وقوع بر شمرده شدند. برای اولویت‌بندی ریسک‌های موجود از روش فرآیند تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده و در نهایت راهکارهای مدیریتی متناسب، به منظور کاهش ریسک‌های غیر قابل قبول ارائه گردید.

منطقه مورد مطالعه

تالاب‌های بین‌المللی آلاگل، آجی‌گل و آلمگل در استان گلستان و در نزدیکی مرز ایران و ترکمنستان در فاصله نزدیکی نسبت به هم در بخش‌داشلی برون واقع شده‌اند. مساحت این سه دریاچه به ترتیب ۲۵۰۰ هکتار، ۳۲۰ هکتار و ۲۰۷ هکتار می‌باشد (شکل ۱). ارتفاع زمین از سطح دریای آزاد در عمیق‌ترین نقاط تالاب در آلاگل (۶- متر) و در تالاب‌های آجی‌گل و آلمگل (۴- متر) گزارش شده است. آب و هوای منطقه، مدیترانه‌ای گرم و دارای تابستان‌های خشک و گرم و زمستان‌های ملایم است. میزان بارندگی سالیانه ۳۰۰-۲۵۰ میلی‌متر است.

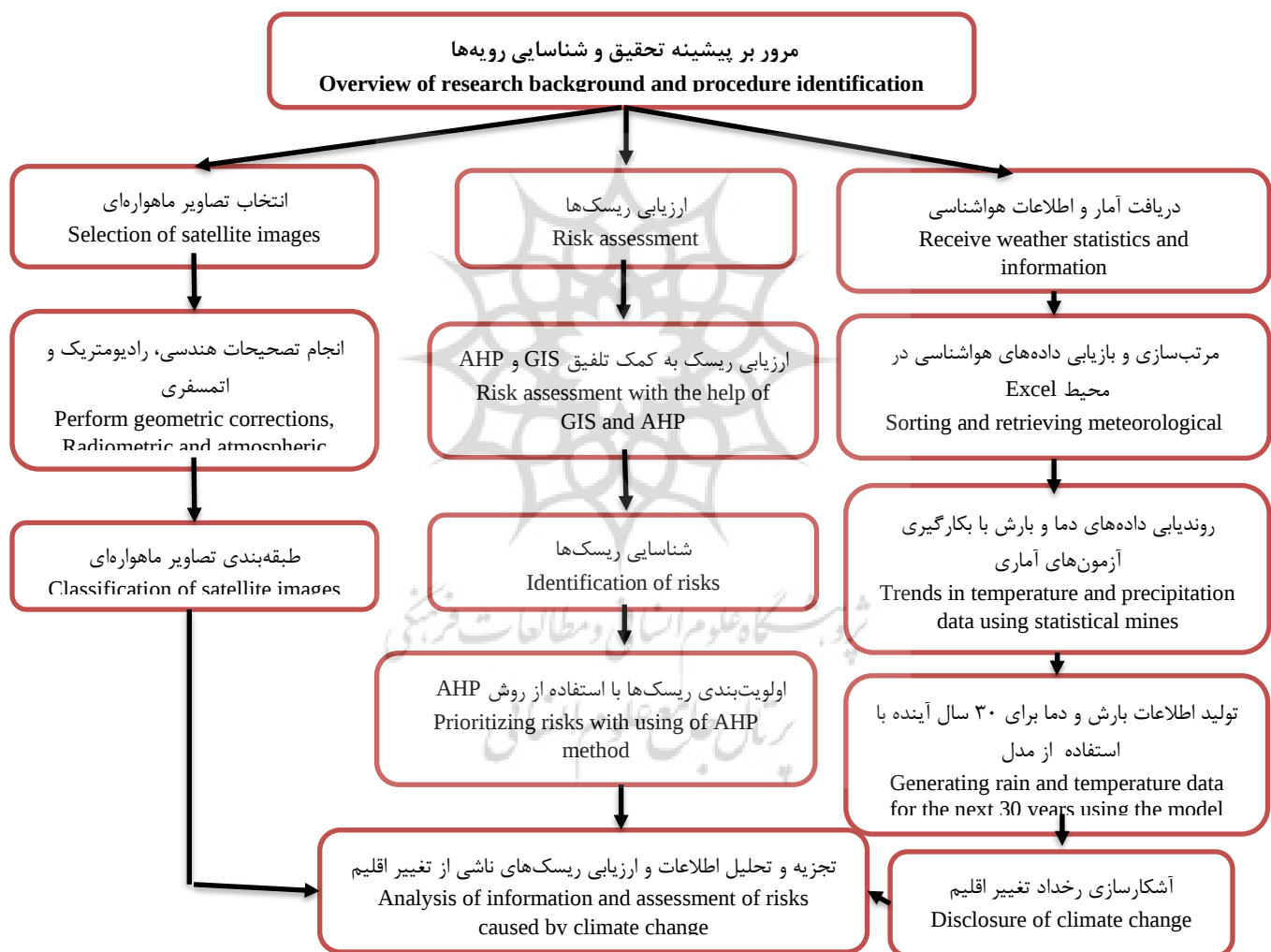


شکل ۱- نقشه موقعیت تالاب‌های آلاگل، آلمگل و آجی‌گل

Fig. 1. Location map of Alagol, Almagol and Ajigol

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر، با توجه به ماهیت مسئله و موضوع مورد بررسی، از نوع توصیفی - تحلیلی است و از نوع مطالعات کاربردی با تأکید بر روش‌های کمی است، در تحقیق حاضر، ارزیابی ریسک‌های ناشی از تغییرات اقلیم بر اکوسیستم‌های تالابی با استفاده از مدل^۱ GCM انجام گرفت. به منظور اجرای اهداف در نظر گرفته شده شامل: مدل‌سازی تغییر اقلیم، پیش‌بینی وضعیت اکولوژیکی و همچنین شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های اکولوژیکی ناشی از تغییر اقلیم تالاب‌های آلاگل، آجی‌گل و آلاگل از آمار ایستگاه هواشناسی که دارای آمار ۲۰ ساله میانگین بارش و میانگین دما در فواصل سال‌های (۲۰۲۰-۲۰۰۱) بوده‌اند و در مقیاس ماهانه و سالانه استفاده شد. این اطلاعات از سازمان هواشناسی کشور و وزارت نیرو اخذ گردید. در شکل ۲ مدل مفهومی تحقیق نشان داده شده است.



شکل ۲- مدل مفهومی تحقیق
Fig. 2. Conceptual research model

در تحقیق حاضر پیش‌بینی داده‌های بارش و دما با استفاده از خروجی‌های مدل HadCM3 انجام شده است. این مدل از نوع مدل‌های گردش عمومی جفت شده جوی-اقیانوسی (AOGCM^۱) است. در مرکز هادلی سازمان هواشناسی انگلیس طراحی و توسعه یافته است. توصیف این مدل توسط گوردون و همکاران (Gordon et al., 2000) انجام شده است. HadCM3 از دو مؤلفه جوی و اقیانوسی به نام‌های HadAM3 (مدل جوی) و HadOM3 (مدل اقیانوسی) که دارای یک مدل یخ-دریا نیز است، تشکیل شده است. هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) از داده‌های مدل گردش عمومی HadCM3 برای تهیه گزارش سوم استفاده کرده است. این مدل نیازی به تنظیمات شار سطحی (شار مصنوعی اضافی برای سطح اقیانوس) برای بهبود شبیه‌سازی ندارد. شبیه‌سازی‌ها بر مبنای تقویم سال ۳۶۰ روزه و ماه‌های ۳۰ روزه انجام می‌شود. قدرت تفکیک بالای مؤلفه اقیانوسی، مهم‌ترین مزیت این مدل است. از جمله دیگر مزیت این مدل هماهنگی خوب بین مؤلفه‌های جوی و اقیانوسی آن است.

شبکه جهانی نقاط مدل HadCM3 در ابعاد $3/75 \times 2/5$ درجه در ایران شامل ۴۲ نقطه می‌باشند. مدل‌های گردش عمومی، پیش‌بینی‌ها را بر اساس سناریوهایی انجام می‌دهند که هر کدام از این سناریوها بر مبنای فرضیات مختلفی راجع به نیروهای محرکه اعم از توسعه جمعیتی، تکنولوژیکی و اقتصادی و اجتماعی استوار می‌باشند که به آن‌ها سناریوی انتشار نیز اطلاق می‌شود. IPCC^۲ در سال ۱۹۹۶ در یک گزارش ویژه سری جدیدی از سناریوهای انتشار را تحت عنوان SRES8 ارائه داد. در این گزارش، ۴۰ سناریو برای آینده جهان ارائه شده که در چهار شاخه اصلی (A1، A2، B1، B2) قرار می‌گیرند (Kim, Choi, Choi & Park, 2013). این پیش‌بینی‌ها بر اساس سناریوهای مختلفی صورت می‌گیرد که هر یک بیانگر وضعیتی^۳ از تولید گازهای گلخانه‌ای و عوامل مؤثر بر کنترل و تولید این گازها است. به منظور پیش‌بینی داده‌های آب و هوایی در مقیاس محلی به داده‌های پیش‌بینی کننده بزرگ مقیاس که توسط این مدل شبیه‌سازی می‌شوند، نیاز است. در آخرین نسخه مدل LARS-WG، ۱۵ مدل گردش عمومی (GCM)، که همگی از گزارش چهارم IPCC (AR4) اخذ گردیده، گنجانده شده است (Chen, Xu & Guo, 2012).

از نرم‌افزار Arc GIS10.8 برای آماده‌سازی اولیه داده‌ها، از نرم‌افزار ENVI5.3 برای انجام تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری و از نرم‌افزار IDRISI Terrset برای طبقه‌بندی تصاویر و عملیات پیش پردازش، پردازش، تحلیل تغییرات، تأثیرات و روابط نیروهای محرکه در رابطه با تغییرات صورت گرفته، مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات و اعتبار سنجی مدل، استفاده گردیده است. داده‌های شبیه‌سازی شده میانگین بارندگی حاصل از مدل Hadcm3^۴ در LARS-WG تحت سناریو SRA1B بین سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰ برآورد شده است بدین منظور جهت انتخاب بهترین روش درون‌یابی از شاخص‌های آماری از قبیل ME، RMSE و MSE استفاده گردید. یکی از مهم‌ترین راهبردهای موجود در زمینه وزن‌دهی تکنیک‌های کمی و ریاضی است (Aghashahi, Ardestani & Fahmi, 2013). در پژوهش حاضر با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (روش AHP) به منظور وزن‌دهی به گزینه‌های ریسک‌های ناشی از تغییر اقلیم، از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و نرم‌افزار Expert Choice بهره‌گیری شد. معیارهای متناسب و سازگار را مورد ارزیابی قرار دادیم. با توجه به اینکه ارائه کلیه نتایج مدل‌ها در این پژوهش به دلیل حجم زیاد موارد صورت نگرفت. جدول ۱ مشخصات ایستگاه هواشناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

1 - Atmosphere-Ocean General Circulation Model

2 - Intergovernmental Panel on Climate Change

3 - Hadley Centre Coupled Model, version 3

جدول ۱- مشخصات ایستگاه هواشناسی منطقه مورد مطالعه

Table 1- Characteristics of the meteorological station in the study area

ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	ارتفاع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
Row	Station Name	Station Type	Altitude	Longitude	Latitude
1	اینچه برون Inche-Brun	کلیماتولوژی Climatology	10	54/72	34/45

در تحقیق حاضر جهت ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG و اطمینان بیشتر از توانایی آن در پیش‌بینی پارامترهای آب و هوایی دما و بارش، علاوه بر آزمون‌های آماری (t-test, F-test و Chi-square) که در خود مدل در مرحله اعتبارسنجی صورت می‌گیرد، شاخص‌های عملکردی، ضریب تبیین (R^2)، میانگین خطای مطلق (MAE) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) نیز به کار گرفته شده است. ضریب تبیین معیاری بدون بعد است و بهترین مقدار برای آن برابر یک است. میانگین خطای مدل و مجذور میانگین مربعات خطا، نشان‌دهنده میزان خطای مدل می‌باشند و بهترین مقدار برای آن‌ها برابر صفر است.

