14(2) 231-240, Summer 2022

Journal of Animal Environment
(AEJ)
Journal homepage: http://www.aejournal.ir

Original Research Paper

Investigation of water change trends in Hamoun International Wetland and its effect on waterfowl habitats

Mohaddeseh Mir, Saeedeh Maleki *, Vahid Rahdari

Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Zabol University, Zabol, Iran

Key Words
Hamoun Wetland
Water resources
Waterbird habitat
Maximum Enthropy

Abstract

Introduction: Wetlands are valuable ecosystems for biodiversity conservation that have higher importance in arid area to provide water resource. The purpose of this study is to investigate the trend of changes in water resources in Hamoun and its effects on the habitat of waterfowls and shorebirds.

Materials & Methods: In this regard, using satellite images, the water body map has been created and the changes of water category in 1990, 2002, 2015 and 2020 have been studied. The habitat map of waterfowls and shorebirds has been obtained by Maxent during the study period.

Results: The results showed that in 1977, the water area was about 321,056.8 hectares, which has provided 301,594.9 hectares of habitat for waterfowls. But in 2002, due to the lack of water resources in the wetland completely dried up, the habitat of birds has been completely degraded. In 2015 and 2020, although the whole wetland was not flooded and part of the wetland was flooded about 81,000 and 190,000 hectares, respectively, but has provided 50,000 and 83,000 hectares of habitat, respectively. The results of this study confirmed the importance of water resources on habitats.

Conclusion: The results of this study have spatially identified areas that can provide habitat factors during water scarcity. The results of this study, in addition to the scientific expression of the importance of wetland conservation, are also applicable in the managerial decisions of the region.

* Corresponding Author's email: smaleki@uoz.ac.ir
Received: 21 April 2021; Reviewed: 28 May 2021; Revised: 23 July 2021; Accepted: 26 August 2021
(DOI): 10.22034/AEJ.2021.294373.2578

مقاله پژوهشی

بررسی تغییرات زیستگاه پرندگان آبزی و کنار آبزی تالاب هامون در ارتباط با تغییرات منابع آبی

محدثه میر، سعیده ملکی، وحید راهداری*

گروه علوم و مهندسی محیط زیست،دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

کلمات کلیدی

تالاب هامون
منابع آب
زیستگاه پرندگان آبزی و کنارآبزی
حداکثر آنتروپی

چکیده

مقدمه: تالاب‌ها بوم‌سازگان‌های ارزشمندی برای حفظ تنوع زیستی می‌باشند که در مناطق خشک با فراهم آوردن منابع آبی از اهمیت بیش‌تری برخوردار هستند. در این مطالعه روند تغییرات پهنه آبی تالاب هامون در ارتباط با تغییرات وسعت زیستگاه پرندگان آبزی و کنار آبزی بررسی شد.

مواد و روش‌ها: تغییرات سطح پهنه آبی در سال‌های ۱۳۵٦، ۱۳۷۹، ۱۳۹٤ و ۱۳۹۹ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مشخص شد. با استفاده از روش حداکثرآنتروپی و مدل خطی–وزنی نقشه مناطق مطلوب زیستگاه پرندگان آبزی و کنارآبزی در سال‌های مورد مطالعه به‌دست آمد. سپس تغییرات پهنه آبی در ارتباط با تغییرات مساحت زیستگاه مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج: نتایج نشان داد در سال ۱۳۵٦ سطح پهنه آبی در حدود ۳۲۱۰۵٦/۸ هکتار بوده است که باعث تامین ۳۰۱۵۹٤/۹ هکتار زیستگاه برای پرندگان آبزی و کنارآبزی شده است. اما سال ۱۳۷۹ که به‌علت عدم وجود منابع آبی تالاب کاملاً خشک شده زیستگاه پرندگان به‌طورکلی از بین رفته است. در سال‌های ۱۳۹٤ و ۱۳۹۹ اگرچه تالاب کامل آبگیری نشده و به‌ترتیب بخشی از تالاب در حدود ۸۱۰۰۰ و ۱۹۰۰۰۰ هکتار آبگیری شده اما به‌ترتیب باعث تامین ۵۰۰۰۰ و ۸۳۰۰۰ هکتار زیستگاه شده است.

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه مناطقی که در دوران محدودیت آبگیری امکان تامین فاکتورهای زیستگاهی دارند را به‌صورت مکانی مشخص کرده است. نتایج به‌دست آمده از این مطالعه علاوه بر بیان علمی اهمیت حفظ تالاب‌ها، در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی منطقه نیز کاربردی هست.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: smaleki@uoz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱ اردیبهشت ۱٤۰۰؛ تاریخ داوری: ۷ خرداد ۱٤۰۰؛ تاریخ اصلاح: ۱ مرداد ۱٤۰۰؛ تاریخ پذیرش: ٤ شهریور ۱٤۰۰
(DOI): 10.22034/AEJ.2021.294373.2578

