University of Tehran Press

Journal of Natural Environment

Online ISSN: 2423-7817

Homepage: https://jne.ut.ac.ir/

Long-term monitoring of land-use and land-cover changes and climatic factors in the habitat of the Mugger Crocodile (*Crocodylus palustris*) using Remote Sensing

Saeideh Maleki[1] | Vahid Rahdari[2]✉ | Elham Abtin[3] | Asghar Mobaraki[4]

1. Department of Environment, Faculty of Natural Resource, University of Zabol, Zabol, Iran. E-mail: smaleki@uoz.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Environment, Faculty of Natural Resource, University of Zabol, Zabol, Iran. E-mail: vrahdari@uoz.ac.ir
3. Department of Environment Administration, Zahedan, Iran. E-mail: ala_saky@yahoo.co.uk
4. Wildlife and Conservation and Management Bureau, Department of Environment, Tehran, Iran. E-mail: amobaraki@yahoo.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 17 August 2026

Received in revised form: 4 October 2026

Accepted: 22 October 2026

Keywords:

Climate change,
Habitat changes,
Mugger Crocodile,
Remote sensing,
Sarbaz River.

ABSTRACT

The mugger crocodile (*Crocodylus palustris*) is the only crocodilian species native to Iran. Its habitat is located in southern Sistan and Baluchestan Province, particularly within the Sarbaz and Bahu Kalat river basins. This study aimed to examine long-term land-use and land-cover changes and analyze the role of climatic factors in the transformation of the mugger crocodile's habitat. Landsat satellite images from 1995, 2005, 2015, and 2025 were classified using field-derived training samples and the Random Forest algorithm. In addition, annual mean temperature and total annual precipitation data for 1995–2025 were extracted from the ERA5-Land reanalysis dataset, and their temporal trends were examined using linear regression and the Mann–Kendall test. The results showed that dense vegetation cover, which represents the crocodile's primary habitat, followed a declining trend during the study period. In contrast, agricultural land expanded continuously, increasing from approximately 155 ha in 1995 to 2,394 ha in 2025. A substantial proportion of this expansion occurred near the Sarbaz River, indicating increasing human–crocodile conflict. The area of surface-water bodies decreased from approximately 385 ha in 1995 to 189 ha in 2015 but increased to 648 ha in 2025, coinciding with increased precipitation. Overall, agricultural land within the crocodile habitat and the protected buffer zone of the Sarbaz River expanded approximately fifteenfold. Given the resulting pressure on the crocodile's habitat, the findings highlight the need for habitat-level management of human–crocodile interactions.

Cite this article: Maleki, S., Rahdari, V., Abtin, E., & Mobaraki, A. (2026). Long-term monitoring of land-use and land-cover changes and climatic factors in the habitat of the Mugger Crocodile (*Crocodylus palustris*) using Remote Sensing. *Journal of Natural Environment*, *79* (4), 745-763. DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2026.421002.2939

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

Introduction

The mugger crocodile (Crocodylus palustris), is the only crocodilian species native to Iran and is classified as Vulnerable on the IUCN Red List. Its Iranian distribution is restricted to the southeastern part of the country, particularly the Sarbaz River and associated ponds in southern Sistan and Baluchestan Province. Stable water bodies, vegetated riverbanks, nesting sites, and hydrological connections among pools are essential components of its habitat. These components are increasingly affected by irregular rainfall, recurrent drought, rising temperature, water abstraction, agricultural development, and greater human activity near rivers. Although previous studies have evaluated habitat suitability and the ecological requirements of the species, long-term quantitative evidence on the combined effects of land-use change and climatic variability across the Iranian habitat remains limited. Remote sensing provides a consistent means of mapping habitat transformation over several decades. Therefore, this study examined land-use and land-cover changes in the habitat of the mugger crocodile between 1995 and 2025 and assessed concurrent changes in annual precipitation and temperature. Particular attention was given to agricultural expansion near the Sarbaz River, changes in surface water and natural vegetation, and their implications for conservation management.

Material and Methods

The study area covers part of the Bahu Kalat Protected Area in Dashtiari and Rask counties, southern Sistan and Baluchestan Province, near the Iran-Pakistan border. Landsat images acquired in April 1995, 2005, 2015, and 2025 were used to represent comparable seasonal conditions. Landsat TM data were used for the first two dates and Landsat OLI data for the latter two. Level-2 images were processed in Google Earth Engine. Training data for 2025 were obtained through field surveys conducted concurrently with the most recent image and included GPS observations of water, salt-affected land, bare land, agriculture, and natural vegetation in tow dense and medium dense classes. Training samples for earlier dates were prepared through visual interpretation of false-color composites. Supervised classification was performed using the Random Forest algorithm. Independent field samples not used for training supported accuracy assessment through overall accuracy and the kappa coefficient. Annual mean 2-m air temperature and total annual precipitation for 1995-2025 were extracted from monthly ERA5-Land data and spatially averaged across the study area. Temporal trends were evaluated using linear regression and the non-parametric Mann-Kendall test.