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (X_i - \mu_x)(Y_i - \mu_y)]^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu_x)^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \mu_y)^2} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (3)$$

در روابط فوق X_i و Y_i به ترتیب دامین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده توسط مدل هستند. μ_x و μ_y میانگین کل داده‌های X_i و Y_i در جامعه آماری و n تعداد کل نمونه‌های مورد ارزیابی می‌باشند (Arekhi et al., 2024; Panahi, Janbaz Ghobadi, Motavalli & Khaledi, 2023).

پس از بررسی نتایج مرحله واسنجی و مقادیر بالای ضریب تبیین و مقادیر پایین شاخص‌های خطاسنجی محاسبه شده، از قابلیت مدل LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی اطمینان حاصل شد.

مدل LARS-WG¹

یکی از مدل‌های مولد داده‌های تصادفی آب و هوایی است که برای شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به کار می‌رود (Semenov, Brooks, Barrow & Richardson, 1998). اولین نسخه این مدل در سال ۱۹۹۰ در شهر بوداپست مجارستان ارائه شد و سپس در سال ۱۹۹۸ توسط سمونو بازنگری شد. این مدل برای مدل‌سازی پارامترهای آب و هوایی، توزیع‌های آماری پیچیده‌ای را به کار می‌برد. مدل LARS-WG از داده‌های آب و هوایی روزانه مربوط به یک ایستگاه استفاده می‌کند تا با محاسبه مجموعه‌ای از پارامترها، توزیع احتمالاتی پارامترهای آب و هوایی و نیز ارتباط بین آن‌ها را شناسایی کند. برای تولید داده‌های مصنوعی اطلاعات ورودی به مدل، داده‌های روزانه بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و تابش خورشیدی یا در صورت نبود ساعات آفتابی حداقل ۳۰ سال است. در تولید داده‌های مصنوعی اولین قدم، مدل‌سازی سری

روزهای تر و خشک است. این مدل به منظور شبیه‌سازی طول روزهای تر و خشک، بارش روزانه و تابش خورشیدی از توزیع نیمه تجربی زیر استفاده می‌کند که این توزیع به‌عنوان یک تابع جمعیتی توزیع احتمال تعریف می‌شود.

$$EPM = \{a_0, a_i, h_i, i = 0, \dots, 10\} \quad (4)$$

تعداد بازه‌هایی که در توزیع نیمه‌تجربی استفاده می‌شود، در نسخه جدید مدل برابر ۲۳ است که در مقایسه با نسخه‌های قبلی که از ۱۰ مورد استفاده می‌شد، نمایش دقیق‌تری از توزیع مشاهداتی را نشان می‌دهد (Chen et al., 2012).

اجرای مدل LARS-WG

ابتدا داده‌های دوره پایه (۲۰۲۰-۲۰۰۱) مرتب شد و فایل ورودی مدل تهیه گردید. پس از پردازش و مرتب‌سازی داده‌ها و تهیه فایل‌های ورودی، مدل برای دوره پایه اجرا شد. بدین ترتیب مرحله واسنجی مدل به پایان رسید. در مرحله بعد با استفاده از آماره‌های ضریب تعیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) که روابط آنها در بالا آمده است، اقدام به ارزیابی داده‌های تولید شده توسط مدل گردید.

پس از بررسی نتایج مرحله واسنجی و مقادیر بالای ضریب تعیین و مقادیر پایین شاخص‌های خطاسنجی محاسبه شده، از قابلیت مدل LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی اطمینان حاصل شد. سپس این مدل جهت ریز مقیاس نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو و تولید داده مصنوعی برای دوره آتی با استفاده از سه سناریوی B1، A2 و A1B (به ترتیب خوشبینانه، بدبینانه و متوسط) تأیید شده توسط هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم و دو مدل HadCM3 اجرا شد. بدین ترتیب مقادیر روزانه پارامترهای مذکور برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ تولید گردید.

سپس این مدل جهت ریز مقیاس نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو و تولید داده مصنوعی برای دوره آتی با استفاده از سه سناریوی B1، A2، A1B (به ترتیب خوشبینانه، بدبینانه و متوسط) تأیید شده توسط هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم و مدل Hadcm3 اجرا شد. بدین ترتیب مقادیر روزانه پارامترهای مذکور برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ تولید گردید.

نتایج و بحث

ایستگاه اینچه‌برون به عنوان ایستگاه مبنا برای بررسی تغییرات اقلیمی منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شد. روند تغییر دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش در دوره پایه ۲۰۲۰-۲۰۰۱ مورد بررسی قرار گرفت. مجموع بارش سالانه ایستگاه اینچه‌برون در دوره اقلیمی ۲۰۲۰-۲۰۰۱ برابر با ۲۵۹/۷ میلی‌متر می‌باشد. مقادیر حداقل و حداکثر آن مربوط به سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۰۲ میلادی با مقادیر به ترتیب ۶۳/۸۵ و ۸۸۸ میلی‌متر بوده است. در بین سال‌های مطالعاتی کمترین دمای حداکثر در ایستگاه اینچه‌برون مربوط به سال ۲۰۰۱ میلادی با دمای حداقل ۲۶/۲۳ درجه سانتی‌گراد و بالاترین دمای حداکثر مربوط به سال ۲۰۱۸ میلادی با دمای ۳۰/۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در بین سال‌های مطالعاتی کمترین دمای حداقل مربوط به سال ۲۰۱۹ میلادی با دمای ۶/۸۲ درجه سانتی‌گراد و بالاترین دمای حداقل مربوط به سال‌های ۲۰۱۲ میلادی با دمای ۹/۹۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. جدول ۲ شیب روند بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر را طی دوره پایه نشان می‌دهد. طبق این جدول و مطالب آماری ارائه شده در بالا، در دوره گذشته دما افزایش و بارش کاهش یافته است. همچنین شیب افزایش دمای حداکثر بیشتر از افزایش دمای حداقل می‌باشد.

جدول ۲- شیب روند دما و بارش سالانه در ایستگاه اینچه‌برون طی دوره ۲۰۰۱-۲۰۲۰

Table 2- Annual temperature and rain trend slope at Inchebrun station during the period 2001-2020

پارامتر اقلیمی	بارش	دمای حداکثر	دمای حداقل
Climatic Parameter	Rain	Maximum Temperature	Minimum Temperature
شیب روند	-14.2	0.074	0.0098

نتایج اجرای مدل LARS-WG

جدول ۳ نتایج آزمون‌های Chi-square، T و F پارامترهای بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر را در ایستگاه اینچه‌برون نشان می‌دهد. سطح معناداری برای این آزمون‌ها ۰/۰۵ در نظر گرفته شده است. همچنین نتایج آزمون T در مورد بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر نشان می‌دهد که با اطمینان ۹۵٪ فرض صفر قابل قبول است. نتیجه آزمون F برای پارامتر بارش نشان می‌دهد که به جز ماه‌های آگوست و ژولای در بقیه ماه‌ها P-Value بزرگ‌تر از ۰/۰۵ بوده و فرض صفر مبنی بر برابری واریانس‌ها پذیرفته می‌شود. بنابراین نتیجه می‌گیریم که عملکرد مدل برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی دمای حداقل و حداکثر بسیار خوب است و در مورد بارش، عملکرد آن در حد قابل قبول است. زیرا با بررسی داده‌های مشاهداتی اصلی در منطقه، مشاهده می‌شود بارش در این دو ماه پراکندگی و تغییرات زیادی دارد.

جدول ۳- مقادیر آزمون‌های T و F محاسباتی توسط مدل LARS-WG در مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه اینچه‌برون

Table 3- T and F test values calculated by the LARS-WG model in the validation phase at Inchebrun station

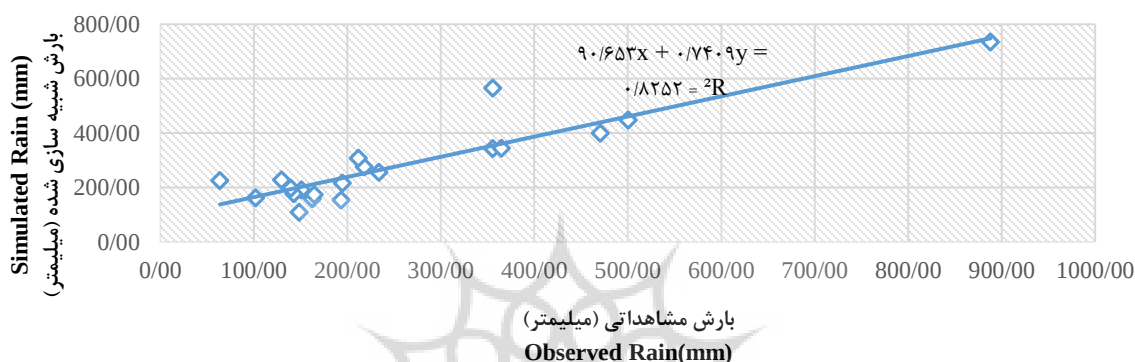
دمای حداکثر		دمای حداقل		بارش		پارامترها Parameters
Maximum Temperature		Minimum Temperature		Rain		
آزمون F F Test	آزمون T T Test	آزمون F F Test	آزمون T T Test	آزمون F F Test	آزمون T T Test	
9.115	0.923	9.317	0.934	1.393	0.323	ژانویه January
2.875	0.024	4.388	0.846	1.267	0.075	فوریه February
11.668	0.971	6.366	0.415	1.887	0.747	مارس March
5.919	0.592	2.705	0.412	1.080	0.631	آوریل April
0.708	0.997	3.198	0.430	5.923	0.398	می May
3.308	0.708	6.013	0.769	5.139	0.238	ژوئن June
2.798	0.405	8.168	0.158	1.00	1.00	جولای July
1.629	0.660	12.18	0.911	1.00	1.00	اگوست August
2.468	0.162	4.275	0.227	9.445	0.0	سپتامبر September
14.748	0.220	14.106	0.314	5.664	0.032	اکتبر October
4.153	0.558	6.182	0.008	2.276	0.18	نوامبر November
0.0	7.254	4.521	0.580	1.951	0.562	دسامبر December

با استفاده از آماره‌های ضریب تعیین (R)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE)، ارزیابی داده‌های تولید شده توسط مدل و داده‌های واقعی (مشاهده شده) موجود در دوره پایه، انجام شد. جدول ۴، نتایج ارزیابی داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل و داده‌های واقعی دوره پایه را نشان می‌دهد. چنانچه در جدول مشاهده می‌شود، مقدار ضریب تعیین در همه موارد از میزان قابل توجهی برخوردار می‌باشد. نزدیکی این مقدار به یک، دقت مدل را در شبیه‌سازی نشان می‌دهد.