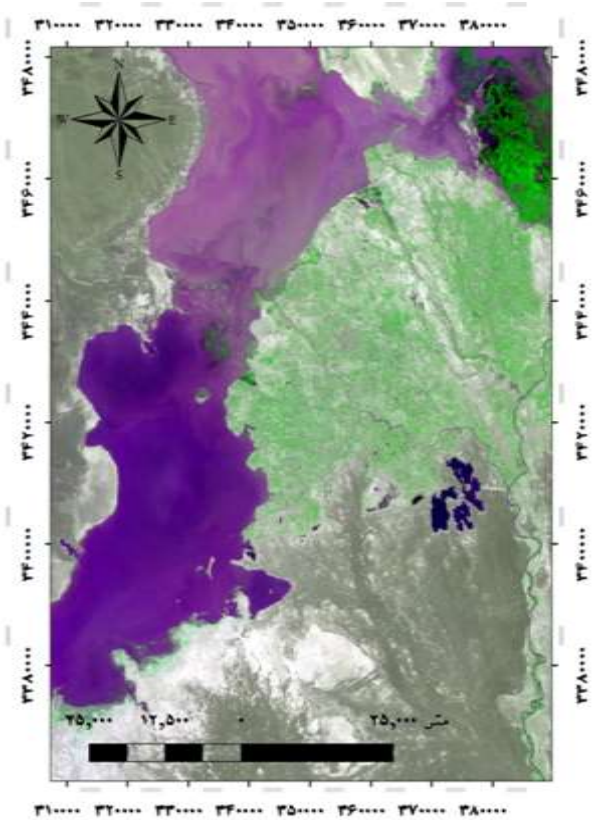
مقدمه

تالاب‌ها از جمله بوم‌سازگان‌های مهم و بسیار شکننده هستند. این بوم‌سازگان‌ها بر مبنای ویژگی‌های منحصر به فردی که دارا می‌باشند از مهم‌ترین زیستگاه‌های پرندگان و جانوران محسوب می‌گردند. (۱۷). در سال‌های اخیر یکی از عوامل تغییرات زیستگاهی، تغییرات منابع آبی بوده است و این امر سبب تغییرات شدیدی در جمعیت پرندگان آبزی شده‌است (۱۰). کمبود منابع آبی در تالاب‌ها، خشکسالی و از بین رفتن پوشش گیاهی باعث تخریب گسترده زیستگاه پرندگان در مناطق خشک و نیمه‌خشک شده است. لذا پایش منابع آبی جهت بررسی تغییرات و برنامه‌ریزی صحیح برای جلوگیری از گسترش خشکسالی و تخریب در بوم‌سازگان‌های طبیعی حائز اهمیت می‌باشد (۱۸). بررسی روند تغییرات منابع آبی تالاب در حفاظت از عملکرد تالاب بسیار اهمیت دارد و اثر مهمی بر برقراری تعادل نیازهای بوم سازگان‌های آبی و مدیریت آب، دارد (۱۶، ۳۸). از آن‌جایی که پرندگان آبزی و کنارآبزی وابستگی بوم‌شناختی به تالاب‌ها دارند و هر گونه تغییر در تالاب‌ها بر این زیستگاه‌ها اثر می‌گذارد، زیستگاه این پرندگان در تالاب‌ها یک شاخص مهم برای بررسی اثرات تغییرات ایجاد شده در این بوم‌سازگان‌ها می‌باشد (۷). ازجمله فاکتورهای مهم زیستگاه‌های مطلوب، منابع آبی، غذا، امنیت، میزان دسترسی، پوشش گیاهی، سیمای طبیعی می‌باشد که تمامی این موارد بستگی به منابع آبی دارند. در صورت کمبود منابع آبی سایر خدمات تالاب‌ها نیز دچار محدودیت می‌شوند و زیستگاه پرندگان مطلوبیت خود را از دست می‌دهد (۴). برای بررسی تغییرات ایجاد شده در زیستگاه پرندگان می‌توان مدل‌سازی زیستگاه انجام داد. روش‌های متفاوتی برای مدل‌سازی زیستگاه وجود دارد (۲۸). روش حداکثر آنتروپی یکی از روش‌های فراگیر ماشینی است که داده‌های زیادی لازم ندارد. در این روش با استفاده از داده‌های حضور گونه‌ها و لایه‌های فاکتورهای بوم‌شناسی، مناطق مطلوب زیستگاهی به‌صورت یک نقشه پیش‌بینی پراکنش گونه مشخص می‌شود (۴۱). به‌منظور تهیه نقشه فاکتورهای بوم‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دور در کنار مطالعات صحرایی کاربرد بسیاری دارد (۱۴، ۲۷). از مهم‌ترین مزیت‌های داده‌های سنجش از دور می‌توان به تصویربرداری‌های مکرر در زمان‌های کوتاه‌مدت، وسیع بودن سطح منطقه برداشت تصویر، تفکیک طیفی و زمانی دقیق داده‌ها و به روز بودن داده‌ها اشاره کرد با توجه به این شرایط سنجش از دور ابزاری مناسب برای بررسی تغییرات ایجاد شده در کاربری‌های متفاوت از جمله آب، می‌باشد (۲۱). طی سال‌های گذشته تحقیقات بسیاری در زمینه مدل‌سازی زیستگاه و هم‌چنین تغییرات تالاب‌ها انجام شده است. در مطالعه‌ای، نقش دریاچه هامون را در زمان پرآبی و خشکسالی بررسی کردند. طی این تحقیق با مطالعه روند تغییرات منابع آبی در زمان‌های متفاوت تالاب هامون نتیجه گرفتند این تالاب در مدت ۳۰ سال ۹ بار با خشکسالی مواجه بوده است و شرایط بوم‌شناسی تالاب به‌شدت تحت اثرات منفی کمبود منابع آبی قرار گرفته است (۲۹). محققان، تغییرات تالاب هامون را طی سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۸ بررسی کردند. در این تحقیق تغییرات کاربری پوشش اراضی پناهگاه حیات وحش را مورد بررسی قرار داده و اثرات خشکسالی را در این منطقه نشان دادند (۳۱). هم‌چنین در بررسی تالاب جازموریان، استفاده از سنجش از دور را برای بررسی بوم‌سازگان‌های طبیعی روشی دقیق و ارزشمند معرفی کرده است (۳۲). در دشت گیلان‌غرب نیز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، تغییرات منابع آبی را که در اثر کاربری‌های اراضی ایجاد شده است را بررسی کردند و نتیجه گرفتند در اثر جایگزینی کاربری مرتع با کاربری‌های کشاورزی، کاربری آب و اراضی بایر، سبب افت منابع آبی شده است (۲۶). در مطالعه دیگری، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست تغییرات کاربری اراضی را در شهر پکن بررسی کردند، نتایج تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد کاربری‌های آب، کشاورزی، جنگل و باغبانی کاهش و کاربری شهری افزایش یافته است (۴۲). کمیت و کیفیت منابع آبی حوضه آبخیز دریاچه زیبار نیز، را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سامانه اطلاعات جغرافیایی بررسی کردند و نتیجه گرفتند تغییر کاربری جنگل به کاربری کشاورزی بیش‌ترین اثر را بر کیفیت و کمیت منابع آبی داشته است (۳۵). نیز در مطالعه‌ای نوسانات آبی تالاب هامون را نیز در دروه زمانی ۱۹۷۲ تا ۲۰۰۷ بررسی کرده و اثر آن را بر پرندگان آبزی ارتباط دادند و نتیجه گرفتند تعداد و تنوع پرندگان آبزی در ارتباط با عمق و مساحت تالاب تغییر می‌کند به گونه‌ای که کاهش عمق و مساحت پهنه آبی تالاب سبب کاهش تنوع و تعداد پرندگان آبزی می‌شود (۲). هم‌چنین محققان، زیستگاه‌های مطلوب پرندگان آبزی و کنارآبزی در تالاب هامون را با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی بررسی کردند و نتیجه گرفتند بخش‌های آبی تالاب که با گیاه پوشیده شده است مناسب‌ترین زیستگاه‌ها برای پرندگان آبزی و کنارآبزی می‌باشد این مناطق شامل جنوب هامون صابری و قسمت‌هایی از هامون هیرمند بوده است (۱۹). زیستگاه مطلوب اردک مرمری را نیز در تالاب شادگان به‌روش حداکثر آنتروپی بررسی کردند و مهم‌ترین متغییر در تعیین مطلوبیت زیستگاه این گونه در معرض انقراض را مشخص کردند (۳۳). هم‌چنین، مطلوبیت زیستگاه را با استفاده از روش حداکثر آنتروپی در منطقه حفاظت شده باغ شادی استان یزد بررسی کردند. طبق نتایج به‌دست آمده نشان دادند با استفاده از روش حداکثر آنتروپی علاوه بر پیش‌بینی توزیع مکانی گونه، امکان یافتن نواحی جدید مطلوب برای زیست گونه فراهم می‌شود (۲۲). زیستگاه