Results

The classified maps achieved overall accuracies of 88-91% and kappa coefficients of 0.85-0.88; the 2025 map reached 91% overall accuracy and a kappa value of 0.88. Bare and salt-affected lands dominated the landscape throughout the study period, but ecologically important classes changed markedly. Surface water remained nearly stable between 1995 and 2005, at approximately 385 and 387 ha, respectively, decreased to 189 ha in 2015, and increased to 648 ha in 2025. Agricultural land expanded continuously from 155 ha in 1995 to 354 ha in 2005, 669 ha in 2015, and 2,394 ha in 2025. This represents an increase of 2,239 ha and more than a fifteenfold expansion over three decades, with much of the new agriculture concentrated close to the Sarbaz River and associated watercourses. Medium-density natural vegetation increased from 16,238 ha in 1995 to 18,200 ha in 2005, but subsequently declined to 17,229 ha in 2015 and 14,241 ha in 2025. Dense vegetation, a particularly important component of crocodile refuge and riparian habitat, increased from 4,194 ha in 1995 to 5,634 ha in 2005, then fell sharply to 1,978 ha in 2015 and 1,825 ha in 2025. Annual precipitation was highly variable, averaging about 103 mm with a coefficient of variation of approximately 72%. Values ranged from less than 10 mm in the driest years to 362 mm in the wettest year. The linear precipitation trend was small and statistically non-significant (0.54 mm yr-1, P= 0.725), which was confirmed by the Mann-Kendall test (P= 0.637). In contrast, annual mean temperature increased significantly by about 0.026 degrees C yr-1, equivalent to approximately 0.8 degrees C over the study period. Linear regression (P= 0.002) and the Mann-Kendall test (P= 0.012) both confirmed this warming trend.

Discussion

The results demonstrate that habitat transformation is driven by interacting climatic and human pressures rather than a single factor. The recovery of mapped surface water to 648 ha in 2025 coincided with approximately 250 mm of annual precipitation, whereas the minimum water extent in 2015 coincided with only about 81 mm. This comparison indicates that short-term water availability is strongly controlled by rainfall, especially monsoon rainfall and runoff from upstream areas. However, the absence of a significant long-term precipitation trend does not imply stable hydrological conditions: extreme interannual variability produces floods and severe water shortages, while warming can increase evaporation and shorten water storage in rivers and ponds. Agricultural expansion should therefore be interpreted as a chronic pressure superimposed on climatic variability. Although agriculture occupies a relatively small proportion of the landscape, its concentration along the Sarbaz River is more important than its total area. Conversion of riparian vegetation to farms can reduce refuge, basking and nesting sites, and connections among aquatic habitat patches. It can also increase water withdrawal, pollution, livestock presence, and human access to crocodile habitat. These effects become more severe during drought, when people, livestock, and crocodiles converge on the same remaining pools. The decline in medium-density and dense natural vegetation supports the conclusion that habitat quality has deteriorated even where some surface water remains. Conservation should consequently combine hydrological and land-use management. Priority actions include enforcing protective buffers along the Sarbaz River, preventing agricultural encroachment into sensitive riparian patches, regulating water abstraction during dry months, maintaining connections among permanent and seasonal pools, restoring dense riverbank vegetation, and monitoring water quality. Satellite-based land-cover monitoring should be integrated with rainfall, river discharge, temperature, evaporation, and field observations of crocodile presence. Community participation is also essential for managing shared ponds and reducing conflict.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct.

CRediT authorship contribution statement

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data availability statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

We thank the reviewers for their constructive comments on the structure and scientific content of the manuscript. We also express our sincere appreciation to the experts and environmental rangers of Sistan and Baluchestan Province for their guidance and assistance during the fieldwork.

محیط زیست طبیعی

انتشارات دانشگاه تهران

شاپای الکترونیکی: ۷۸۱۷-۲۴۲۳

Homepage: https://jne.ut.ac.ir/

پایش بلندمدت تغییرات کاربری و پوشش سرزمین و عوامل اقلیمی در زیستگاه تمساح مردابی (*Crocodylus palustris*) با استفاده از سنجش از دور

سعیده ملکی[۱] | وحید راهداری[۲]✉ | الهام آبتین[۳] | اصغر مبارکی

۱. گروه محیطزیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: smaleki@uoz.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه محیطزیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: vrahdari@uoz.ac.ir

۳. ادارهٔ کل محیطزیست استان سیستان و بلوچستان، سیستان و بلوچستان، ایران. رایانامه: ala_saly@yahoo.co.uk

۴. دفتر مدیریت و حفاظت حیات وحش، سازمان حفاظت محیطزیست، تهران، ایران. رایانامه: amobaraki@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۵/۲۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۷/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۷/۳۰

کلیدواژه‌ها:

تغییر اقلیم،

تغییر زیستگاه،

تمساح مردابی،

رودخانه سرباز،

سنجش از دور.