جدول ۴- مقادیر آماره‌های واسنجی جهت ارزیابی مدل LARS-WG در دوره پایه (۲۰۰۱-۲۰۲۰)

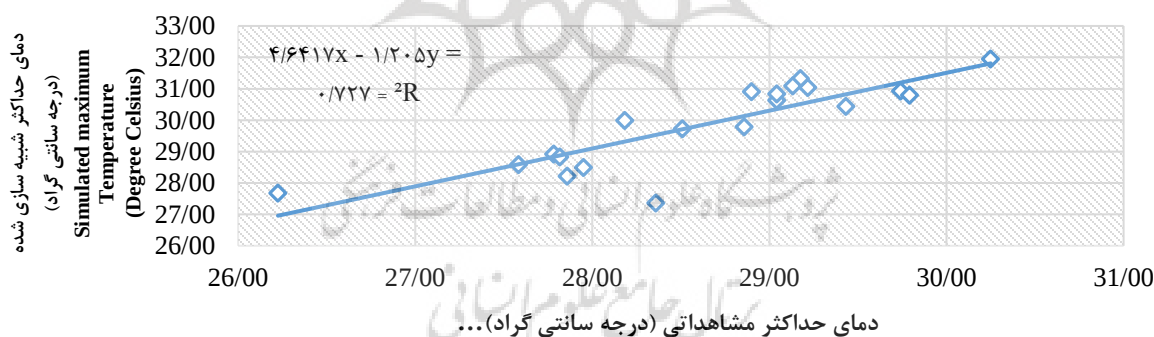
Table 4- Values of calibration statistics for evaluating the LARS-WG model in the base period (2001-2020)

پارامترهای آماری	بارش (میلیمتر)	دمای حداقل (سانتیگراد)	دمای حداکثر (سانتیگراد)
Statistical parameters	Rain(mm)	Maximum Temperatur(c)	Maximum Temperatur (c)
MAE	1.6	0.87	0.93
RMSE	2.6	0.24	0.33
R ²	0.8252	0.727	0.8034



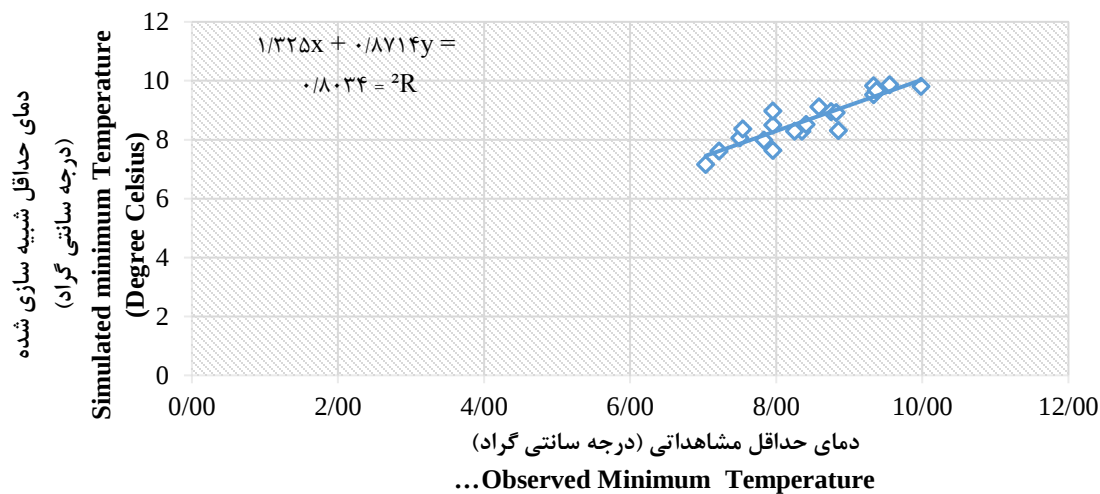
شکل ۳- مقایسه بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ایستگاه اینچه‌برون

Fig.3. Comparison of observed and simulated rain at Inchebrun station



شکل ۴- مقایسه دمای حداکثر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ایستگاه اینچه‌برون

Fig. 4. Comparison of observed and simulated maximum temperatures at Inche-brun station



شکل ۵- مقایسه دمای حداقل مشاهداتی و شبیه سازی شده در ایستگاه اینچه برون

Fig. 5. Comparison of observed and simulated minimum temperatures at Inche-brun station

شکل های ۳ تا ۵ مقایسه داده های حاصل از شبیه سازی مدل و داده های مشاهداتی در ایستگاه اینچه برون برای پارامترهای بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر را نشان می دهد. همان گونه که این نمودارها نشان می دهند مقادیر ضریب تعیین برای تمامی متغیرهای اقلیمی بالاست. همچنین مقادیر شاخص های خطاسنجی در جدول ۴ نیز نسبتاً پایین می باشد که موید انطباق نسبی و قابل قبول مقادیر شبیه سازی شده توسط مدل و مقادیر مشاهده شده دوره پایه است.

نتایج ریز مقیاس کردن و تولید داده برای دوره آینده

همانطور که در جداول ۵ و ۶ نشان داده شده است، تمامی سناریوها، دمای بیشتری را در دوره آتی نسبت به دوره پایه تخمین می زنند. به طوری که انتظار می رود دمای منطقه در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ بین ۰/۵ تا ۱/۵ درجه سانتی گراد نسبت به دوره پایه افزایش یابد. نتایج حاکی از افزایش دما در همه ماه ها برای تمامی سناریوهای اقلیمی می باشد. به طور کلی دمای سالانه نیز افزایش پیدا می کند و با توجه به اینکه سناریو A2 به عنوان بحرانی ترین سناریو محسوب می شود، بالاترین مقدار افزایش دما و سناریو B1 که سناریو خوشبینانه معرفی شده کمترین مقدار افزایش و سناریو A1B به عنوان سناریو میانه، افزایش دما در حد متوسط را نشان می دهد.

شکل های ۶ و ۷، روند تغییرات دمای حداکثر و حداقل را در دوره پایه و آتی تحت سه سناریو نشان می دهند. در این اشکال به خوبی نتایج ذکر شده قابل رویت می باشد. طبق نمودارهای بالا دمای حداقل و حداکثر در تمامی ماه های سال افزایش می یابد. افزایش دما با افزایش تبخیر و تعرق و تاثیرگذاری روی ذوب برف می تواند پیامدهای متعددی در بیلان آب تالاب های مورد مطالعه داشته باشد. طبق جدول ۷، دما در تمامی ماه ها افزایش می یابد که بیشترین افزایش دما در سه سناریوی مورد بررسی در ماه آگوست یا اواسط تابستان می باشد و کمترین افزایش دما در ماه ژانویه یا اوایل زمستان می باشد. به طور کلی دمای حداکثر در سناریوی بدبینانه A2 حدود ۰/۸۹ درجه سانتی گراد و در سناریو خوشبینانه B1 حدود ۰/۷۱ درجه سانتی گراد در دوره آتی افزایش می یابد.

جدول ۵- مقادیر دمای حداکثر دوره پایه و دوره آینده تحت سه سناریو

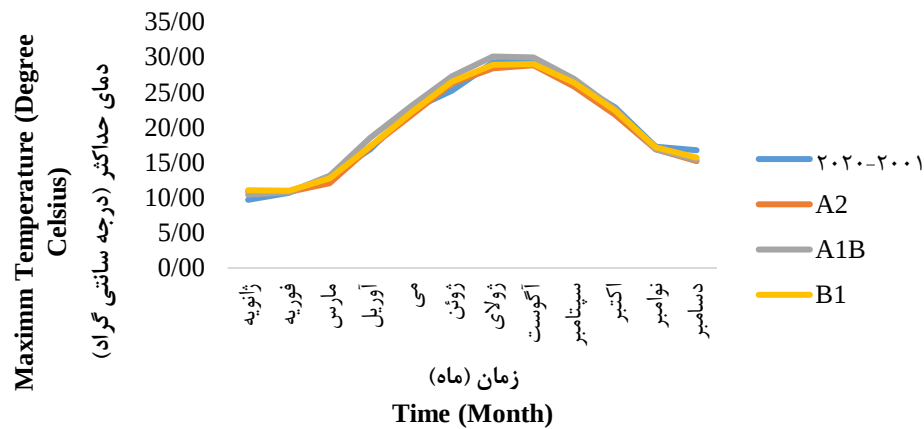
Table 5- Maximum temperature values for the base period and future period under three scenarios

دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ Period 2021-2050			دوره ۲۰۲۰-۲۰۰۱ Period 2001-2020	ماه Month
B1	A1B	A2		
11.08	10.42	10.86	9.70	ژانویه January
11.00	10.78	10.84	10.69	فوریه February
12.75	13.11	12.08	13.05	مارس March
17.32	18.53	17.19	16.89	آوریل April
22.15	23.03	21.72	22.52	می May
26.51	27.28	26.29	25.25	ژوئن June
28.90	30.09	28.43	29.24	جولای July
29.02	29.99	28.86	29.77	اگوست August
26.36	26.94	25.82	26.37	سپتامبر September
22.40	22.63	21.82	22.88	اکتبر October
17.18	16.87	16.88	17.25	نوامبر November
15.70	15.40	15.22	16.74	دسامبر December
20.03	20.42	19.67	20.03	سالانه Annual

جدول ۶- مقادیر دمای حداقل دوره پایه و دوره آینده تحت سه سناریو

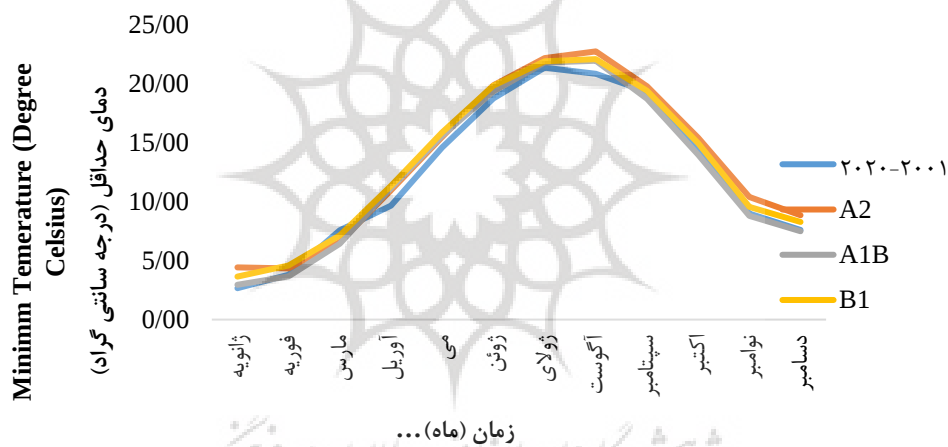
Table 6- Minimum temperature values for the base period and future period under three scenarios

دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ Period 2021-2050			دوره ۲۰۲۰-۲۰۰۱ Period 2001-2020	ماه Month
B1	A1B	A2		
3.64	2.95	4.41	2.66	ژانویه January
4.58	3.67	4.34	3.81	فوریه February
7.14	6.43	6.57	7.56	مارس March
11.35	11.15	10.96	9.66	آوریل April
15.88	15.61	15.49	14.59	می May
19.84	19.35	19.87	18.76	ژوئن June
21.90	21.79	22.18	21.36	جولای July
22.08	21.95	22.74	20.83	اگوست August
19.40	18.73	19.80	19.31	سپتامبر September
14.94	13.98	15.42	14.51	اکتبر October
9.54	8.80	10.40	8.99	نوامبر November
8.27	7.48	8.86	7.61	دسامبر December
13.21	12.66	13.42	12.47	سالانه Annual



شکل ۶- دمای حداکثر دوره پایه و دوره آینده تحت سه سناریو

Fig. 6. Maximum temperature of the base period and future period under three scenarios



شکل ۷- دمای حداقل دوره پایه و دوره آینده تحت سه سناریو

Fig. 7. Minimum temperature of the base period and future period under three scenarios

جدول ۷- تغییرات ماهانه و سالانه دمای حداکثر برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ نسبت به دوره مبنا تحت سناریوهای مختلف

Table 7- Monthly and annual changes in maximum temperature for the period 2021-2050 compared to the base period under different scenarios

دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ Period 2021-2050			ماه Month
B1	A1B	A2	
1.38	0.72	1.16	ژانویه January
1.30	1.08	1.14	فوریه February
3.05	3.41	2.38	مارس March
7.62	8.83	7.49	آوریل April
12.45	13.33	12.02	می May
16.81	17.58	16.59	ژوئن June

19.20	20.39	18.73	July جولای
19.32	20.29	19.16	August آگوست
16.66	17.24	16.12	September سپتامبر
12.70	12.93	12.12	October اکتبر
7.48	7.17	7.18	November نوامبر
6.00	5.70	5.52	December دسامبر
10.33	10.72	9.97	Annual سالانه

طبق جدول ۸، دما در تمامی ماه‌ها افزایش می‌یابد که بیشترین افزایش دما در سه سناریوی مورد بررسی، در ماه آگوست یا اواسط تابستان می‌باشد و کمترین افزایش دما در سه سناریو، در ماه مارس یا اوایل بهار می‌باشد. به طور کلی دمای حداقل در سناریو بدبینانه A2 حدود ۰/۸۵ درجه سانتی‌گراد و در سناریو خوشبینانه B1 حدود ۱/۳ درجه سانتی‌گراد در دوره آتی افزایش می‌یابد. بنابراین طبق نتایج انتظار می‌رود بازخورد بارزی در بیلان آبی منطقه به دلیل کاهش پوشش برف در اثر افزایش دما و افزایش تبخیر به وجود آمده و همچنین پتانسیلی برای تغییر در وقایع جوی و هیدرولوژی تالاب آلاگل، آجی گل و آلاگل به وجود آید.