پرندگان آبزی و مهاجر را نیز بررسی کردند برای این‌کار علاوه بر مدل‌سازی زیستگاه تغییرات پارامترهای اقلیمی ازجمله بارندگی و دما را بررسی کردند. نتایج نشان‌داد میزان آب در منطقه مورد مطالعه بسیار کاهش یافته است و این امر بر زیستگاه پرندگان اثرگذار بوده است و سبب محدود شدن زیستگاه پرندگان شده است (۳). تالاب هامون منبع آبی مهمی برای حفظ حیات بسیاری از گونه‌های پرندگان بومی و مهاجر در یک بوم‌سازگان خشک می‌باشد. این تالاب ازجمله بوم‌سازگان‌هایی است که از ناپایدارترین پهنه‌های آبی دنیا محسوب می‌شود و منابع آبی آن از سالی به سال دیگر تغییرات زیادی دارد. این نوسانات آبی بر تمامی خدمات تالاب ازجمله زیستگاه پرندگان که در اثر کمبود منابع آبی مطلوبیت خود را از دست می‌دهند اثر منفی برجای می‌گذارد (۱۵). بنابراین در تحقیق حاضر به‌منظور کمی سازی ارتباط تغییرات پهنه آبی و زیستگاه پرندگان در یک منطقه خشک، تغییرات پهنه آبی تالاب هامون و اثرات آن بر زیستگاه پرندگان آبزی و کنار آبزی مورد بررسی قرار گرفت. بدین‌منظور ابتدا تغییرات سطح پهنه آبی در سال‌های مختلف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مشخص شد و پس از تعیین زیستگاه پرندگان آبزی در سال‌های مورد نظر با استفاده از روش حداکثر آنتروپی و مدل خطی-وزنی، مناطق مطلوب برای زیستگاه پرندگان تعیین و بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه بخش‌های ایرانی تالاب بین‌المللی هامون می‌باشد که در منطقه کویری و بیابانی شرق ایران در استان سیستان و بلوچستان در دشت سیستان واقع شده است. تالاب هامون یکی از مهم‌ترین تالاب‌های دنیا می‌باشد و در دشت سیستان اهمیت فراوانی دارد. زیرا این تالاب تنها منبع تامین آب در منطقه می‌باشد (۸). تالاب هامون مساحتی حدود ۵۷۰۰ کیلومتر مربع و عمق ۱ تا ۵ متر دارد و دارای مختصات ۳۰ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ۶۱ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی می‌باشد (۱۸). تالاب هامون از سه بخش صابری، هیرمند و پوزک تشکیل شده است که در زمان پرآبی به یکدیگر می‌پیوندند و تالاب هامون را تشکیل می‌دهند. منبع اصلی آب دشت سیستان از رودخانه هیرمند تامین می‌شود. این رودخانه در مرز شرقی ایران قرار دارد و از کشور افغانستان وارد سیستان می‌شود و تالاب هامون را آبگیری می‌کند. این تالاب تنها منبع آب در دشت سیستان است که علاوه بر اهمیت این تالاب برای زندگی اقتصادی و اجتماعی ساکنین منطقه، در زیست بسیاری از جانوران و پرندگان نیز نقش بسیار مهمی دارد (۳۷). در زمان پر آبی این تالاب، پرندگان بسیاری برای تخم‌گذاری و تولیدمثل به تالاب هامون مهاجرت می‌کرده‌اند به گونه‌ای که تالاب هامون زیستگاهی امن با شرایط زیستی خوب برای پرندگان فراهم می‌کرده است. شکل ۱ نقشه منطقه مورد مطالعه را در زمان پرآبی سال ۱۳۵۶ نشان می‌دهد.



شکل ۱: تالاب بین‌المللی هامون در زمان پرآبی سال ۱۳۵۶ (تصویر ماهواره‌ای لندست سال ۱۳۵۶، نگارندگان)

داده‌های مورد استفاده: به‌منظور پایش تغییرات منابع آبی تالاب و بررسی زیستگاه پرندگان آبزی و کنارآبزی در تالاب هامون متوسط سالیانه بارندگی و دما و هم‌چنین تصاویر ماهواره لندست استفاده شد. داده‌های اقلیمی از ایستگاه هواشناسی زابل و تصاویر ماهواره‌ای لندست از سایت زمین‌شناسی آمریکا (USGS) اخذ گردید. با توجه به مطالعات گذشته (۲۴) چهار سال مربوط به آبگیری نرمال، خشک شدن و آبگیری در زمان محدودیت آب انتخاب شدند. بر این اساس، تصاویر ماهواره‌ای مربوط به چهار سال ۱۳۵۶، ۱۳۷۹، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۹ مورد استفاده قرار گرفت است.

نقشه پهنه آبی: به‌منظور تهیه نقشه منابع آبی، از تصاویر ماهواره لندست مربوط به سال‌های ۱۳۵۶، ۱۳۷۹، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۹ استفاده شد. تصاویر مربوط به اردیبهشت و خرداد انتخاب شد به‌دلیل این‌که مطالعات قبلی در تالاب هامون (۲۳) نشان داده‌اند که با توجه به

خشکسالی‌های اخیر و خشک شدن تالاب، در صورت آبگیری این تالاب در بخشی از سال، این ماه‌ها تالاب آبگیری می‌شود. پیش پردازش داده‌ها شامل تصحیح اتمسفریک، رادیومتریک و هندسی بر روی تصاویر اعمال شد. سپس شاخص‌های طیفی مربوط به مطالعات منابع آب ساخته شد. این شاخص‌ها در جدول۱ ارائه شده است. سپس نقشه به‌دست آمده از سال ۱۳۹۹ با نقاط واقعیت زمینی که در مطالعات صحرایی مطابق با برداشت تصاویر ماهواره‌ای ثبت شده بود با استفاده از مدل رگرسیونی مقایسه شد و شاخص NDVI برای استخراج منابع آبی در سال‌های مطالعه انتخاب شد. سپس لایه آب با طبقه‌بندی مجدد از شاخص طیفی هر سال استخراج و به‌صورت لایه بولینی ۰ و ۱ تهیه شد. برای ارزیابی صحت نقشه‌های تولید شده در سال‌های گذشته با استفاده از مطالعات قبلی (۲۴، ۳۱) و هم‌چنین تفسیر بصری تصاویر رنگی کاذب این سال‌ها و مقایسه آن‌ها با تصویر رنگی کاذب سال ۱۳۹۹ و وضعیت زمین در این سال نمونه‌های تعلیمی تهیه و ارزیابی صحت برای این سال ها انجام شد (۱۳). ارزیابی صحت سال ۱۳۹۹ براساس نقاط واقعیت زمینی که در مطالعات صحرایی مطابق با برداشت تصاویر ماهواره‌ای ثبت شده بود ولی در تهیه نقشه‌ها استفاده نشده بود انجام شد.

جدول ۱: شاخص‌های طیفی مورد استفاده

شاخص	فرمول	مرجع
NDVI	(Band4-Band3)/(Band4+Band3)	۳۱
IR	(Band5-Band7)/(Band5+Band7)	۳۰
TCWGD	TCW- TCG	۱۲

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)، Infrared Ratio (IR), Tasseled Cap Wetness- Greenness Difference (TCWGD).