چکیده

تمساح پوزه‌کوتاه مردابی (*Crocodylus palustris*) تنها گونه تمساح بومی ایران است که زیستگاه آن در جنوب استان سیستان و بلوچستان، به‌ویژه در حوضه رودخانه سرباز و باهوکلات، قرار دارد. این پژوهش با هدف بررسی تغییرات بلندمدت کاربری و پوشش اراضی و تحلیل نقش عوامل اقلیمی در دگرگونی زیستگاه گاندو انجام شد. برای این منظور، تصاویر ماهواره‌ای لندست مربوط به سال‌های ۱۳۷۴، ۱۳۸۴، ۱۳۹۴ و ۱۴۰۴ انتخاب و با استفاده از نمونه‌های تعلیمی میدانی و الگوریتم جنگل تصادفی طبقه‌بندی شدند. همچنین، داده‌های میانگین دمای سالانه و مجموع بارندگی سالانه دوره ۱۳۷۴ تا ۱۴۰۴ از مجموعه بازتحلیل ERA5-Land استخراج و روند زمانی آن‌ها با رگرسیون خطی و آزمون من–کندال بررسی شد. نتایج نشان داد که در این دوره، سطح پوشش گیاهی متراکم به عنوان زیستگاه اصلی تمساح دارای یک روند کاهشی بوده، درحالی‌که اراضی کشاورزی پیوسته گسترش یافته و مساحت آن از حدود ۱۵۵ هکتار در سال ۱۳۷۴ به ۲۳۹۴ هکتار در سال ۱۴۰۴ رسیده است. بخش مهمی از این توسعه در مجاورت رودخانه سرباز رخ داده که تعارض بین انسان و تمساح را نشان می‌دهد. مساحت پهنه‌های آبی از حدود ۳۸۵ هکتار در سال ۱۳۷۴ به ۱۸۹ هکتار در سال ۱۳۹۴ کاهش یافت، اما در سال ۱۴۰۴ و هم‌زمان با افزایش بارندگی به ۶۴۸ هکتار رسید. نتایج نشان دهنده توسعه در حدود ۱۵ برابری اراضی کشاورزی درون زیستگاه تمساح و در حریم حفاظتی رودخانه سرباز، می‌باشد. بنابر نتایج این مطالعه، با توجه به فشار ایجاد شده بر روی زیستگاه تمساح، مدیریت رابطه انسان با تمساح در سطح زیستگاه ها، ضروری می‌باشد.

استناد: ملکی، سعیده؛ راهداری، وحید؛ آبتین، الهام؛ و مبارکی، اصغر (۱۴۰۵). پایش بلندمدت تغییرات کاربری و پوشش سرزمین و عوامل اقلیمی در زیستگاه تمساح مردابی (*Crocodylus palustris*) با استفاده از سنجش از دور. *محیط زیست طبیعی*، ۷۹ (۴)، ۷۶۳–۷۴۵.

DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2026.421002.2939

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

مقدمه

تمساح به‌عنوان شکارچی رأس هرم غذایی و گونه‌ای کلیدی، نقشی بنیادین در پایداری ساختار بوم‌سازگان، پایش سلامت محیط‌های تالابی، تنظیم جمعیت ماهیان و پالایش جوامع جانوری ایفا می‌کند (Mobaraki and Abtin, 2007; Villamarín *et al*., 2011). تمساح پوزه‌کوتاه مردابی یا گاندو (*Crocodylus palustris*) تنها گونهٔ راستهٔ کروکودیل‌سانان در ایران و از ارزشمندترین عناصر تنوع زیستی در اکوسیستم‌های آبی جنوب‌شرق کشور به‌شمار می‌رود (Mobaraki and Abtin, 2021). گسترهٔ پراکنش طبیعی تمساح مردابی در ایران به حوضه‌های آبخیز رودخانه‌های سرباز، باهوکلات، کاجو و نوار ساحلی مکران در جنوب استان سیستان و بلوچستان محدود بوده که غربی‌ترین حد پراکنش جهانی آن محسوبمی‌شود (Mobaraki *et al*., 2017; DEPSB, 2019). وابستگی زیستی شدید این گونه به پهنه‌های آبی پایدار، بستر شنی و ماسه‌ای سواحل، کناره‌های امن برای آفتاب‌گیری و پناهگاه‌های متراکم گیاهی حاشیه‌ای، زیستگاه آن را به‌شدت در برابر دگرگونی‌های ساختاری سیمای سرزمین آسیب‌پذیر ساخته است (Mobaraki and Abtin, 2007; DEPSB, 2019; Bhattarai *et al*., 2022). از این‌رو، هرگونه تغییر در تعادل هیدرولوژیک، پوشش گیاهی حاشیهٔ رودخانه‌ها و الگوی کاربری اراضی پیرامونی، بقای این گونهٔ با ارزش را در معرض تهدیدات جدی قرارمی‌دهد (Erfani and Salmanmahiny, 2025). براساس ارزیابی‌های بین‌المللی اتحادیهٔ جهانی حفاظت از طبیعت، تمساح مردابی در ردهٔ گونه‌های آسیب‌پذیر قرار دارد و در ضمیمهٔ نخست پیمان کنوانسیون تجارت بین‌المللی گونه‌های گیاهی و جانوری وحشی در معرض خطر انقراض درج شده است (Choudhury and de Silva, 2013). در دهه‌های اخیر، فشارهای فزایندهٔ انسانی ناشی از رشد جمعیت، بهره‌برداری ناپایدار از آب و تخریب تالاب‌ها، جمعیت‌های وحشی این گونه را در زیستگاه‌های طبیعی با افول محسوسی روبه‌رو کرده است (Bhatt *et al*., 2012; Bhattarai *et al*., 2022). بررسی‌های بوم‌شناختی در شبه‌قارهٔ هند و پاکستان نشان داده است که دگرگونی‌های انسانی و انقباض منابع آب شیرین، تهدید اصلی زیستگاه‌های گاندو به‌شمار می‌روند (Chang *et al*., 2013). در این بوم‌سازگان‌ها، تغییرات ساختاری حوضه، آلودگی‌های کشاورزی، احداث موانع فیزیکی و کاهش شدید دبی رودخانه‌ها پیوستگی مکانی لکه‌های زیستگاهی را از بین برده است (Chang *et al*., 2015). تجارب جهانی در حوزهٔ حفاظت تمساح‌سانان حاکی از آن است که پایداری بلندمدت این جانوران مستلزم پایش مستمر، حفظ یکپارچگی زیستگاه و تنظیم سازوکارهای همزیستی میان جوامع بومی و جمعیت‌های وحشی است (Utete, 2021). از سوی دیگر، ویژگی‌های رفتاری و اکولوژیک گاندو، به‌ویژه در ارتباط با زیست‌شناسی تولیدمثل و آشیان‌گزینی، حساسیت این جانور را به تحولات محیطی دوچندان می‌کند (Whitaker and Whitaker, 1984). تمساح‌های مردابی ماده برای لانه‌سازی نیازمند حواشی خاکی و شنی با شیب مناسب، پوشش گیاهی حفاظتی نظیر نیزارها و عدم نوسانات شدید سطح آب هستند تا از آب‌گرفتگی یا خشکی کامل تخم‌ها جلوگیری شود (Mobaraki *et al*., 2023). پژوهش‌ها نشان می‌دهند که تخریب پوشش گیاهی کناره‌ای و بهره‌برداری انسانی از بستر رودخانه‌ها، موفقیت تولیدمثلی و زادآوری گاندو را مستقیماً کاهشمی‌دهد (Mobaraki and Ayafat, 2007; Erfani and Salmanmahiny, 2025). به‌علاوه، در فصول خشک و دوره‌های کم‌آبی، گاندو برای بقا دست به مهاجرت‌های طولی میان برکه‌ها می‌زند که این جابجایی پیوسته، اهمیت راهروهای ارتباطی هیدرولوژیک و لزوم پایداری زیستگاه‌های بینابینی را آشکار می سازد (Mobaraki and Abtin, 2007; DEPSB, 2019). یکی از مهم‌ترین محرک‌های دگرگونی زیستگاه‌های طبیعی در دهه‌های گذشته، پدیدهٔ تغییر اقلیم، وقوع خشکسالی‌های متوالی و نوسانات شدید بارش در جنوب‌شرق ایران بوده است (Sarani *et al*., 2024). اقلیم گرم و خشک منطقه همراه با توالی دوره‌های بی‌آبی طولانی و سیلاب‌های مخرب فصلی، ماندگاری برکه‌ها و حجم ذخایر آبی زیستگاه‌های طبیعی گاندو را به‌شدت دگرگون کرده است (Chang *et al*., 2013, 2015; Mobaraki *et al*., 2019). شبیه‌سازی‌های هیدرولوژیک با استفاده از سناریوهای اقلیمی نشان می‌دهند که کاهش جریان پایهٔ رودخانه‌ها و افزایش تبخیر سطحی، نیاز آبی محیط‌زیستی حوضهٔ باهوکلات را تشدید کرده و کمبود آب مزمن در پایین‌دست ایجاد می‌کند (Sarani *et al*., 2024). در این شرایط دشوار اقلیمی، کاهش عمق استخرهای طبیعی و خشک شدن برکه‌های کلیدی سبب افت ظرفیت برد اکولوژیک و تشدید استرس زیستگاهی بر جوامع حیات‌وحشمی‌گردد (Mobaraki *et al*., 2019). همگام با تنش‌های اقلیمی، تغییر کاربری و پوشش اراضی به‌عنوان عامل مستقیم انسانی، چشم‌اندازهای تالاب‌ها را دگرگون ساخته است (Salar *et al*., 2024). در طول سال‌های متمادی، رشد فعالیت‌های کشاورزی در حاشیهٔ دشت‌های سیلابی و بستر رودخانه‌های سرباز و باهوکلات