جدول ۸- تغییرات ماهانه و سالانه دمای حداقل برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ نسبت به دوره مبنا تحت سناریوهای مختلف

Table 8- Monthly and annual changes in minimum temperatures for the period 2021-2050 compared to the base period under different scenarios

ژانویه Jan.	فوریه Feb.	مارس March	آوریل April	می May	ژوئن June	جولای July	آگوست Aug.	سپتامبر Sep.	اکتبر Oct.	نوامبر Nov.	دسامبر Dec.	سال Annual	
1.75	0.53	0.99	1.30	0.90	1.11	0.82	1.91	0.49	0.91	1.41	1.25	0.95	A2
0.29	0.14	1.13	1.49	1.02	0.59	0.43	1.12	0.58	0.53	0.19	0.13	0.19	A1B
0.98	0.77	0.42	1.69	1.29	1.08	0.54	1.25	0.09	0.43	0.55	0.66	0.74	B1

جدول ۹ نتایج تولید داده‌های بارندگی در ایستگاه اینچه‌برون توسط سه سناریو در دوره آتی و همچنین مقادیر این پارامتر را در دوره پایه نشان می‌دهد. بیشترین و کمترین بارش منطقه در دوره پایه به ترتیب در ماه مارس و آگوست با مقادیر ۹۴/۰۵ و ۳/۱۲ میلی‌متر می‌باشد. طبق نتایج جدول تمامی سناریوها کاهش بارندگی را در دوره آتی نسبت به دوره پایه تخمین می‌زنند.

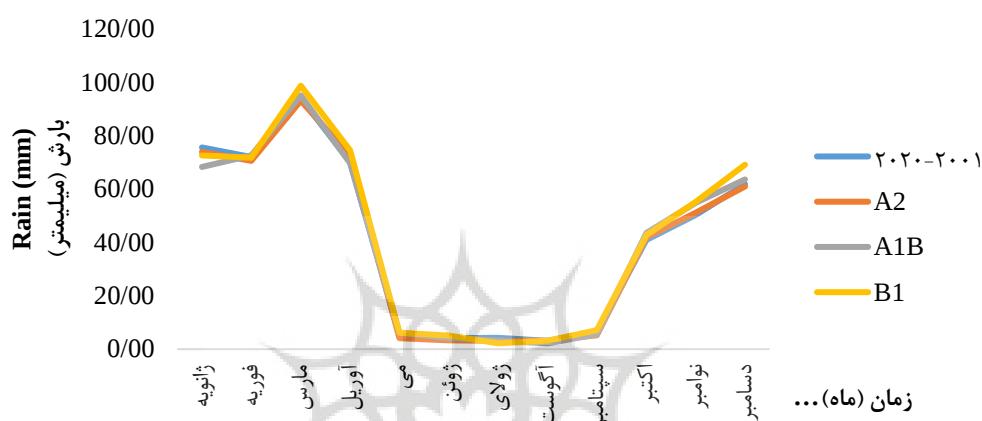
جدول ۹- مقادیر بارش در دوره پایه و دوره آینده تحت سه سناریو

Table 9- Precipitation values in the base period and future period under three scenarios

دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ Period 2021-2050			دوره ۲۰۲۰-۲۰۰۱ Period 2001-2020		ماه Month
B1	A1B	A2			
72.57	68.31	73.96	75.54		ژانویه January
71.74	72.62	70.58	71.99		فوریه February
98.72	95.08	93.12	94.05		مارس March
74.53	69.67	72.46	70.12		آوریل April
6.19	6.15	4.13	5.12		می May
5.04	4.18	3.29	4.16		ژوئن June
2.19	3.15	3.17	4.29		جولای July
3.11	2.15	3.21	3.12		آگوست August
7.13	5.61	5.18	6.35		سپتامبر September
42.78	43.56	41.85	40.93		اکتبر October

55.17	54.83	51.15	50.27	November نوامبر
69.12	63.57	60.91	61.74	December دسامبر
42.36	40.74	40.25	40.64	Annual سالانه

طبق شکل ۸ در رفتار و الگوی بارش تغییراتی مشاهده می‌شود، به طوری که ماکزیمم بارش به انتهای فصل سرد جابه‌جا می‌شود، همچنین کاهش بارش در انتهای فصل پاییز و ابتدای فصل زمستان خطری جدی در اثر تغییر اقلیم برای منطقه می‌باشد.



شکل ۸- بارش شبیه‌سازی شده تحت سه سناریو و مشاهداتی در ایستگاه اینچه‌برون

Fig. 8. Simulated precipitation under three scenarios and observations at Inchebrun station

طبق جدول ۱۰ بارش در اکثر ماه‌ها کاهش پیدا کرده است. میزان بارندگی منطقه در دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ بین ۶ تا ۸ درصد نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. به طور کلی بارندگی سالانه نیز کاهش پیدا می‌کند و با توجه به اینکه سناریو A2 به عنوان بحرانی‌ترین سناریو محسوب می‌شود، بالاترین مقدار کاهش بارش و سناریو B1 که سناریو خوشبینانه معرفی شده کمترین مقدار کاهش و سناریو A1B به عنوان سناریو میانه کاهش بارش در حد متوسط را نشان می‌دهد. همچنین میزان کاهش باران در سناریو A2 در ماه مارس بیش از سایر ماه‌ها و حدود ۷۵ درصد بوده و در سناریو B1 میزان بارش در ماه فوریه بیشتر از ماه‌های دیگر و حدود ۵۵ درصد کاهش یافته است. علاوه بر کاهش بارش که در اکثر ماه‌ها مشاهده می‌شود، در برخی ماه‌ها نیز شاهد افزایش بارش در دوره آتی هستیم. افزایش بارش در ماه‌های خشک سال معنادار نمی‌باشد.

جدول ۱۰- تغییرات ماهانه و سالانه بارش برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ نسبت به دوره مبنا تحت سناریوهای مختلف

Table 10- Monthly and annual changes in precipitation for the period 2021-2050 compared to the base period under different scenarios

سال	دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	آگوست	جولای	
Annual	December	November	October	September	August	July	
A2	-14.63	-24.39	-33.69	-70.36	-72/33	-72.37	
A1B	-97.11	-20.71	-31.98	-69.93	-73/39	-72.39	
B1	-6.42	-20.37	-32.76	-68.41	-72.43	-73/35	
سال	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	
Annual	June	May	April	March	February	January	
A2	-72.25	-71.41	-3.08	-58.17	-4.96	-1.58	
A1B	-71.36	-69.39	-5.87	-19.54	-2.92	-7.23	
B1	-70.50	-69.35	-1.01	-23.18	-3.80	-2.97	

نقشه‌های کاربری اراضی

جهت تهیه نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۱۱ و ۲۰۲۰، ابتدا تصاویر به اندازه مرز منطقه برش داده شد و پس از انجام پیش پردازش‌های اولیه تصاویر، جهت حذف نویز و کاهش ابعاد داده‌ها از روش PCA (آنالیز مولفه‌های اصلی) استفاده شد. نتایج این آنالیز در تصویر لندست ۷ منجر به انتخاب باندهای ۱ تا ۴ و در لندست ۸ باندهای ۲ تا ۵ گردید. سپس مناطق تعلیمی جهت ورود به طبقه‌بندی با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال و نقشه‌های کاربری اراضی تهیه گردید. نقشه‌های حاصل از مرحله دوم با استفاده از نقاط کنترل زمینی مذکور ارزیابی صحت شدند و ضریب کاپای ۰/۹۱ برای نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۱ و ۲۰۱۱ و ۰/۹۲ برای سال ۲۰۲۰ به دست آمد (جدول ۱۱).

جدول ۱۱- نتایج صحت‌سنجی طبقه‌بندی کاربری اراضی

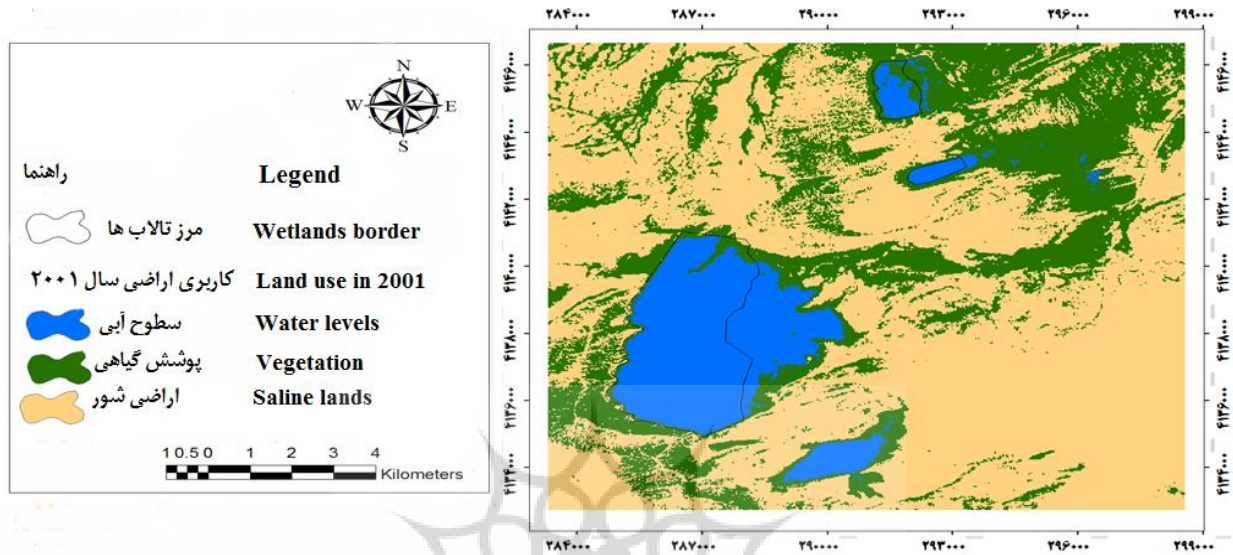
Table 11- Results of land use classification validation

سال	2001	2011	2020
year			
ضریب کاپا	0.91	0.91	0.92
Kappa coefficient			

کاربری اراضی تالاب‌های مورد مطالعه در طی سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۱۱ و ۲۰۲۰