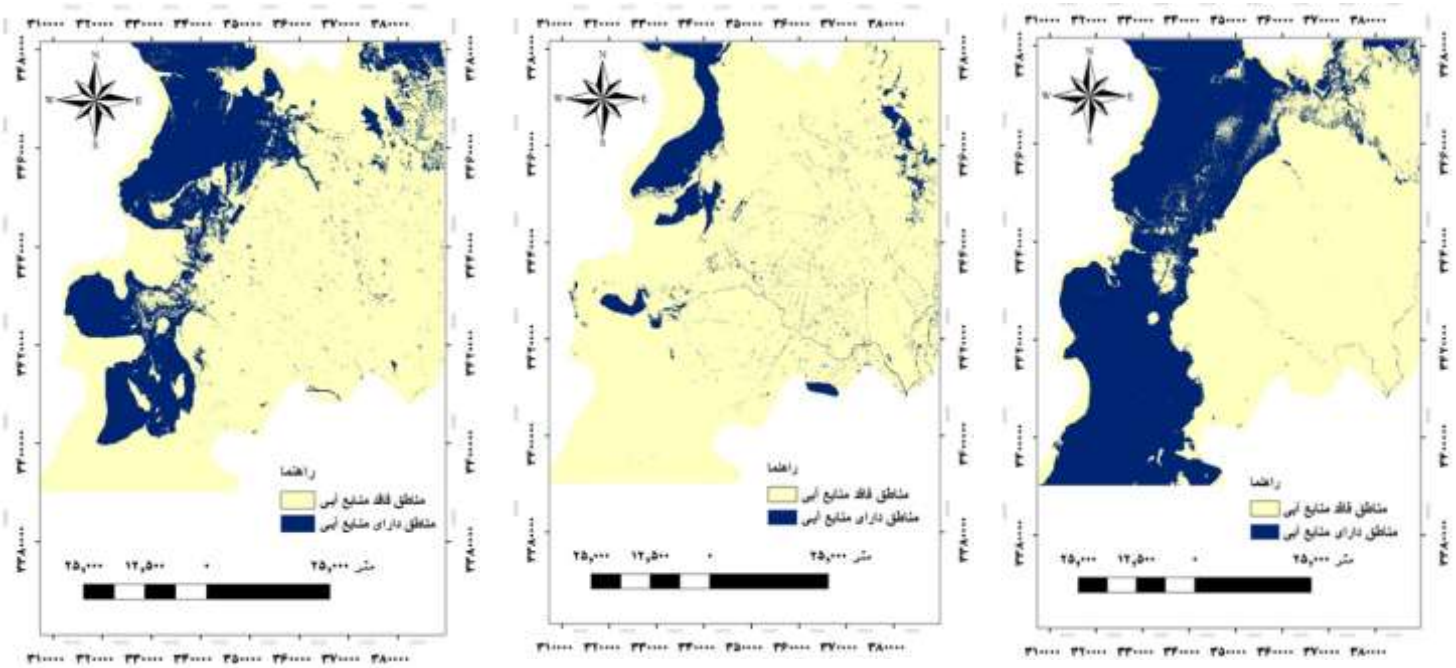
تهیه نقشه زیستگاه پرندگان: یکی از روش‌های کاربردی در بررسی زیستگاه‌ها، استفاده از روش حداکثر آنتروپی می‌باشد (۶، ۲۸). در این مطالعه در ابتدا به‌منظور تهیه نقشه حضور پرندگان آبزی و کنارآبزی در تالاب هامون، عملیات میدانی و مشاهده گونه در پاییز ۱۳۹۹ انجام و با استفاده از GPS، موقعیت پرندگان برداشت شد. سپس با روش حداکثر آنتروپی زیستگاه پرندگان در سال ۱۳۹۹ به‌دست آمد. روش حداکثر آنتروپی که یک روش آماری است و توزیع گونه‌هارا مشخص می‌سازد و طبق نقاط حضور پرندگان و فاکتورهای موثر بر زیستگاه گونه، زیستگاه مطلوب را برای پرندگان مشخص می‌کند (۲۸، ۴۳). روش حداکثر آنتروپی زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که داده‌های عدم حضور گونه در دسترس نباشد و با استفاده از داده‌های حضور گونه مدل‌سازی انجام می‌شود. در لایه زیستگاهی به‌دست آمده از روش حداکثر آنتروپی توزیع منتخب گونه شامل قسمت‌هایی است که به واقعیت نزدیک‌تر است (۲۸). بنابراین برای استفاده از مدل حداکثر آنتروپی علاوه بر نقاط حضور گونه به پارامترهای زیستگاهی موثر بر گونه احتیاج می‌باشد. در این پژوهش پارمترهای زیستگاهی شامل آب، پوشش گیاهی، فاصله از روستا و فاصله از جاده به‌صورت لایه‌های دارای رزولوشن مکانی ۳۰ متر مورد استفاده قرار گرفتند. در ابتدا به‌روش حداقل آنتروپی، زیستگاه مطلوب پرندگان سال ۱۳۹۹، به‌دست آمد. در گام بعدی با استفاده از زیستگاه مطلوب سال ۱۳۹۹ طبقه مطلوب فاکتورهای زیستگاهی براساس آماره‌های به‌دست آمده توسط نرم‌افزار Arc-GIS به‌دست آمد. در انتها با استفاده‌از نقشه مطلوبیت فاکتورهای زیستگاهی نقشه مطلوبیت زیستگاه سال‌های قبل نیز به‌روش MCE به‌دست‌آمده است (معادل۱):

معادله ۱:
$$Mi = \sum_{j=1}^{n} Wj \times Xij$$

Mi امتیاز کلی مناسب زیستگاه برای سلول، Wj وزن متغیر، Xij ارزش سلول برای متغیر

نتایج

تغییرات منابع آب تالاب هامون: نقشه منابع آب منطقه مطالعه در سال‌های ۱۳۵۶، ۱۳۷۹، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۹ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به‌دست آمد. صحت نقشه‌های تولید شده با استفاده از نقاط برداشت زمینی ارزیابی شد. صحت کلی مربوط به نقشه‌های به‌دست‌آمده به‌ترتیب برای سال‌های مطالعه برابر با ۸۱٪، ۸۳٪، ۸۶٪ و ۸۸٪ به‌دست‌آمد. لذا نقشه‌های تولید شده صحت کافی برای استفاده در این مطالعه را دارا می‌باشد. شکل ۲، پهنه آبی را در سال‌های ۱۳۵۶، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۹ نشان می‌دهد. در سال ۱۳۷۹ تالاب هامون کاملاً خشک بوده و مساحت پهنه آبی برابر با صفر بوده است. بر اساس نتایج تحلیل تصاویر ماهواره‌ای مساحت پهنه آبی در سال‌های مورد مطالعه در جدول ۲ آورده شده است. براساس این جدول شکل ۳ نمودار تغییرات منابع آبی تالاب هامون به‌دست آمد. منطقه در سال ۱۳۵۶، شرایط آبی نرمال داشته است. به‌همین دلیل سایر سال‌ها با سال ۱۳۵۶ مقایسه شده است. بیش‌ترین مساحت آب در سال ۱۳۵۶ و کم‌ترین منابع آبی در سال ۱۳۷۹ وجود داشته است. در این سال خشکسالی در تالاب هامون رخ داده است. بعد از سال ۱۳۵۶، سال ۱۳۹۹ و سال ۱۳۹۴ شرایط مناسب آبی داشته‌اند و بدترین شرایط از نظر وجود منابع آب در سال ۱۳۷۹ بوده است. اگرچه سال ۱۳۹۹ و ۱۳۹۴ تالاب آبگیری شده اما این مساحت پهنه آبی به‌ترتیب برابر با ۵۹ و ۲۵ درصد شرایط نرمال تالاب در سال ۱۳۵۶ بوده است.