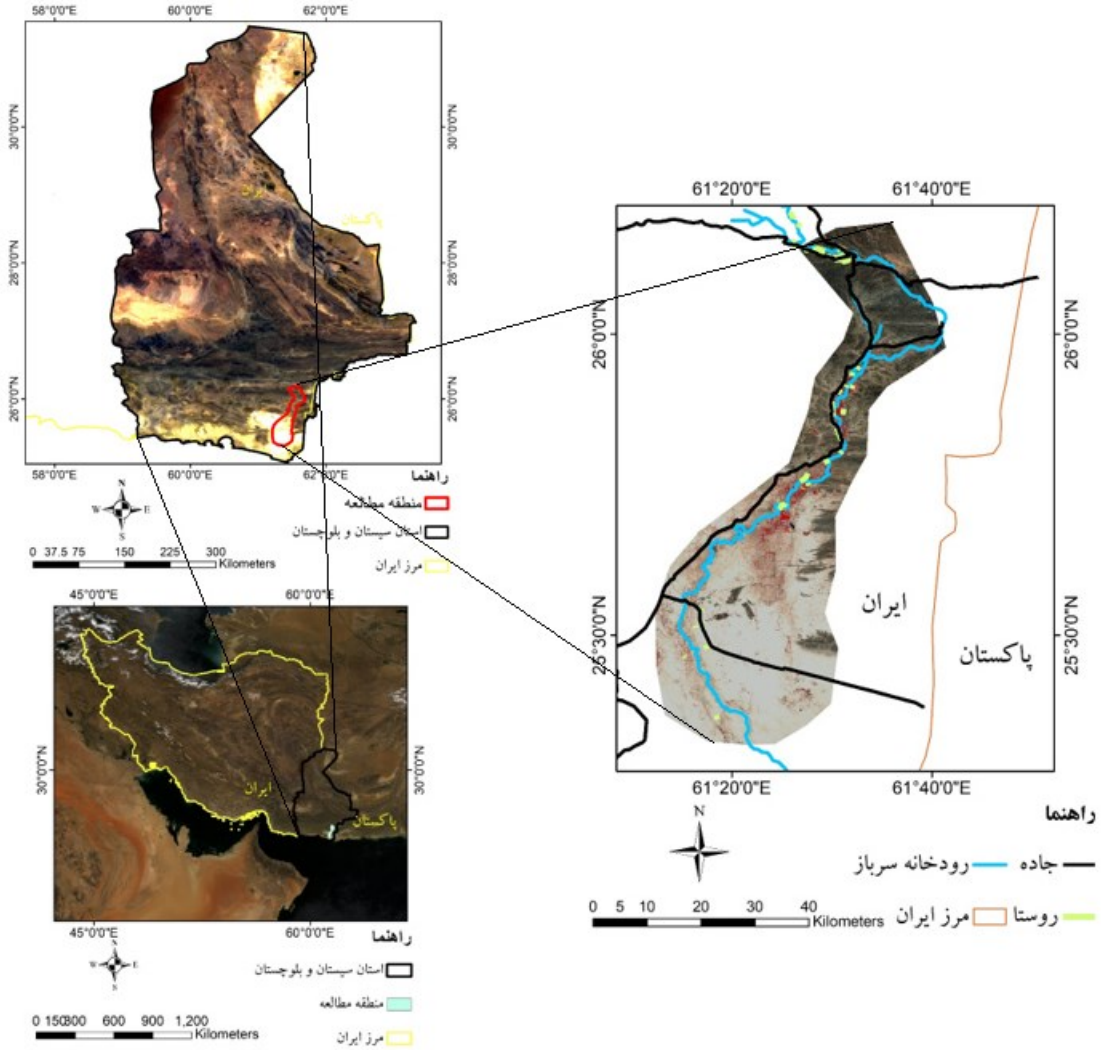
به توسعهٔ چشمگیر اراضی زراعی و باغی انجامیده است (DEPSB, 2019). این توسعهٔ کشاورزی نامتوازن با برداشت بی‌رویهٔ منابع آب سطحی و زیرزمینی، احداث بندها و تلمبه‌گذاری‌های گسترده همراه بوده و به تحلیل رفتن ذخایر آبی حوضه دامن زده است (Mobaraki and Abtin, 2021). همزمان با گسترش اراضی زراعی، بخش عظیمی از مراتع طبیعی، بوته‌زارها و نیزارهای حاشیه‌ای تصرف شده، زیر کشت رفته یا در اثر چرای مفرط دام و دخل و تصرفات انسانی تخریب گردیده‌اند (Mobaraki and Ayafat, 2007). از دست رفتن اراضی مرتعی و پوشش طبیعی پیرامون رودخانه نه تنها پناهگاه‌های زیستی و امنیت حرکتی گاندو را مخدوش می‌کند، بلکه نرخ فرسایش خاک، رسوب‌گذاری در آبگیرها و افت کیفیت فیزیکوشیمیایی آب را به شدت افزایشمی‌دهد (Erfani and Salmanmahiny, 2025). دگرگونی کاربری اراضی و خشکی منابع آب، پدیدهٔ تعارض انسان و تمساح را در بلوچستان تشدید کرده است. با خشک شدن برکه‌های طبیعی، تمساح‌ها و جوامع روستایی به ناچار در نقاط مشترک نظیر آبگیرهای مصنوعی موسوم به هوتک‌ها، دریاچهٔ پشت سدها و پمپ‌های کشاورزی متمرکزمی‌شوند (Mobaraki and Abtin, 2007; Mobaraki *et al*., 2019). این همپوشانی مکانی اجباری میان انسان، دام و کروکودیل به بروز حملات، خسارات اقتصادی، تلفات دام و در نهایت اقدامات تلافی‌جویانهٔ محلی مانند تخریب لانه‌ها و کشتن تمساح‌ها می‌انجامد (Rao *et al*., 2013). این تحولات روش نمی‌سازد که حفاظت از گاندو جدا از مدیریت جامع الگوی کاربری اراضی در حوضهٔ آبخیز ناممکن خواهد بود (Erfani and Salmanmahiny, 2025).