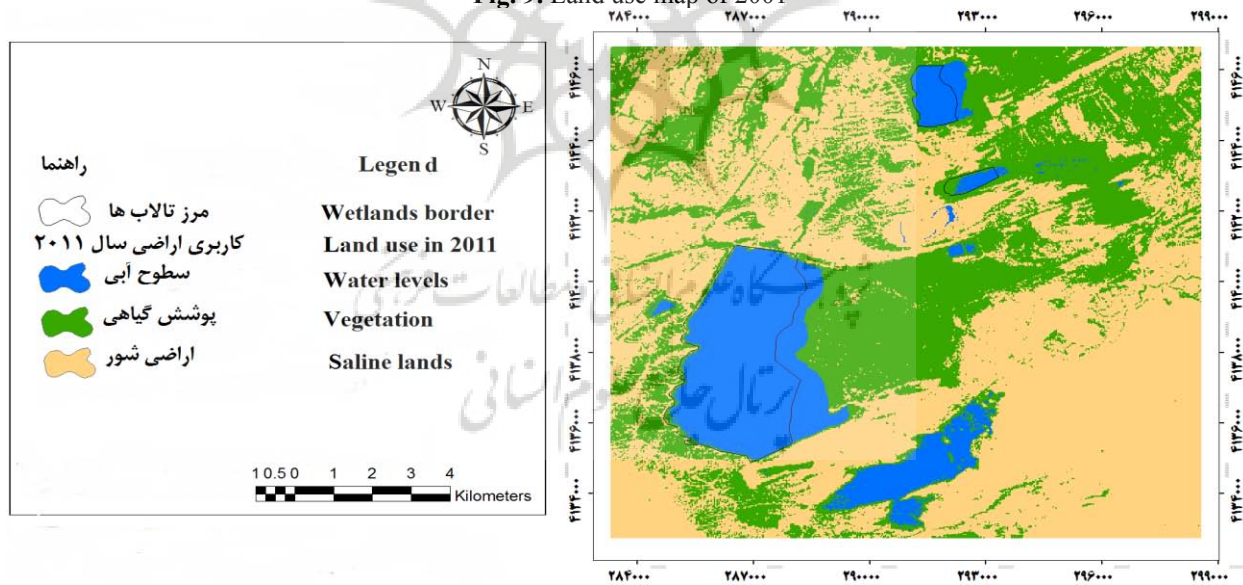
با توجه به شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ در طی سال ۲۰۰۱ کاربری زمین‌های شور ۱۲۸۰۱/۱۵ هکتار (۶۰/۳ درصد)، کاربری پوشش گیاهی با ۶۰۹۳/۱۸ هکتار (۲۸/۷ درصد) و کاربری سطوح آبی با ۲۳۱۹/۷۵ هکتار (۱۰/۹ درصد) بوده است. در سال ۲۰۱۱ نیز سطوح آبی افزایش تقریباً ۱/۱ درصدی نسبت به سال ۲۰۰۱ داشته است و به ۲۵۴۹/۱۶ هکتار (۱۲ درصد) رسیده است. کاربری‌های پوشش گیاهی و زمین‌های شور به ترتیب با ۷۲۲۷/۹۹ هکتار (۳۴ درصد) و ۱۱۴۳۶/۹۳ هکتار (۵۴ درصد) از مساحت تالاب را به خود اختصاص دادند. نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۰ بیانگر آن است که در این سال مساحت سطوح آب با کاهش حدوداً ۲ درصد نسبت به دوره قبل ۲۲۲۵/۲۵ هکتار (۱۰/۴ درصد) بوده است. کاربری پوشش گیاهی با مساحت ۲۳۵۹/۰۸ هکتار (۱۱/۱ درصد) و کاربری زمین‌های شور با مساحت ۱۶۶۲۹/۷۵ هکتار (۷۸/۳ درصد) سطح تالاب‌ها را در بر گرفته‌اند. از نظر درصد مالکیت نیز اراضی شور بیشترین مقدار یعنی ۶۴/۲ درصد از مساحت اراضی را به خود اختصاص داده است. بعد از آن کاربری

پوشش گیاهی با ۲۴/۶ درصد و کاربری سطوح آبی با ۱۱/۱ درصد از مساحت کل تالاب‌ها، در رده‌های بعدی قرار دارند. جدول ۱۲ مساحت و درصد کاربری‌های مختلف را در سال‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



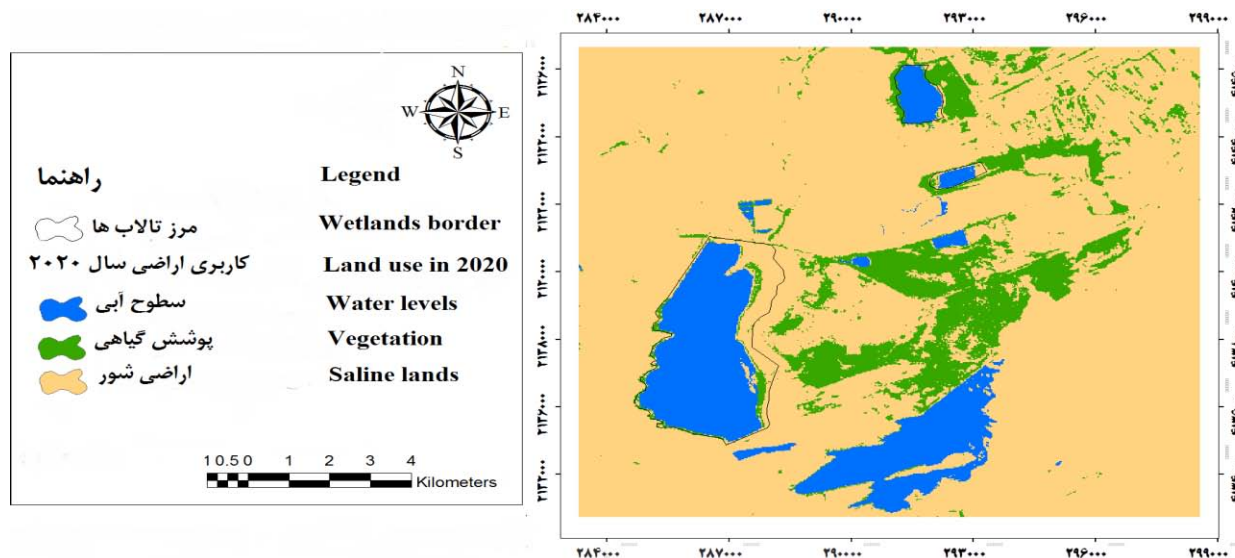
شکل ۹- نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۱

Fig. 9. Land use map of 2001



شکل ۱۰- نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۱

Fig. 10. Land use map of 2011



شکل ۱۱- نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۰

Fig. 11. Land use map of 2020

جدول ۱۲- مساحت و درصد کاربری‌ها به تفکیک دوره

Table 12- Area and percentage of land uses by period

Table 12- Area and percentage of land uses by period						
اراضی شور		پوشش گیاهی		سطوح آبی		سال
Saline Lands		Vegetation		Water Surfaces		
درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	
Percent	Area(hectare)	Percent	Area(hectare)	Percent	Area(hectare)	
60.3	12801.15	28.7	6093.18	10.9	2319.75	2001
54	11436.93	34	7227.99	12	2549.16	2011
78.3	16629.75	11.1	2359.08	10.4	2225.25	2020

مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل CA-Marcov

بعد از تولید نقشه‌های کاربری برای سه سال ۲۰۰۱، ۲۰۱۱ و ۲۰۲۰، به منظور پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی برای دوره ۱۵ سال بعدی یعنی سال ۲۰۳۵ از تحلیل زنجیره مارکوف استفاده می‌شود. پیش‌بینی تغییرات با استفاده از تحلیل زنجیره مارکوف، به طور کلی بر وضعیت کاربری زمین در سال ۲۰۲۰ و تغییرات کاربری زمین در دوره ۲۰ سال قبل بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ متکی است. بعد از اجرای تحلیل زنجیره مارکوف با خطای نسبی ۰/۱ (بدان معنی که بیشتر نقشه‌های کاربری زمین دارای دقت ۹۰ درصد هستند). بر روی دو نقشه کاربری اراضی به دست آمده از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، یک ماتریس احتمال انتقال و یک ماتریس مساحت انتقال یافته ایجاد شد (جدول ۱۳ و ۱۴). در هر دو جدول مذکور ماتریس احتمال انتقال، احتمال انتقال هر کدام از کاربری‌ها به کاربری دیگر را نشان می‌دهد. این ماتریس نتیجه جدول حاصل از تطابق نقشه‌های دو تصویر است که توسط خطای نسبی اصلاح شده است.

جدول ۱۳- ماتریس مساحت احتمال انتقال

Table 13- Transition probability area matrix

کاربری Usage	سطوح آبی Water Surfaces	پوشش گیاهی Vegetation	اراضی شور Saline Lands
سطوح آبی Water Surfaces	17006	2389	5330
پوشش گیاهی Vegetation	973	6508	18732
اراضی شور Saline Lands	6132	11859	166784

جدول ۱۴- ماتریس احتمال انتقال

Table 14- Transmission probability matrix

کاربری Usage	سطوح آبی Water Surfaces	پوشش گیاهی Vegetation	اراضی شور Saline Lands
سطوح آبی Water Surfaces	0.68	0.09	0.21
پوشش گیاهی Vegetation	0.03	0.24	0.71
اراضی شور Saline Lands	0.03	0.06	0.9

پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل CA-Markov

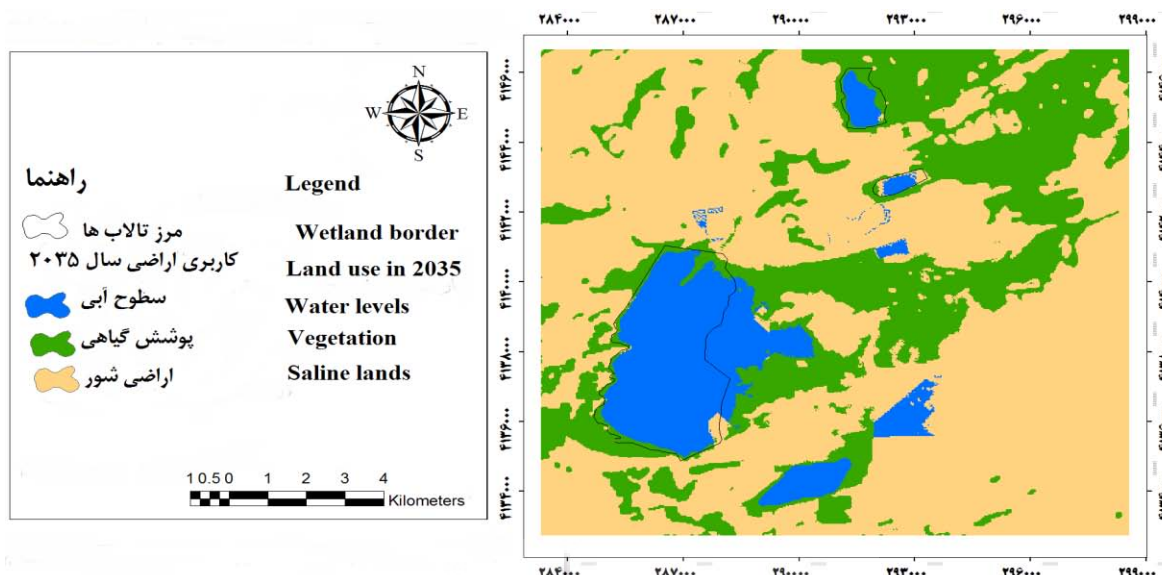
با مبنا قرار دادن نقشه کاربری اراضی تالاب‌های مورد مطالعه در سال ۲۰۰۱ و با استفاده از ماتریس مساحت انتقال یافته (جدول ۱۴) به دست آمده از تحلیل زنجیره مارکوف، تغییرات کاربری اراضی برای دوره ۱۵ سال آینده یعنی سال ۲۰۳۵ پیش‌بینی شد (شکل ۱۲). همچنین مساحت طبقات کاربری اراضی در سال‌های پیش‌بینی شده در تالاب‌های آلاگل، آجی گل و آلاگل در جدول ۱۵ نشان داده شده است.

همین طور که در جدول ۱۵ مشاهده می‌شود در طی سال ۲۰۳۵ کاربری زمین‌های شور ۱۳۳۴۶/۵۵ هکتار (۶۳ درصد) خواهد بود. سایر کاربری‌ها نیز به ترتیب کاربری پوشش گیاهی با ۵۶۰۱/۷۸ هکتار (۲۶/۴ درصد) و کاربری سطوح آبی با ۲۲۶۵/۷۵ هکتار (۱۰/۶ درصد) در رده‌های بعدی قرار دارند. همچنین شکل ۱۳ نمودار درصد مساحت کاربری‌ها را در سال‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد.