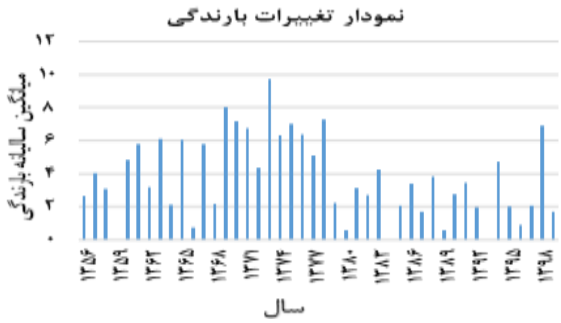
الف ب ج

شکل ۲: تغییرات طبقه آب در سال الف) ۱۳۵۶، ب) ۱۳۹۴، ج) ۱۳۹۹ (ماخذ: یافته‌های نگارندگان)

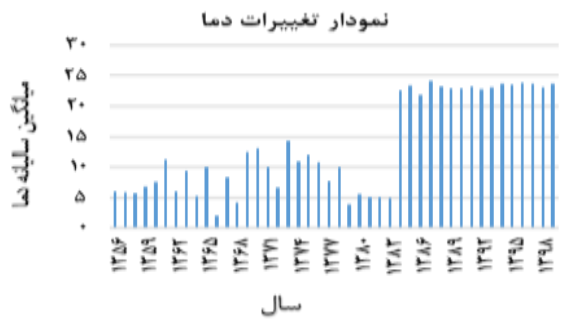
جدول۲: مساحت طبقه آب (ماخذ: یافته‌های نگارندگان)

سال	مساحت (هکتار)
۱۳۵۶	۳۲۱،۰۵۶/۸
۱۳۷۹	۰
۱۳۹۴	۸۱،۰۹۸/۴۶
۱۳۹۹	۱۹۰،۶۶۹/۷

شکل۳: نمودار تغییرات منابع آبی در تالاب هامون



شکل۴: نمودار تغییرات بارندگی تالاب هامون

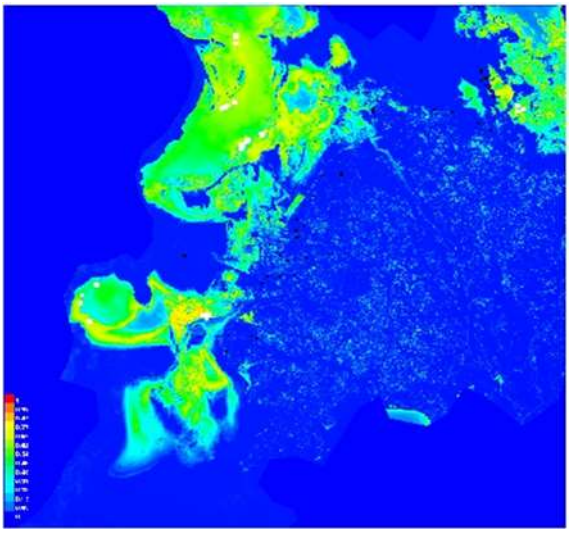


شکل۵: نمودار تغییرات دما تالاب هامون

نقشه زیستگاه پرندگان آبزی و کنارآبزی تالاب هامون:

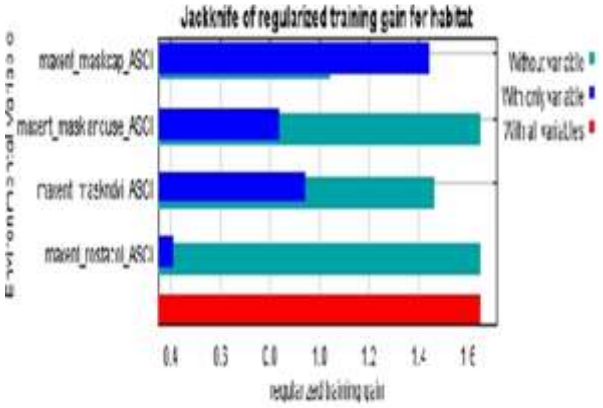
در این پژوهش به‌منظور تهیه نقشه مناطقی که برای زیستگاه پرندگان مورد استفاده قرار می‌گیرد پارامترهای زیستگاهی شامل آب، پوشش

گیاهی، فاصله از روستا و فاصله از جاده انتخاب شده است. نقشه مناطق مطلوب برای زیستگاه پرندگان در سال ۱۳۹۹ با استفاده از پارامترهای زیستگاهی و نقاط حضور پرندگان، با استفاده از روش حداکثر آنتروپی تهیه شد. نقشه خروجی مدل حداکثر آنتروپی در شکل ۶، مشاهده می‌شود در این نقشه، اعداد نزدیک به عدد یک، مناطق مطلوب زیستگاهی می‌باشد.

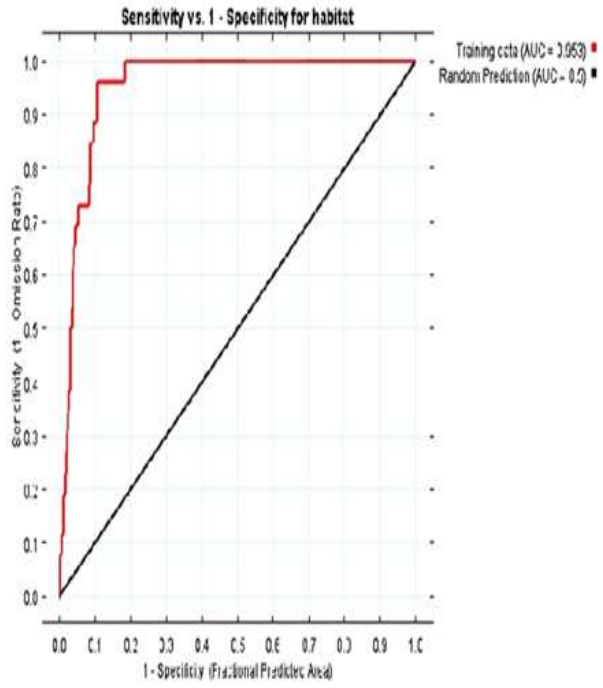


شکل ۶: خروجی نرم‌افزار مکسنت. نقشه مطلوبیت زیستگاه پیوسته

به‌منظور بررسی صحت پیش‌بینی مدل انجام شده، از نمودار ROC استفاده شده است. در این نمودار هر چه عدد AUC به یک نزدیک‌تر باشد مدل بهترین پیش‌بینی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که شکل ۷ نشان می‌دهد AUC مدل مطلوبیت زیستگاه برابر با ۰/۹۵۳ می‌باشد. لذا نتایج این مدل از صحت کافی برخوردار می‌باشند. همان‌طورکه بیان شد، متغییرهای تاثیرگذار در این بررسی شامل آب، پوشش گیاهی، فاصله از روستا و فاصله از جاده می‌باشد که میزان تاثیرگذاری هر یک از متغییرهای به‌کار رفته در مدل، توسط شکل ۸ نشان داده شده است. شکل ۹ نقشه زیستگاه مطلوب سال‌های ۱۳۵۶، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۹ را نشان می‌دهد. براساس نقشه‌های ارائه شده در این شکل مناطق مطلوب شامل بخش‌هایی از هامون پوزک، هامون هیرمند و جنوب هامون صابری است که در سال‌های مختلف از نظر مکانی متفاوت بوده است. مساحت زیستگاه مطلوب در هریک از سال‌های مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به این‌که نتایج بررسی پهنه آبی نشان داد سال ۱۳۵۶ بیش‌ترین سطح پهنه آبی در منطقه بوده است لذا همان‌گونه که انتظار می‌رود سال ۱۳۵۶ بیش‌ترین سطح زیستگاه مطلوب پرندگان وجود داشته است. جدول ۳ نشان می‌دهد مساحتی برابر با ۳۰۱۵۹۴ هکتار از منطقه برای پرندگان مطلوب بوده است.