برای پایش و ارزیابی دقیق روند دگرگونی پوشش زمین، استفاده از فناوری سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی مؤثرترین ابزار به شمارمی‌رود (Rahdari *et al*., 2011; Salar *et al*., 2024). تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه امکان استخراج نقشه‌های موضوعی، آشکارسازی روند تبدیل اراضی و پایش زمانی–مکانی تغییرات را در سطوح وسیع حوضه‌ای فراهم می‌آورند (Rahdari *et al*., 2011; Shahraki et al., 2025). این نقشه‌ها می‌توانند مورد استفاده مدیران سرزمین در راستای حفاظت از تنوع زیستی و زیستگاههای حیات وحش قرار گیرد (Rahdari *et al*., 2011; Salar *et al*., 2024). مطالعات پیشین انجام‌شده دربارهٔ تمساح پوزه‌کوتاه در ایران عمدتاً بر ارزیابی مطلوبیت زیستگاه، متغیرهای زیست‌اقلیمی و پراکنش نقاط حضور تمرکز داشته‌اند (DEPSB, 2019; Mobaraki *et al*., 2019; Salmanmahiny and Erfani, 2025). پژوهش حاضر ادعای ارائهٔ یک الگوریتم جدید طبقه‌بندی را ندارد، نوآوری آن در ایجاد یک ارزیابی بلندمدت و همگن از تغییرات کاربری و پوشش اراضی در محدودهٔ بالقوهٔ زیستگاه گاندو طی یک دورهٔ ۳۰ ساله، استفاده از چهار مقطع زمانی لندست با چارچوب طبقه‌بندی یکسان، و بررسی همزمان این تغییرات با سری زمانی دما و بارندگی است. همچنین، تغییرات پهنه‌های آبی، پوشش گیاهی و اراضی کشاورزی در ارتباط با سامانهٔ رودخانهٔ سرباز–باهوکلات و آبگیرهای وابسته تفسیر می‌شوند. بنابراین ارزش افزودهٔ مطالعه بیشتر در چارچوب زمانی–مکانی و کاربرد حفاظتی نتایج برای تعیین نواحی نیازمند پایش دقیق‌تر است، نه در معرفی یک روش جدید سنجش‌ازدور. بر این اساس، هدف پژوهش حاضر آشکارسازی روندهای بلندمدت کاربری و پوشش اراضی طی سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۴۰۴، بررسی روند متغیرهای اقلیمی و شناسایی تغییراتی است که می‌توانند مبنایی برای پایش‌های میدانی و اکولوژیک هدفمندتر در آینده فراهم کنند.

روش‌شناسی پژوهش

منطقهٔ مطالعه: منطقهٔ مورد مطالعه، بخشی از منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ باهوکلات در جنوب استان سیستان و بلوچستان و در محدودهٔ شهرستان‌های دشتیاری و راسک و در امتداد مرز شرقی ایران با پاکستان واقع شده است (Shareki *et al*., 2015; Mobaraki *et al*., 2019). وسعت منطقهٔ مطالعه ۱۸۷۱۶۶ هکتار می‌باشد. اقلیم این منطقه به روش دومارتن، دارای آب و هوای گرم و مرطوب و با میانگین بارندگی ۱۳۰میلی‌متر می‌باشد و در تابستان با شروع فصل بارندگی‌های مونسون دارای اقلیم معتدل است (Shahreki *et al*., 2025). بارندگی این منطقه، پراکنش زمانی و مکانی نامنظمی دارد، به‌گونه‌ای که سیلاب‌های ناگهانی و دوره‌های خشکسالی طولانی، مهم‌ترین عوامل طبیعی مؤثر بر وضعیت منابع آب و زیستگاه‌های منطقه به‌شمار می‌روند (Sarani *et al*., 2024; Shahreki *et al*., 2025). منطقهٔ مورد مطالعه، بیشتر از دشت‌های خشک و نیمه‌خشک، ارتفاعات کم‌وبیش پراکنده، بستر رودخانه‌ها، آبراهه‌های فصلی، آبگیرهای طبیعی و مصنوعی و پوشش گیاهی حاشیهٔ رودخانه تشکیل شده است (Mobaraki and

Ayafat, 2007). بقای بوم‌سازگان‌های آبی منطقه به جریان رودخانه‌ها، سیلاب‌های فصلی، آب ذخیره‌شده در برکه‌ها و مخازن سدها وابستگی زیادی دارد (Sarani *et al*., 2024). رودخانهٔ باهوکلات یا سرباز، مهم‌ترین جریان آبی منطقه و محور اصلی شکل‌گیری زیستگاه تمساح مردابی است (Mobaraki *et al*., 2007). برکه‌های طبیعی و دست‌ساز از اجزای مهم شبکهٔ زیستگاهی منطقه هستند که با دارا بودن پوشش گیاهی متراکم، مهمترین زیستگاه تمساح تالابی می‌باشند (Mobaraki *et al*., 2019; Mobaraki and Ayafat, 2007) و در فصل خشک، به‌عنوان لکه‌های زیستگاهی میان رودخانه‌های اصلی عملی‌کنند (Mobaraki and Ayafat, 2007). بخش عمدهٔ جمعیت تمساح مردابی ایران در برکه‌ها و مسیرهای آبی رودخانه سرباز متمرکز است (Mobaraki *et al*., 2019). شکل ۱ موقعیت منطقهٔ مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- محدودهٔ منطقهٔ مطالعه در زیستگاه بالقوهٔ تمساح مردابی

Figure 1. Location and extent of the study area within the potential habitat of the mugger crocodile