جدول ۱۵- مساحت و درصد کاربری‌ها در سال ۲۰۳۵

Table 15- Area and percentage of land uses in 2035

Year: ۲۰۳۵		
کاربری Usage	مساحت (کیلومتر مربع) Area (square kilometer)	درصد Percent
سطوح آبی Water Surfaces	2226.75	10.6
پوشش گیاهی Vegetation	5601.78	26.4
اراضی شور Saline Lands	13346.55	62.9
مجموع Total	21214.08	100



شکل ۱۲- نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۳۵

Fig. 12. Land use map of 2035



شکل ۱۳- نمودار درصد مساحت کاربری‌های تالاب‌های آلاگل، آلمگل و آجی گل در سال‌های مورد مطالعه

Fig. 13. Percentage of area used by Alagol, Almagol, and Ajigol wetlands in the years studied

طبق جدول ۱۶ در سال ۲۰۰۱ مساحت تالاب آلاگل ۱۹۲۲/۳۰ هکتار بوده است. تالاب‌های آلمگل و آجی گل با ۱۰۳/۹۰ هکتار و ۷۳ هکتار در رده‌های بعدی قرار دارند. در سال ۲۰۱۱ نیز مساحت تالاب آلاگل با کاهش تقریباً ۱۶۵ هکتاری نسبت به دوره قبل به ۱۷۵۸ هکتار و تالاب آجی گل با کاهش ۲۸ هکتاری به ۴۵ هکتار رسیده است. در صورتی تالاب آلمگل با افزایش حدوداً ۱۱۵ هکتاری به ۲۱۷ هکتار در این سال رسیده است. در سال ۲۰۲۰ مساحت تالاب آلاگل با کاهش تقریباً ۶۳۰ هکتاری نسبت به ماقبل خود به ۱۱۳۰/۱۵ هکتار می‌رسد. تالاب‌های آلمگل و آجی گل به ترتیب با مساحت ۱۳۷/۳۰ هکتار و ۳۶/۸۰ هکتار از سطح تالاب‌ها را به خود اختصاص دادند. در سال ۲۰۳۵ نیز مساحت تالاب‌های آلاگل، آلمگل و آجی به ترتیب به ۱۷۴۷/۵۰ هکتار، ۱۰۲/۳۰ هکتار و ۳۳/۹۰ هکتار خواهد رسید.

جدول ۱۶- مساحت تالاب‌های آلاگل، آلماگل و آجی گل در دوره‌های مورد مطالعه

Table 16- Area of Alagol, Almagol and Ajigol wetlands in the studied periods

سال	تالاب	مساحت (هکتار)
Year	Wetland	Area (hectare)
2001	آلاگل Alagol	1922.30
	آلماگل Almagol	103.90
	آجی گل Ajigol	73
2011	آلاگل Alagol	1758
	آلماگل Almagol	217.20
	آجی گل Ajigol	45.10
2020	آلاگل Alagol	1130.15
	آلماگل Almagol	137.30
	آجی گل Ajigol	36.80
2035	آلاگل Alagol	1747.50
	آلماگل Almagol	102.30
	آجی گل Ajigol	23.90

مشخصه‌سازی ریسک‌های محیط زیستی اکولوژیکی ناشی از تغییر اقلیم در تالاب‌ها

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل ریسک‌ها بر اساس شاخص‌های شدت اثر، احتمال وقوع و دامنه در جدول ۱۷ به صورت میزان ریسک‌های ناشی از تغییر اقلیم نشان داده شده است. روش ارزیابی ریسک در این تحقیق تلفیقی از روش عمومی ریسک، روش ویلیام فاین و روش ارزیابی ریسک با استفاده از ابزارهای سنجش از دور (RS) و همچنین خروجی‌های مدل تغییر اقلیم (GCM) می‌باشد. پیامدهای ناشی از اثرات بالقوه عوامل ریسک از طریق تصاویر ماهواره‌ای، مدل‌سازی تغییر اقلیم، محاسبه شاخص خشکسالی، همچنین بررسی عملکردهای اصلی تالاب بعد از مواجهه با این تهدیدات تعیین شده و دامنه این اثرات از طریق ارزیابی دریافت کننده‌های ریسک و همچنین چگونگی مواجهه با آنها محاسبه شده است. با توجه به اینکه نتایج حاصل از مدل‌سازی تغییر اقلیم، در سه سناریو بررسی گردید، ریسک‌ها نیز در سه سناریو و همچنین وضعیت موجود آورده شده است.

اولویت‌بندی ریسک‌های محیط زیستی تالاب‌های آجی گل، آلاگل و آلماگل

برای مقایسه ریسک‌های اکولوژیکی با منشا طبیعی (در اثر تغییرات اقلیمی) با ریسک‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی به منظور وزن‌دهی به گزینه‌های ریسک و همچنین شاخص‌های موثر بر آورد سطح ریسک از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و نرم‌افزار Expert Choice بهره‌گیری شد. بر اساس مقایسه درجه اهمیت انواع ریسک‌های اکولوژیکی با منشا طبیعی در اثر تغییرات اقلیمی در تالاب‌های مورد مطالعه با ریسک‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی نشان از آن دارد که اهمیت بالایی برای ریسک‌های اکولوژیکی وجود دارد. هر دو نوع ریسک تقریباً نیمی از ریسک‌های موجود را تشکیل می‌دهند (شکل ۱۴).

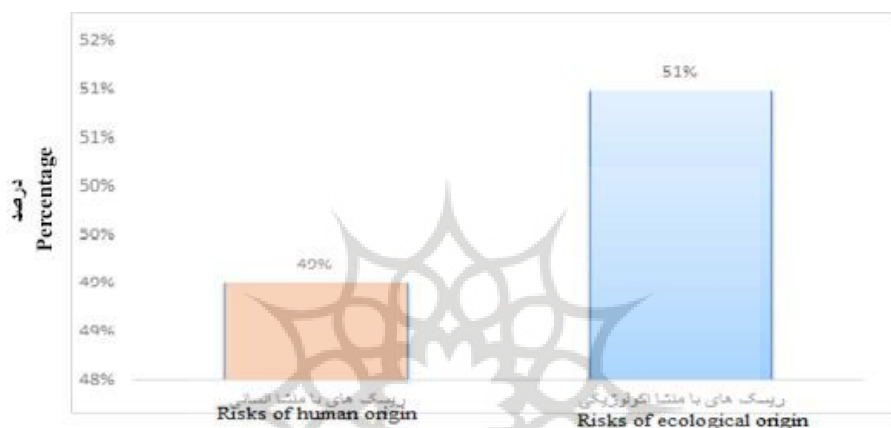
جدول ۱۷- محاسبه میزان ریسک‌های ناشی از تغییر اقلیم در تالاب‌های آلاگل، آجی‌گل و آلمگل

Table 17- Calculation of the risks from climate change in Alagol, Ajigol and Almagol wetlands

ارزیابی ریسک بر اساس سناریو A1B				ارزیابی ریسک بر اساس وضع موجود				ارزیابی ریسک
Risk assessment based on scenario A1B				Risk assessment based on the current situation				Risk assessment
RPN	دامنه Range	شدت Severity	احتمال Probability	RPN	دامنه Range	شدت Severity	احتمال Probability	ریسک محیط‌زیستی Environmental risks
96	6	4	4	96	6	4	4	فرسایش خاک Soil erosion
192	6	8	4	192	6	8	4	شور شدن آب تالاب Wetland salinization
216	6	6	6	144	6	6	4	از دست رفتن ذخایر ژنتیک Loss of genetic resources
144	4	6	6	144	4	6	6	افزایش آلاینده‌های زنده و غیر زنده Increase in biotic and abiotic pollutants
288	6	6	8	216	6	6	6	افزایش تبخیر و تعرق Increasing evapotranspiration
288	8	6	6	192	8	6	4	رسوب و پر شدن Sedimentation and filling
384	6	8	8	288	6	8	6	از بین رفتن زیستگاه Habitat loss
384	6	8	8	388	6	8	6	تغییر در جریان رژیم Change in flow regime
640	8	10	8	480	8	10	6	خشکسالی/ وقوع کم آب Drought/water stress
8	2	2	2	16	2	4	2	سیل Flooding
ارزیابی ریسک بر اساس سناریو A2				ارزیابی ریسک بر اساس سناریو B1				ارزیابی ریسک
Risk assessment based on scenario A2				Risk assessment based on scenario B1				Risk assessment
RPN	دامنه Range	شدت Severity	احتمال Probability	RPN	دامنه Range	شدت Severity	احتمال Probability	ریسک محیط‌زیستی Environmental risks
۱۹۲	۶	4	8	144	6	4	6	فرسایش خاک Soil erosion
۳۸۴	۶	8	8	188	6	8	6	شور شدن آب تالاب Wetland salinization
۲۸۸	۶	6	8	288	6	6	8	از دست رفتن ذخایر ژنتیک Loss of genetic resources
۲۱۶	6	6	6	216	6	6	6	افزایش آلاینده‌های زنده و غیر زنده Increase in biotic and abiotic pollutants
360	6	6	10	288	6	6	8	افزایش تبخیر و تعرق Increasing evapotranspiration
480	8	6	10	384	8	6	8	رسوب و پر شدن Sedimentation and filling
360	6	6	10	288	6	6	8	از بین رفتن زیستگاه Habitat loss
480	6	8	10	384	6	8	8	تغییر در جریان رژیم Change in flow regime

800	8	10	10	800	8	10	10	خشکسالی/ وقوع کم آب Drought/water stress
1	1	1	1	4	2	2	1	سیل Flooding

با توجه به شکل ۱۵ بیشترین وزن در بین این ریسک‌ها مربوط به خشکسالی برابر با ۰/۱۹ می باشد. همچنین مجموع وزن ۵ ریسک با منشا اکولوژیکی، ۵۱٪ و مجموع وزن ۵ ریسک با منشا انسانی، ۴۹٪ از کل را به خود اختصاص دادند.



شکل ۱۴-مقایسه ارجحیت انواع ریسک‌های تهدید کننده تالاب‌های آلاگل، آجی گل و آلماگل

Fig.14. Comparison of the priority of the types of risks threatening the Alagol, Ajigol and Almagol wetlands



شکل ۱۵- وزن‌های حاصل از روش سلسله مراتبی در مورد ریسک‌های مهم تالاب‌های مورد مطالعه

Fig.15. Weights resulting from the hierarchical method for important risks of the studied wetlands

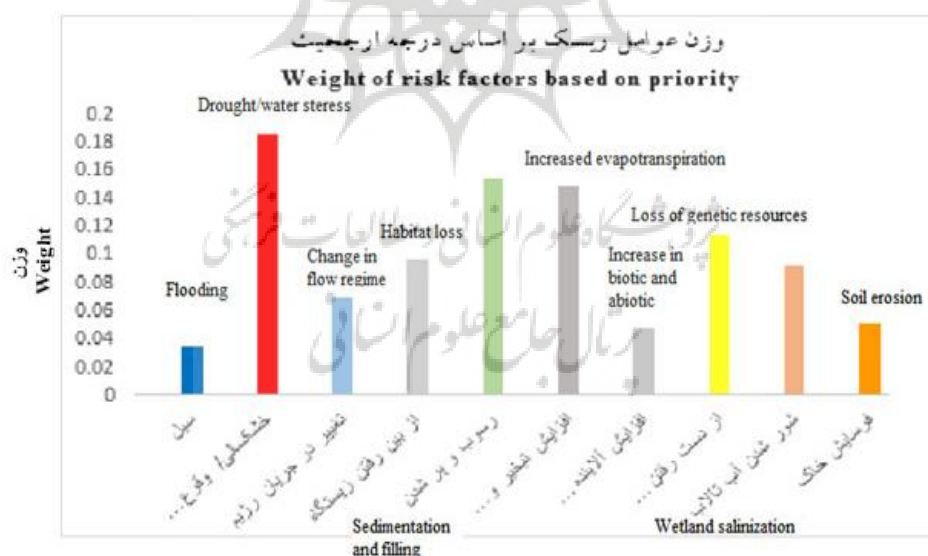
اولویت‌بندی ریسک‌های اکولوژیکی ناشی از تغییر اقلیم تالاب‌های آجی‌گل، آلاگل و آلمگل

به منظور وزن‌دهی به گزینه‌های ریسک‌های ناشی از تغییر اقلیم، از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و نرم‌افزار Expert Choice بهره‌گیری شد. بدین منظور ساختار سلسله مراتبی ریسک‌های مطرح برای تالاب با توجه به شاخص‌های احتمال وقوع، شدت اثر و دامنه اثر تهیه و معیارها و گزینه‌های ریسک وزن‌دهی شد.