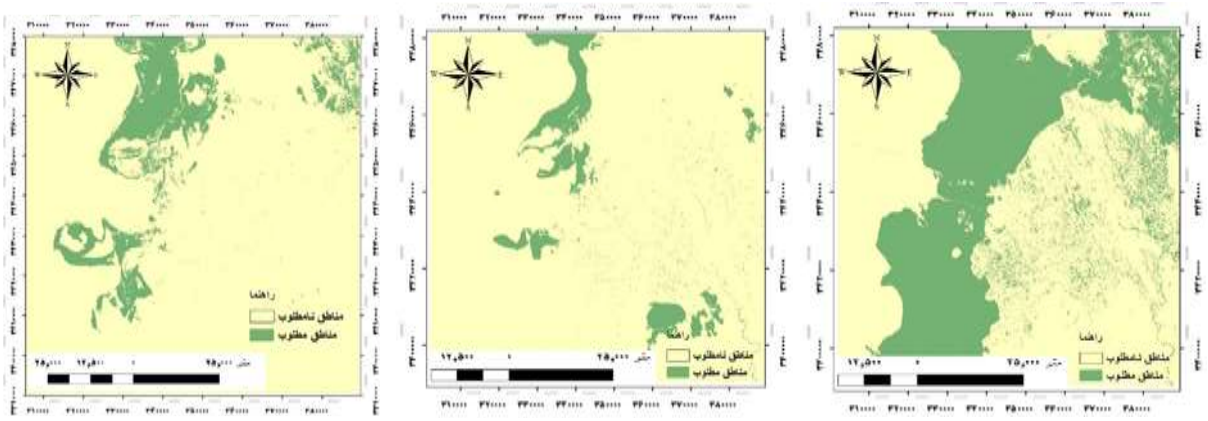
شکل ۷: منحنیROC محاسبه شده برای زیستگاه



شکل ۸: تاثیر هریک از متغییرهای مورد مطالعه در تهیه نقشه مطلوبیت زیستگاه

جدول ۳: مساحت زیستگاه مطلوب پرندگان آبزی و کنارآبزی تالاب هامون

سال	مساحت زیستگاه (هکتار)
۱۳۵۶	۳۰۱،۵۹۴/۹
۱۳۷۹	۰
۱۳۹۴	۵۰،۴۳۹/۴۲
۱۳۹۹	۸۳،۴۶۶ /۲۷



شکل ۹. زیستگاه مطلوب پرندگان آبزی و کنارآبزی الف) ۱۳۵۶، ب) ۱۳۹۴، ج) ۱۳۹۹

بحث

از جمله عوامل موثر در تغییرات منابع آبی تالاب هامون کاهش بارندگی و افزایش دما می‌باشد که باعث تشدید کمبود منابع آب و تاثیرات منفی خشکسالی می‌شود. در صورت وقوع بارندگی شرایط زیست در منطقه بهبود پیدا می‌کند (۹، ۳۴). میانگین سالیانه دما و بارندگی در ایستگاه زابل در شکل‌های ۴ و ۵، ارائه شده است. براساس این نمودار بارندگی در سال‌های اخیر کاهش چشمگیری داشته است. این مساله باعث دو چندان شدن مشکلات ناشی از کمبود منابع آب در منطقه می‌باشد. همان‌گونه که نقشه‌های منابع آبی نشان داد سال ۱۳۷۹ تالاب به کلی خشک شده و این نمودار نیز نشان می‌دهد در این سال بارندگی در حداقل مقدار سال‌های مورد مطالعه بوده است. میانگین سالیانه دما نیز در این سال‌ها افزایش یافته است. به‌طور مشخص افزایش دما از سال ۱۳۷۰ آغاز شده است. افزایش دمای هوا و کاهش بارندگی در کنار کاهش منابع آبی نسبت به سال ۱۳۵۶ شرایط زندگی در منطقه را دشوارتر کرده است. مطالعه (۲۰) نیز در این زمینه نشان می‌دهد، در تالاب هامون دما رو به افزایش و بارندگی رو به کاهش می‌باشد و این امر منابع آبی تالاب هامون دچار آسیب می‌کند. با توجه به نقشه مطلوبیت زیستگاه در سال ۱۳۹۴ و نقشه پهنه آبی مشاهده می‌شود که این سال دارای کم‌ترین میزان پهنه آبی در بین سال‌های آبگیری از دوره مطالعه (۱۳۵۶، ۱۳۹۴، ۱۳۹۹) بوده است (شکل ۹) اما هامون صابری هم‌چنان سطح وسیعی از زیستگاه مطلوب را برای پرندگان فراهم کرده است. هامون هیرمند در بخش جنوبی هامون صابری نیز در بخش‌های کوچکی در سال ۱۳۹۴ زیستگاه مطلوب برای پرندگان داشته است. این مساله نشان می‌دهد هامون صابری و بخش‌های کوچکی از هامون هیرمند برای حفاظت از پرندگان در شرایط خشکسالی پایدارترین بخش تالاب هامون می‌باشد.

از سوی دیگر با توجه به این‌که این بخش‌ها در زمان محدودیت آب نقش حیاتی در حفظ پرندگان منطقه دارد، درصورت آشیانه‌سازی پرندگان در هامون صابری و هیرمند این پرندگان آسیب‌پذیری بیش‌تری به‌دلیل سطح محدود زیستگاه دارند (۲۵). جدول ۳ نشان می‌دهد مساحتی برابر با ۳۰۱۵۹۴ هکتار از منطقه برای پرندگان مطلوب بوده است. فراهم کردن این سطح وسیع از زیستگاه برای پرندگان در یک منطقه خشک از ویژگی‌های مهم تالاب هامون می‌باشد (۴۰). با مقایسه مساحت زیستگاه پرندگان در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۹ با سال ۱۳۵۶ مشخص می‌شود به‌ترتیب ۱۶٪ و ۲۷٪ از زیستگاه مطلوب در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۹ باقی مانده‌اند. این مساله نشان دهنده تخریب گسترده زیستگاه پرندگان در منطقه می‌باشد. با توجه به این‌که تالاب هامون در یک منطقه خشک قرار گرفته است و جایگزینی برای زیستگاه‌های از دست رفته نمی‌توان درنظر گرفت، این میزان از دست‌رفتن زیستگاه باعث آسیب گسترده‌ای به پرندگان شده است. به‌منظور تعیین الگوی کمی ارتباط بین از دست رفتن سطح زیستگاه در ازای تغییرات پهنه آبی، مساحت زیستگاه مطلوب و مساحت پهنه آبی مقایسه شد. بر این اساس نسبت مساحت زیستگاه مطلوب به پهنه آبی در سال‌های ۱۳۹۴،۱۳۵۶ و ۱۳۹۹ به‌ترتیب برابر با ۹۳٪، ۶۲٪ و ۴۳٪ می‌باشد. در سال ۱۳۵۶ بخش اعظم پهنه آبی (۹۳٪) برای زیستگاه پرندگان مطلوب بوده است. براین اساس در شرایط عدم محدودیت آب تقریباً تمامی بخش‌های آبگیری شده برای پرندگان مطلوب بوده است. اما در سال ۱۳۹۴ تنها ۶۲٪ از بخش‌های آبگیری شده برای پرندگان به‌عنوان زیستگاه مناسب بوده است و در سال ۱۳۹۹ این مقدار به ۴۳٪ رسیده است. این نتایج نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر درصورت آبگیری بخش‌هایی از تالاب، تمامی پهنه آبی مطلوبیت کافی برای پرندگان ندارد. مطالعه دیگری نیز به این موارد اشاره کرده‌اند که علی‌رغم آبگیری در تالاب‌ها تمام بخش‌های