داده‌های مورد استفاده: برای دستیابی به اهداف مطالعه از سری تصاویر ماهواره‌های لندست برای فروردین‌ماه سال‌های ۱۳۷۴، ۱۳۸۴، ۱۳۹۴ و ۱۴۰۴ مربوط به سنجنده‌های TM برای دو سال اول و OLI برای دو سال دوم استفاده شد. در سطح منطقهٔ مطالعه، ۲۱ محل مشاهدهٔ تمساح مردابی با استفاده از اطلاعات کارشناسان ادارهٔ کل محیط‌زیست استان سیستان و بلوچستان و مردم محلی شناسایی و توسط کارشناسان تأیید شد. این نقاط صرفاً برای تأیید حضور گونه و توصیف زمینهٔ زیستگاهی منطقه به‌کار رفتند و به‌دلیل نبود تکرار زمانی و اطلاعات استانداردشدهٔ فراوانی، برای برآورد اندازهٔ جمعیت، روند جمعیتی، موفقیت تولیدمثل یا میزان تعارض انسان و تمساح استفاده نشدند. همچنین نمونه‌برداری میدانی در فروردین سال ۱۴۰۴ با هدف تعیین موقعیت اراضی

کشاورزی، پوشش گیاهی متراکم، اراضی شور و بایر و پهنه‌های آبی انجام شد. داده‌های هواشناسی مربوط به دما و بارندگی نیز برای دورهٔ مطالعه مورد استفاده قرار گرفت.

پیش‌پردازش داده‌های ماهواره‌ای: در مرحلهٔ پیش‌پردازش، ابتدا مرز منطقهٔ مطالعه به‌عنوان زیستگاه بالفعل تمساح در حاشیهٔ رودخانه باهوکلات براساس بررسی مطالعات پیشین (Mobaraki *et al*., 2013; Mobaraki *et al*., 2019) و نظرات کارشناسان آشنا به منطقه در ادارهٔ کل محیط‌زیست استان سیستان و بلوچستان تعیین و به محیط Google Earth Engine انتقال یافت و عوارض آن برای تشکیل یک محدودهٔ یکپارچه ادغام شدند. سپس تصاویر سطح دوم لندست، براساس محدودهٔ مکانی پژوهش و حداکثر پوشش ابر ۱۰ درصد فراخوانی شدند. مقادیر رقومی باندهای بازتابی با اعمال ضریب مقیاس ۰/۰۰۰۰۲۷۵ و مقدار اصلاحی منفی ۰/۲ به بازتاب سطحی تبدیل گردیدند (USGS, 2024). باندهای آبی، سبز، قرمز، مادون‌قرمز نزدیک و دو باند مادون‌قرمز کوتاه‌موج انتخاب و نام‌گذاری شدند. در پایان، تصاویر دو ماهواره ادغام، ترکیب میانه تهیه و خروجی به مرز منطقهٔ مطالعه برش داده شد تا داده‌ای یکنواخت برای طبقه‌بندی فراهم شود.

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای: به‌منظور تهیهٔ نمونه‌های تعلیمی و شناسایی دقیق طبقات کاربری و پوشش اراضی، عملیات نمونه‌برداری میدانی در محدودهٔ زیستگاه گاندو همزمان با برداشت جدیدترین تصویر انجام شد. تعریف طبقات براساس شرایط منطقه، بازدیدهای میدانی، تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات پیشین (Rahdari *et al*., 2011) انجام گرفت. برای تصاویر سال ۱۴۰۴، نمونه‌های تعلیمی با استفاده از داده‌های میدانی و موقعیت‌های ثبت‌شده با GPS تهیه شدند و برای تصاویر سال‌های قبل، نمونه‌های لازم با تفسیر بصری تصاویر رنگی کاذب و با توجه به الگوی مکانی و طیفی طبقات تعیین شدند. طبقات نهایی شامل پهنه‌های آبی، شوره‌زار، اراضی بایر، اراضی کشاورزی، پوشش گیاهی با تراکم متوسط و پوشش گیاهی متراکم بودند. اندازهٔ پلات‌های نمونه‌برداری پوشش گیاهی با استفاده از روش حداقل سطح مؤثر تعیین و پلات‌های ۳×۳ متر برای اندازه‌گیری پوشش گیاهی انتخاب شدند (Rahdari *et al*., 2014). در هر پلات، درصد تراکم پوشش گیاهی براساس سطح اشغال‌شده توسط تاج‌پوشش گیاهان برآورد و نوع کاربری یا پوشش غالب ثبت شد. مختصات نقاط و محدوده‌های نمونه‌برداری نیز با GPS برداشت شد. به‌منظور تأمین نمونهٔ کافی برای آموزش الگوریتم و کاهش اثر تفاوت زیاد در وسعت طبقات، نمونه‌برداری به‌صورت طبقه‌بندی‌شده انجام شد و برای هر طبقهٔ سطحی معادل حدود ۴ درصد از مساحت آن طبقه به‌عنوان مبنای تهیهٔ نمونه‌های تعلیمی در نظر گرفته شد، به‌گونه‌ای که طبقات کم‌وسعت، به‌ویژه اراضی کشاورزی و پهنه‌های آبی، نیز تعداد نمونهٔ کافی داشته باشند. داده‌ها به دو مجموعهٔ مستقل آموزشی و آزمون تقسیم شدند، حدود ۸۰ درصد نمونه‌ها برای آموزش و ۲۰ درصد برای ارزیابی مستقل در نظر گرفته شدند و نمونه‌های آزمون در آموزش مدل وارد نشدند. طبقه‌بندی با الگوریتم Random Forest (Breiman, 2001) در Google Earth Engine انجام شد.