جدول ۱۸- اولویت‌بندی عوامل ریسک‌های اکولوژیکی ناشی از تغییر اقلیم سه تالاب به روش AHP

Table 18 - Prioritization of ecological risk factors resulting from climate change in three wetlands using the AHP method

ردیف	ریسک	Risk	وزن Weight
1	خشکسالی/وقوع کم آبی	Drought/water steress	0.20
2	رسوب و پر شدن	Sedimentation and filling	0.15
3	افزایش تبخیر و تعرق	Increased evapotranspiration	0.14
4	از دست رفتن ذخایر ژنتیک	Loss of genetic resources	0.11
5	از بین رفتن زیستگاه	Habitat loss	0.095
6	شور شدن آب تالاب	Wetland salinization	0.090
7	تغییر در جریان رژیم	Change in flow regime	0.068
8	فرسایش خاک	Soil erosion	0.047
9	افزایش آلاینده‌های زنده و غیر زنده	Increase in biotic and abiotic pollutants	0.044
10	سیل	Flooding	0.031



شکل ۱۶- محاسبه میزان ریسک‌های ناشی از تغییر اقلیم در تالاب‌های آلاگل، آجی‌گل و آلمگل

Fig. 16. Calculating the risks from climate change in Alagol, Ajigol and Almagol wetlands

شناسایی ریسک‌های اقلیمی تالاب‌های آجی گل، آلاگل و آلاگل

ریسک‌های اقلیمی به احتمال رخداد خطر یا نتایج از دست رفتن قابل انتظار تعامل خطرات اقلیمی در شرایط آسیب پذیر اشاره دارد. خطرات اقلیمی به پتانسیل تخریب حوادث هیدرومتروئولوژیکی یا پدیده اشاره دارد که می‌تواند توسط مکان، شدت، فراوانی، مدت و احتمال وقوع مشخص می‌گردد. برای این هدف، حوادث با شروع و اتمام قابل شناسایی، مانند دما و قابل ملاحظه هستند. خطرات، تهدیدات و استرس‌های ناشی از تغییر اقلیم بر تالاب‌های آجی گل، آلاگل و آلاگل با توجه به شرایط اکولوژیکی تالاب‌ها از طریق بازدیدهای میدانی، مصاحبه با کارشناسان و مطالعات مشابه مورد بررسی قرار گرفتند که ۱۰ ریسک مهم شناسایی گردید. می‌توان بیان کرد که تمامی این ریسک‌ها از پیش وجود داشته و در شرایط تغییر اقلیم تشدید می‌گردند. بر طبق نتایج از حاصل اولویت‌بندی عوامل ریسک به کمک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (جدول ۱۸) و (شکل ۱۶) خشکسالی، رسوب و پر شدن، افزایش تبخیر و تعرق بیشترین وزن را به خود اختصاص دادند. در جدول ۱۹ ریسک‌های اکولوژیکی شناسایی و میزان ریسک وزن‌دار شده، آورده شده است.

جدول ۱۹- ریسک‌های اکولوژیکی ناشی از تغییر اقلیم در تالاب‌های مورد مطالعه بر اساس میزان ریسک وزن‌دار

Table 19- Ecological risks caused by climate change in the studied wetlands based on the weighted risk level

ردیف	وضع موجود Existing condition	وزن Weight	حاصل ضرب Product	A1B	وزن Weight	حاصل ضرب Product	B1	وزن Weight	حاصل ضرب Product	A2	وزن Weight	حاصل ضرب Product
فرسایش خاک Soil erosion	96	0.04	4.51	96	0.47	4.512	144	0.47	7.76	192	0.47	9.02
شور شدن تالاب Wetland salinization	192	0.09	17.28	192	0.90	17.28	288	0.90	92.25	384	0.90	34.56
از دست رفتن ذخایر ژنتیک Loss of genetic resources	144	0.11	16.70	216	0.11	25.05	288	0.166	33.40	288	0.11	33.40
افزایش آلاینده‌های زنده و غیرزنده Increase in biotic and abiotic pollutants	144	0.04	6.33	144	0.44	63.36	216	0.44	95.04	216	0.04	95.04
افزایش تبخیر و تعرق Increase in evapotranspiration	216	0.14	31.53	288	0.14	42.03	288	0.14	42.04	360	0.14	52.56
رسوب و پر شدن Sedimentation and filling	192	0.15	30.52	288	0.15	45.97	384	0.15	61.05	480	0.15	76.32
از بین رفتن زیستگاه Habitat loss	288	0.90	27.36	384	0.95	36.48	288	0.95	27.36	360	0.95	34.20
تغییر در جریان رژیم Change in flow regime	288	0.06	19.58	384	0.68	26.11	384	0.68	26.11	480	0.64	32.64
خشکسالی/ وقوع کم آبی Drought/water stress	480	0.20	97.92	640	0.20	130.56	800	0.20	163.20	800	0.20	163.20
سیل Flooding	16	0.03	4.96	8	0.31	2.48	4	0.31	1.24	1	0.31	0.31

جدول ۲۰- اولویت‌بندی ریسک‌های اکولوژیکی ناشی از تغییر اقلیم بر اساس میزان ریسک وزن‌دار شده

Table 20 - Prioritization of ecological risks from climate change based on weighted risk

طبقه ریسک Risk Class	اولویت ریسک Risk Priority	حاصلضرب Product	وزن Weight	وضع موجود RPN	
کم Low	10	4.51	0.047	96	فرسایش خاک Soil erosion
کم Low	6	17.28	0.090	192	شور شدن آب تالاب Wetland salinization
کم Low	7	16.70	0.116	144	از دست رفتن ذخایر ژنتیک Loss of genetic resources
زیاد High	8	6.33	0.044	144	افزایش آلاینده‌های زنده و غیر زنده Increase in biotic and abiotic pollutants
متوسط Average	2	31.53	0.146	216	افزایش تبخیر و تعرق Increase in evapotranspiration
متوسط Average	3	30.52	0.159	192	رسوب و پر شدن Sedimentation and filling
متوسط Average	4	27.36	0.095	288	از بین رفتن زیستگاه Loss of genetic resources
متوسط Average	5	19.58	0.068	288	تغییر در جریان رژیم Change in flow regime
خیلی زیاد Very high	1	97.93	0.204	480	خشکسالی/ وقوع کم آبی Drought/water steress
کم Low	9	4.96	0.031	16	سیل Flooding

نتایج حاصل از اولویت‌بندی ریسک‌ها جدول ۲۰ نشان می‌دهد که مهم‌ترین ریسک‌های تهدید کننده این تالاب‌ها ناشی از تغییرات اقلیمی شامل: خشکسالی، وقوع کم آبی، افزایش تبخیر و تعرق، رسوب و پر شدن و از بین رفتن زیستگاه می‌باشد. با توجه به اینکه سطح مهم‌ترین ریسک‌ها در طبقه‌بندی زیاد، متوسط می‌باشد، براساس اصل ALARP باید نسبت به کنترل، حذف یا کاهش ریسک‌ها اقدام نمود (جدول ۲۱). ریسک‌هایی که دارای احتمال وقوع، شدت اثر و دامنه اثر بیشتری هستند، بیشتر از لحاظ اقدامات کنترلی مورد توجه قرار گیرند. این بدان معنی نیست که سایر ریسک‌ها دارای مقدار کمتری هستند، از این الزامات کنترلی بی‌نیاز می‌باشند. چرا که امتیاز نهایی این ریسک‌ها از تلفیق این ۳ شاخص به وجود آمده است

جدول ۲۱- برنامه مدیریت ریسک‌های محیط زیستی ناشی از تغییر اقلیم در تالاب‌های مورد مطالعه

Table 21- Environmental risk management plan due to climate change in the studied wetlands

راهکارهای مدیریتی Management solutions	سطوح ریسک Risk levels		ریسک‌های محیط زیستی Environmental risks
	اولویت ریسک Risk priority	طبقه Class	
طراحی شبکه پایش خشکسالی در حوضه آبریز Designing a drought monitoring network in the watershed	1	خیلی زیاد Very high	خشکسالی/ وقوع کم آبی Drought/water stress
محاسبه و تخصیص حق آبه زیست محیطی تالاب‌ها Calculation and allocation of environmental water rights for wetland			
کاشتن درخت و درختچه برای ایجاد سایه Planting trees and shrubs to create shade	2	متوسط Average	افزایش تبخیر و تعرق Increase in Evapotranspiration
جلوگیری از تخریب پوشش گیاهی موجود در نه‌رها و جویبارهای منتهی به تالاب Preventing the degradation of vegetation in streams and brooks leading to the wetland.			
جلوگیری از جنگل‌زدایی و حفاظت خاک در بالادست تالاب Preventing deforestation and protecting soil upstream of the wetland	3	متوسط Average	رسوب و پر شدن Sedimentation and filling
تخلیه رسوبات با در نظر گرفتن کلیه آیتم‌های زیستی و زیستگاهی Discharge of sediments, taking into account all biological and habitat items.			
اجتناب یا به حداقل رساندن اختلال در مناطق تالابی مشخص Avoid or minimize disturbance to designated wetland are	4	متوسط Average	از بین رفتن زیستگاه Habitat loss
تخصیص حداقل حق آبه مورد نیاز برای تالاب Allocation of the minimum required water rights for the wetland			
محدود کردن بهره برداری غیرمجاز از منابع آبی، بخصوص در دوره های خشکسالی Limiting unauthorized exploitation of water resources, especially during periods of drought.	5	متوسط Average	تغییر در جریان رژیم Change in flow regime
معرفی گیاهان شور پسند Introduction to salt-loving plants			
انتقال زهاب‌های شور مجتمع‌های کشت و صنعت به عمق ۶ متری Transferring saline drainage from agricultural and industrial complexes to a depth of 6 meters	6	کم Low	شور شدن آب تالاب Wetland salinization
جلوگیری از ورود انواع فاضلاب‌های صنعتی، شهری و کشاورزی Preventing the entry of all types of industrial, urban and agricultural wastewater	7	کم Low	از دست رفتن ذخایر ژنتیک Loss of genetic resources
جلوگیری از ورود انواع آلودگی‌ها به آب تالاب و جلوگیری از تصرف و تغییر کاربری از طریق تعیین حریم و علامت‌گذاری محدوده تالاب Preventing all types of pollution from entering the wetland water and preventing occupation and change of use by determining the boundaries and marking the wetland area.	8	کم Low	افزایش آلاینده‌های زنده و غیر زنده Increase in biotic and abiotic
شناسایی نقاط حساس و بکارگیری روش‌های مدیریتی ساده و کاربردی بخصوص جهت پیش بینی سیل Identifying sensitive points and applying simple and practical management methods, especially for flood prediction.	9	کم Low	سیل Flooding
بررسی دوره‌های بازگشت سیل در حوضه Investigating flood return periods in the basin			
تشویق به جنگل‌کاری و/یا فعالیت‌های حفاظت از خاک در مناطق بالادست Encourage afforestation and/or soil conservation activities in upstream areas	10	کم Low	فرسایش خاک Soil erosion

نتیجه‌گیری

تغییرات آینده بر اساس سناریوهای اقلیمی و نتایج حاصل از خروجی‌های مدل گردش عمومی جو حاکی از افزایش دمای حداکثر و دمای حداقل در تمام ماه‌های سال است. اما به طور کلی بارش متوسط در اغلب ماه‌ها روند و الگوی منظمی نداشته و آزمون‌های همگنی نیز این موضوع را تأیید کردند. به همین خاطر نمی‌توان به طور قطع در مورد تغییرات پارامتر بارش اظهار نظر کرد. سری‌های بارش در ایستگاه اینچه‌برون با روند کاهش تقریبی همراه بود. نتایج حاصل از اولویت‌بندی ریسک‌ها نشان می‌دهد که مهم‌ترین ریسک‌های تهدید کننده تالاب‌های آلاگل، آجی‌گل و آلاگل ناشی از تغییرات اقلیمی به ترتیب اولویت خشکسالی/وقوع کم آبی، افزایش تبخیر و تعرق، رسوب و پر شدن و از بین رفتن زیستگاه می‌باشد.