آبگیری شده مطلوبیت کافی برای پرندگان را ندارد (۴). این مساله می‌تواند به‌دلیل از دست‌رفتن پوشش گیاهی منطقه در اثر خشکسالی باشد (۲۴). از سوی دیگر مقایسه نسبت مساحت زیستگاه مطلوب به مساحت پهنه آبی در بین سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۹ نشان می‌دهد اگر چه پهنه آبی در سال ۱۳۹۹ مساحت بیش‌تری از سال ۱۳۹۴ داشته است، اما در سال ۱۳۹۴ به نسبت مساحت پهنه آبی، مساحت بیش‌تری مربوط به زیستگاه مطلوب بوده است. این نتیجه نشان می‌دهد که اهمیت بخش‌های آبگیری شده در این تالاب برای زیستگاه پرندگان متفاوت است. در سال ۱۳۹۴ بخش‌هایی آبگیری شده که ۶۲٪ آن از نظر سایر فاکتورها شامل پوشش گیاهی و فاصله از جاده و روستا به‌منظور تامین پناه و غذا مطلوبیت داشته است اما در سال ۱۳۹۹ بخش‌هایی آبگیری شده است که ۴۳٪ آن‌ها از نظر پناه و غذا مطلوبیت داشته‌است. براین‌اساس در زمان برنامه‌ریزی‌ها برای اقدامات حفاظتی در بخش‌های آبگیری شده، اولویت با مناطقی می‌باشد که علاوه بر آبگیری، از نظر تامین سایر فاکتورهای زیستگاهی نسبت به سایر بخش‌های آبگیری شده مطلوبیت کافی دارند. چراکه براساس این نتایج، برخی از بخش‌های آبگیری شده از نظر پناه و غذا مطلوبیت کم‌تری دارند که در اولویت‌های اول حفاظت قرار نمی‌گیرند. در مطالعه دیگری، نیز زیستگاه لک‌لک‌سانان را در رودخانه زرد در چین بررسی کردند و نشان دادند در مناطقی که آبگیری شده است بخش‌هایی که برای رشد نیزارها مناسب بود جمعیت بیش‌تری از پرندگان وجود داشتند. اجرای اقدامات حفاظتی در چنین می‌تواند باعث بهبود شرایط بوم‌شناسی تالاب و بازگشت پرندگان شود (۱۱). محققان دیگری نیز نشان دادند در تالاب صالحیه بعد از حدود ۳۶ سال، بیش از ۱۰۰ نوع پرنده‌آبزی و کنارآبزی به این تالاب بازگشته‌اند (۵). در این مطالعه تغییرات پهنه آبی، زیستگاه پرندگان آبزی و کنار آبزی در تالاب هامون و متوسط سالیانه دما و بارندگی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد هامون صابری و بخش‌های کوچکی از هامون هیرمند برای حفاظت از پرندگان در شرایط خشکسالی پایدارترین بخش تالاب هامون می‌باشد. از سوی دیگر با توجه به این‌که این بخش‌ها در زمان محدودیت آب، نقش حیاتی در حفظ پرندگان منطقه دارد، در صورت آشیانه‌سازی پرندگان در هامون صابری و هیرمند، پس از خشک شدن تالاب، این پرندگان آسیب پذیر می‌شوند. بنابراین اجرای اقدامات حفاظتی و تامین آب برای این بخش‌ها می‌بایست در اولویت قرار بگیرد. علاوه براین مساحت زیستگاه مطلوب در هریک از سال‌های مطالعه نشان‌دهنده از دست رفتن گسترده زیستگاه پرندگان در منطقه می‌باشد. با توجه به این‌که تالاب هامون در یک منطقه خشک قرار گرفته است و جایگزینی برای زیستگاه‌های از دست‌رفته نمی‌توان درنظر گرفت، این میزان از دست رفتن زیستگاه باعث آسیب گسترده‌ای به پرندگان شده است. از سوی دیگر نتایج نشان داد علی‌رغم این‌که در سال ۱۳۵۶ تقریباً تمامی بخش‌های آبگیری شده برای پرندگان مطلوب بوده است، در سال‌های اخیر درصورت آبگیری بخش‌هایی از تالاب، تمامی پهنه آبی مطلوبیت کافی برای پرندگان ندارد. این مساله نشان می‌دهد که اهمیت بخش‌های آبگیری شده در این تالاب برای زیستگاه پرندگان متفاوت است که دلیل آن می‌تواند تاثیر از دست رفتن پوشش گیاهی و یا کاهش امنیت باشد. براین اساس در زمان برنامه‌ریزی‌ها برای اقدامات حفاظتی در بخش‌های آبگیری شده، اولویت با مناطقی می‌باشد که علاوه بر آبگیری، از نظر تامین سایر فاکتورهای زیستگاهی نسبت به سایر بخش‌های آبگیری شده مطلوبیت کافی دارند. چراکه براساس این نتایج، برخی از بخش‌های آبگیری شده از نظر پناه و غذا مطلوبیت کم‌تری دارند که در اولویت‌های اول حفاظت قرار نمی‌گیرند.

منابع

1. **Ahadnejhad Roshti, M., 2007.** Revealing the spatial changes of Hamon lagoon using multi-temporal satellite images and geographic information system. The first international conference on water crisis. Zabul. (In Persian)
2. **Behrouzi Rad, B., 2009.** Waterbird Populations during Dry and Wet Years in the Hamoun Wetlands Complex, Iran/Afghanistan Border. Podoces. 4(2): 88-99.
3. **Bellisario, B., Cerfolli, F. and Nascetti, G., 2014.** Climate effects on the distribution of wetland habitats and connectivity in networks of migratory waterbirds. Acta Oecologica. 58: 5-11.
4. **Defilippo, L., 2003.** Survey of avian population, distribution, and diversity in a variety of habitats at UNDERC. Department of Biological Sciences, University of Notre Dame Environmental Research Center.
5. **Dourodi, H., 2018.** Report on the reproduction of Salim Sheni Bozhar (*Charadrius leschenaultia*) In Salehiya wetland. Alborz Province. Biosphere. 13(1): 1-6. (In Persian)
6. **Elith, J., Graham, C.H., Anderson, R.P., Dudik, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R.J., Huettmann, F., Leathwick, J.R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L.G., Loiselle, B.A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J.M., Peterson, A.T., Phillips, S.J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R.E., Soberon, J., Williams, S., Wisz, M.S. and Zimmermann, N.E., 2006.** Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data. Ecography. 92: 171-192.
7. **Evans, M.I., 1994.** important brid areas in the middle east. Birdlife international inc.
8. **Ehsani, A. and Shakarian, M., 2018.** Determining the optimal method of land use/land cover classification and

21. **Monavari, M. and Bali, A., 2010.** The use of remote sensing technique in investigating the process of wetland water level changes, a case study of Maharlo wetland. The first national conference on dealing with desertification and sustainable development of desert wetlands in Iran, Arak. (In Persian)

22. **Morevati, M., Ebrahimi, M. and Bahadori Amjaz, F., 2020.** Evaluation of hyena habitat desirability using maximum entropy method. Quarterly scientific journal of animal environment research. 14(4): 1-9. (In Persian)

23. **Maleki, S., Soffianian, A.R., Soltani Koupaei, S., Pourmanafi, S. and Sheikholeslam, F., 2018.b.** Analysis of Changes in the Hamun Wetland Water Body and Land use/Land-cover Changes During Annual Water-Water Resources Research Inundation Iran.14(1): 206-225.

24. **Maleki, S., Soffianian, A.R., Soltani-Koupaei, S., Saatchi, S. Pourmanafi, S. and Sheikholeslam, F.2016.** Habitat mapping as a tool for water birds conservation planning in an arid zone wetland: The case study Hamoun wetland. Ecol. Eng. 95: 594-603.

25. **Maleki, S., Baghdadi, N., Soffianian, A., El Hajj, M., and Rahdari, V., 2020.** Analysis of multi-frequency and multipolarization SAR data for wetland mapping in Hamoun-e-Hirmand wetland. International Journal of Remote Sensing. 41(6): 2277-2302.

26. **Nasrollahi, M., Membeni, M., Valizadeh, S., and Khosravi, H., 2014.** Investigation of Land Use Change Process / Ground Coverage on Groundwater Groundwater Status Using Satellite Images (Case Study: Gilan-e-Gharb Plain), Geosciences Information & Knowledge Management. 23(91): 921-932.

27. **Purkis, S.J. and Klemas, V.V., 2011.** Remote sensing and global environmental change. John Wiley & Sons.

28. **Phillips, S.J., Anderson, R.P. and Schapire, R.E., 2006.** Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling. 190: 231-259.

29. **Palash, A. and Kordvani, P., 2008.** Comparison of the role of Hamun lake during flood and drought in the economic and social conditions of Sistan. Quarterly Scientific Research Journal of Geography. 3(9): 124-144. (In Persian)

30. **Ruan, R., Feng, X. and She, Y., 2007.** Fusion of RADARSAT SAR and ETM imagery for identification of fresh waterwetland. In Proceedings of the SPIE Nanjing: China. 6752: 675221-675231.

31. **Rahdari, V., Maleki, S., Afsari, Kh. Abtin, A., Piri, A. and Fakhireh, A., 2011.** Monitoring of changes in land use and land cover of Hayat shelterUsing satellite images and geographic information system. Journal of Remote Sensing and GIS. 3(2): 59-70. (In Persian)

32. **Rahdari, V., Maleki, S., Mahmoudi, S., Moradi, A., Pourmolai, M., Kadkhodaim, Sh. and Abtin, A., 2016.** Determining priority areas for protection in Jazmurian lagoon using satellite data, multi-criteria evaluation and fuzzy logic. Wetland ecobiology. 8(29): 69-84. (In Persian)

mapping by comparing artificial neural network and support vector machine algorithms using satellite data (case study: Hamon international wetland). Environmental science and technology. 20 (4): 193-208. (In Persian)

9. **Eysavi, V. and Rezaei, A., 2014.** Analysis of the impact of drought and changes in land use and land cover on the wetlands of Sabzevar region. Wetland ecobiology. 6(1): 91 - 101. (In Persian)

10. **Hosseini Taifeh, F., Izadian, M., Ashuri, A., Joulaii, L., and Ebrahimi, A., 2020.** Changes in the population of wintering waterfowl in the wetlands of Fars province. Journal of Environmental Sciences. 19(1): 177-196. (In Persian)

11. **Hua, Y., Cui, B. and He, W., 2012.** Changes in Water Birds Habitat Suitability Following Wetland Restoration in the Yellow River Delta, China. Clean-Soil, Air, Water. 40(10): 1076-1084.

12. **Huang, C., Yi Peng, M., Yeo, Y. and McCarty, G., 2014.** Wetland inundation mapping and change monitoring using Landsat and airborne LiDAR data. Remote Sensing of Environment. 141: 231-242.

13. **Kamusoko, C. and Aniya, M., 2006.** Landuse/Cover Change and Landscape Fragmentation Analysis in the Bindura District Zimbabwe, Land Degradation & Development. 18(2): 221-233.

14. **Koh, C.N., Lee, P.F. and Lin, R.S., 2006.** Bird species richness patterns of northern Taiwan: primary productivity, human population density, and habitat heterogeneity. Diversity & Distributions. 12: 546-554.

15. **Khosravi, M., 2009.** Stable temporal-spatial analysis of Hamon lakes. Journal Iran Water Resources Research. 6(3): 68-79. (In Persian)

16. **Ma, M., Baskin, C.C., Yu, K., Ma, Z. and Du, G., 2017.** Wetland drying indirectly influences plant community and seed bank diversity through soil pH. Ecological Indicators. 80: 186-195

17. **Makhdom, M., Jafarzadeh, H. and Darwish Sefat, A.A., 2011.** Environmental assessment and programming with geographic information systems, Tehran University Publications. Sixth edition. 304 p. (In Persian)

18. **Maleki, S., Sufyanian, A., Soltani, S., Pourmanafi, S. and Sheikhul Islam, F., 2018.** Analysis of the pattern of changes in the water area of Hamon wetland during the annual water withdrawal period and changes in land use and land cover in the area. Iran's water resources research. 14(1): 216-225. (In Persian)

19. **Maleki, S., Sufyanian, A., Soltani, S., Pourmanafi, S. and Rahdari, V., 2019.** Modeling the habitat desirability of water and waterside birds in Hamon wetland using the maximum entropy method. Wetland Ecobiology Scientific Journal. 11(2): 5-14. (In Persian)

20. **Mir, M., Rahdari, V. and Maleki, S., 2021.** Evaluation of the effects of climate parameter changes on dusty days in Hamon International Wetland. The fifth international conference on new researches in agricultural sciences. Environment and natural resources. Tehran. (In Persian)

33. **Shoribi, Z., Khalilpour, A. and Asghari, H., 2018.** Modeling the habitat desirability of the marbled duck using the maximum entropy method. Quarterly scientific journal of animal environment research. 10(2): 57-62. (In Persian)

34. **Shokohi Razi, K., Rahimi, M. and Zolfaghari, A., 2020.** Investigating the changes in climatic parameters of the Hirmand basin and its effect on the discharge of the Hirmand inlet to the Sistan plain. The 10th national conference on sustainable agriculture and natural resources. Tehran. (In Persian)

35. **Sadeghi, A., Zahtabian, G.H. Malekian, A. and Khosravi, H., 2014.** Effect of Land Use Change on Groundwater Quality in Zaribar Lake Watershed, Watershed Studies. 27(4): 90-97.

36. **Sauey, R., 1985.** The range status and winter ecology of the Siberian crane. Ph.d.diss. cornell university. Ithaca. New York. 411 p.

37. **Sistan and Baluchestan Regional Water Company. 2014.** Status Report of Sistan and Baluchestan Province. 41 p.

38. **Smakhtim, V., Revenga, C. and Doll, P., 2004.** Taking into account environmental water requirement in globa scale water resources assessments. Comprehensive Assessment Research Report 2, Comprehensive Assessment Secretariat, Colombo, Sri Lanka. 2: 24-36.

39. **Tian, B., Zhou, X., Zhang, L.Q. and Yuan, L., 2008.** Analyzing the habitat suitability for migratory birds at the Chongming Dongtan Nature Reserve in Shanghai, China.Estuar. Coastal Shelf Society. 80(2): 296-302.

40. **UNEP. 2014.** West Asia Regional Master Plan to Combat Sand and Dust Storms. Nairobi: United Nations Environment Programme.

41. **Weber, T.C., 2016.** Maximum entropy modeling of mature hardwood forest distribution in four U.S. states. Forest Ecology and Management. 261(3): 779-788.

42. **Wu, Q., Li, H.Q., Wang, R.S., Paulussen, J., He, Y., Wang, M. and Wang, Z., 2006.** Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS. Landscape and urban planning. 78(4): 322-333.

43. **Zhang, K., Yao, L., Meng, J. and Tao, J., 2018.** Maxent modeling for predicting the potential geographical distribution of two peony species under climate change. Science of the Total Environment. 634: 1326-1334.