با توجه به طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در طی سال ۲۰۰۱ مساحت تالاب آلاگل ۱۹۲۲/۳۰ هکتار بوده است. تالاب‌های آلاگل و آجی‌گل با ۱۰۳/۹۰ و ۷۳ هکتار در رده‌های بعدی قرار دارند. در سال ۲۰۱۱ نیز مساحت تالاب آلاگل با کاهش تقریباً ۱۶۵ هکتاری نسبت به دوره قبل به ۱۷۵۸ هکتار و تالاب آجی‌گل با کاهش ۲۸ هکتاری به ۴۵ هکتار رسیده است. در صورتی تالاب آلاگل با افزایش حدوداً ۱۱۵ هکتاری به ۲۱۷ هکتار در این سال رسیده است. همچنین در سال ۲۰۲۰ مساحت تالاب آلاگل با کاهش تقریباً ۶۳۰ هکتاری نسبت به ماقبل خود به ۱۱۳۰/۱۵ هکتار می‌رسد. تالاب‌های آلاگل و آجی‌گل به ترتیب با مساحت ۱۳۷/۳۰ هکتار و ۳۶/۸۰ هکتار از سطح تالاب‌ها را به خود اختصاص دادند. در سال ۲۰۳۵ نیز مساحت تالاب‌های آلاگل، آلاگل و آجی به ترتیب به ۱۷۴۷/۵۰ هکتار، ۱۰۲/۳۰ هکتار و ۳۳/۹۰ هکتار خواهد رسید که نشان دهنده کاهش در تالاب‌های آلاگل و آجی‌گل است البته در تالاب آلاگل وضعیت کمی فرق می‌کند و افزایش را نشان می‌دهد به طوری که این افزایش نسبت به دوره‌های قبل است ولی بطوری کلی از میزان وسعت آن در دوره مطالعه کاسته شده است.

پیش‌بینی نقشه‌های کاربری اراضی برای ۱۵ سال آینده از منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که در طی سال ۲۰۳۵ کاربری زمین‌های شور ۱۳۳۴۶/۵۵ هکتار (۶۳ درصد) خواهد بود. سایر کاربری‌ها نیز به ترتیب کاربری پوشش گیاهی با ۵۶۰۱/۷۸ هکتار (۲۶/۴ درصد) و کاربری سطوح آبی با ۲۲۶۵/۷۵ هکتار (۱۰/۶ درصد) در رده‌های بعدی قرار دارند که این نشان دهنده کاهش سطح آبی و افزایش سطح شوره‌زار نشان از وقوع خشکسالی و کاهش میزان بارش در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

نتایج این معیارها برای پارامتر بارش، بالا محاسبه شد که نشان دهنده عملکرد نامناسب مدل برای شبیه‌سازی داده‌های بارش است و علت آن می‌تواند ناشی از تغییرپذیری زیاد داده‌های بارش در بعضی از ماه‌ها باشد. همچنین در ماه‌های خشکسالی (خرداد، تیر، مرداد، شهریور) در حوضه مطالعاتی بارندگی بسیار کم و در حد چند میلی‌متر بوده که می‌تواند در عملکرد مدل برای پیش‌بینی بارش خطا ایجاد کند. نتایج این تحقیق در قسمت مدل‌سازی و سناریوهای اقلیمی (Hadcm3 و سناریوهای A2, A1B1, B2 و LARS-WG) با تحقیقات آرخی و همکاران (Arekhi et al., 2024)، پناهی و همکاران (Panahi et al., 2023) و کرمی و همکاران (Karami et al., 2022) و همچنین در قسمت ارزیابی و تحلیل ریسک‌های زیست محیطی تالاب‌ها با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره با تحقیقات جعفری‌آذر و همکاران (Jafariazar et al., 2019) و جعفری‌آذر و همکاران (Jafariazar et al., 2017) مطابقت دارد.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ گونه تضاد منافی با افراد دیگری ندارند.

حامی مالی

این اثر حامی مالی نداشته است.

سپاسگزاری

نویسندگان بدین وسیله از همه کسانی که به نوعی در انجام این پژوهش یاری رسانده‌اند، قدردانی می‌نمایند.

References

- Aghashahi, M., Ardestani, M., & Fahmi, H. (2013). *Climate Change in Lake Urmia*. Master's thesis, University of Tehran, Faculty of Environment. [In Persian]
- Alizadeh, A. (2010). *Principles of Applied Hydrology* (7th ed.). Mashhad: Astan Quds Razavi Publications. [In Persian]
- Arekhi, S., Gerkaz, S., & Emadadin, S. (2024). Zoning of flood risk under the influence of climate change using the SWAT hydrological model in a GIS environment (Case study: Gharesu watershed, Golestan province). *Climate Change Research*, 4(14), 1-26. [In Persian] <https://doi.org/10.30488/ccr.2023.394308.1127>
- Brooks, R. T. (2009). Potential impacts of global climate change on the hydrology and ecology of ephemeral freshwater systems of the forests of the northeastern United States. *Climate Change*, 95(3), 469-483. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-008-9531-9>
- Bussi, G., Whitehead, P., Thomas, A., Masante, D., Jones, L., Cosby, J., ... & Prosser, H. (2017). Climate and land-use change impact on faecal indicator bacteria in a temperate maritime catchment (the River Conwy, Wales). *Journal of Hydrology*, 553, 248-261. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.08.011>
- Chen, H., Xu, C. Y., & Guo, S. (2012). Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical downscaling and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff. *Journal of Hydrology*, 434, 36-45. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.02.040>
- Golestan Province Meteorological Organization. (2019). Statistics and data from meteorological stations. [In Persian]
- Gordon, C., Cooper, C., Senior, C. A., Banks, H., Gregory, J. M., Johns, T. C., ... & Wood, R. A. (2000). The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Climate Dynamics*, 16, 147-168. <https://doi.org/10.1007/s003820050010>
- Griggs, D. J., & Noguer, M. (2002). Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. *Weather*, 57(8), 267-269. <https://doi.org/10.1256/004316502320517344>
- Hajivandpaydari, S., Yazdanpanah, H., & Andarzian, S. B. (2022). Investigation of regional effects of climate change phenomenon in the north of Khuzestan province using HadCM3 model under LARS-WG exponential comparison in the statistical period of 2030-2010 and 2050-2030. *Geography and Human Relationships*, 5(1), 299-314. [In Persian] <https://doi.org/10.22034/gahr.2022.330821.1669>
- Heller, N. E., & Zavaleta, E. S. (2009). Biodiversity Management in the Face of Climate Change: A Review of 22 Years of Recommendations. *Biological Conservation*, 142, 14-32. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.10.006>
- Jafariazar, S., Sabzghabaei, G. R., Tavakoly, M., & Dashti, S. (2019). Assessment and Management of environmental risk of Salty, Sweet and Minab Rivers International Wetlands on the basis of multi-criteria decision-making methods. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 5(4), 65-88. <http://dx.doi.org/10.29252/jsaeh.5.4.65>

- Jafariazar, S., Sabzghabaei, G. R., Tavakoly, M., & Dashti, S. S. (2017). Assessment and Analysis of Khur-e-khuran International Wetland Environmental Risks Using Multi-Criteria Decision-Making Methods. *Irrigation Sciences and Engineering*, 40(3), 63-75. [In Persian] <https://doi.org/10.22055/jise.2017.13262>
- Karami, R., Rezaei, H., Salman Mahini, A., & Ghorbani, K. (2022). Climate Change Assessment in the basin of Hamoon International Wetlands Using LARS-WG6 Model. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 11(31), 107-122. [In Persian] <https://doi.org/10.22111/jneh.2021.36069.1710>
- Khalyani, A. H., Gould, W. A., Harmsen, E., Terando, A., Quinones, M., & Collazo, J. A. (2016). Climate change implications for tropical islands: Interpolating and interpreting statistically downscaled GCM projections for management and planning. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 55(2), 265-282. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-15-0182.1>
- Kim, J., Choi, J., Choi, C., & Park, S. (2013). Impacts of changes in climate and land use/land cover under IPCC RCP scenarios on streamflow in the Hoeya River Basin, Korea. *Science of the Total Environment*, 452, 181-195. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.02.005>
- Kim, K. G., Lee, H., & Lee, D. H. (2011). Wetland restoration to enhance biodiversity in urban areas: a comparative analysis. *Landscape and Ecological Engineering*, 7, 27-32. <https://doi.org/10.1007/s11355-010-0144-x>
- Lemly, A. D. (1997). Risk assessment as an environmental management tool: considerations for freshwater wetlands. *Environmental Management*, 21(3), 343-358. <https://doi.org/10.1007/s002679900034>
- Malekmohammadi, B., & Blouchi, L. R. (2014). Ecological risk assessment of wetland ecosystems using multi criteria decision making and geographic information system. *Ecological Indicators*, 41, 133-144. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.01.038>
- Malekmohammadi, B., Blouchi, L. R., Ghehi, N. K., & Shakib, F. J. (2015). Investigating the Effects of Climate Change on Wetlands Using Risk Assessment and Remote Sensing (Case Study: Choghakhor Wetland, Iran). Paper presented at the US-Iran Symposium on Climate Change: Impacts and Mitigations, California.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. Paper presented at the Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology (pp. 179-183).
- Mehdinasab, M., & Bagherzadeh Karimi, M. (2020). Environmental Risk Assessment of Poldokhtar Wetlands Based on Model EFMEA. *Environment and Interdisciplinary Development*, 5(69), 27-36. [In Persian] <https://doi.org/10.22034/envj.2020.181306>
- Panahi, A. P., Janbaz Ghobadi, G., Motavalli, S., & Khaledi, S. (2024). Investigating climate change and transformation of natural components with emphasis on floods (Case study: Gorganrood watershed). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(3), 184-213. [In Persian] <https://doi.org/10.22067/geoe.2023.84657.1419>
- Panahi, A., Janbaz Ghobadi, G., Motavalli, S., & Khaledi, S. (2023). Measuring and predicting flood potential under climate change conditions (case study: Gorganrood watershed). *Geographical Studies of Coastal Areas Journal*, 4(2), 45-61. [In Persian] <https://doi.org/10.22124/gscj.2023.22411.1172>

- Rahimi Blouchi, L., & Malekmohammadi, B. (2013). Environmental Risk Assessment of Shadegan International Wetland Based on Ecological Indicators. *Journal of Environmental Studies*, 39(1), 101-112. [In Persian] <https://doi.org/10.22059/jes.2013.30394>
- Ramsar Convention Secretariat. (2007). *Ramsar Handbooks for the Wise Use of Wetlands* (3rd ed.). Ramsar Convention Secretariat: Gland, Switzerland. <https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/references/wise-use-of-wetlands-ramsar-2007.pdf>
- Semenov, M. A., Brooks, R. J., Barrow, E. M., & Richardson, C. W. (1998). Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate Research*, 10(2), 95-107. <http://dx.doi.org/10.3354/cr010095>
- UNDP. (2013). National Environment Council for Sustainable Development. Sustainable Wetland Management in the Face of Climate Risks in Niger: The Case of La Mare de Tabalak, International Institute for Sustainable Development (IISD).
- Ziaee, N., Ownegh, M., Asgari, H. R., Massah Bavani, A. R., Salman Mahini, A., & Hoseinalizadeh, M. (2019). Forecasting future climate variables using HadCM3 model and climate scenarios, case study: selected synoptic stations of Hableh Roud Basin. *Watershed Engineering and Management*, 11(3), 771-783. [In Persian] <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2017.110512.1298>