جدول ۱- مشخصات کاربری و پوشش سرزمین منطقه

Table 1. Definitions of land-use and land-cover classes in the study area

کاربری و پوشش اراضی	تعریف
پهنهٔ آبی	مناطق زیر آب
اراضی کشاورزی	مناطق زیر کشت محصولات کشاورزی و باغی در زمان برداشت تصویر
پوشش گیاهی متراکم	مناطقی با درصد تاج‌پوشش گیاهی طبیعی بیشتر از 60 درصد
پوشش گیاهی باتراکم متوسط	مناطقی با درصد تاج‌پوشش گیاهی طبیعی 20 تا 60 درصد
شورزار	اراضی‌ای که در قشر سطحی آنها مقادیر متنابهی از نمک‌های محلول جمع شده است و در تصاویر ماهواره‌ای با تن رنگ سفید قابل مشاهده هستند.
اراضی بایر	اراضی دارای تاج پوشش گیاهی کمتر از 20 درصد و غیر شور

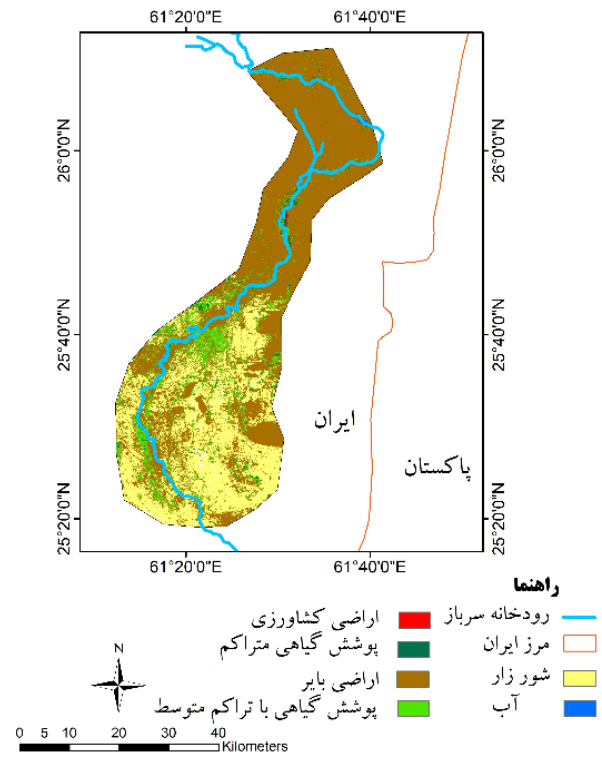
تهیهٔ اطلاعات اقلیمی: برای بررسی شرایط اقلیمی منطقهٔ مطالعه، داده‌های دما و بارندگی دورهٔ ۱۳۷۴ تا ۱۴۰۴ از مجموعه بازتحلیل ماهانهٔ ERA5-Land در سامانهٔ Google Earth Engine استخراج شد. این مجموعه داده، متغیرهای اقلیمی را با تفکیک مکانی تقریبی ۱۱ کیلومتر ارائه می‌کند. ابتدا داده‌ها براساس مرز منطقهٔ مطالعه و بازهٔ زمانی مورد نظر فیلتر شدند. میانگین

دمای سالانه با محاسبهٔ میانگین تصاویر ماهانهٔ باند دمای هوا در ارتفاع دو متری به‌دست آمد. برای محاسبهٔ بارندگی سالانه، مقادیر ماهانهٔ باند بارش تجمعی در هر سال بر حسب میلی‌متر، با یکدیگر جمع شدند. در نهایت، میانگین مکانی دما و بارندگی سالانه در سراسر منطقهٔ مطالعه محاسبه و نتایج به‌صورت جدول برای سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۴۰۴ استخراج شد. همچنین تعداد تصاویر ماهانه هر سال کنترل گردید تا از وجود داده‌های کامل دوازده‌ماهه اطمینان حاصل شود. داده‌های ERA5-Land از تلفیق مشاهدات اقلیمی و مدل‌سازی عددی سطح زمین تهیه شده‌اند و برای بررسی تغییرات بلندمدت اقلیمی مناسب هستند (Muñoz-Sabater *et al*., 2021).

ارزیابی دقت نقشه‌های تهیه شده: برای ارزیابی دقت نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی، از نمونه‌های آزمونی استفاده شد که مستقل از نمونه‌های آموزشی بودند و در فرآیند آموزش Forest Random وارد نشدند. برای هر سال، طبقهٔ پیش‌بینی‌شده با طبقهٔ مرجع مقایسه و ماتریس خطا تشکیل شد. سپس صحت کلی، ضریب کاپا، صحت تولیدکننده و صحت کاربر محاسبه گردید (Rahdari *et al*., 2011; Salar *et al*., 2024; Sharaki *et al*., 2024). به‌دلیل تفاوت زیاد در سطح اشغال طبقات، صحت تولیدکننده و صحت کاربر هر طبقه نیز به‌طور جداگانه بررسی شد تا عملکرد مدل در طبقات کم‌وسعت، به‌ویژه اراضی کشاورزی و پهنه‌های آبی، تحت تأثیر غلبه طبقات وسیع‌تر پنهان نشود.

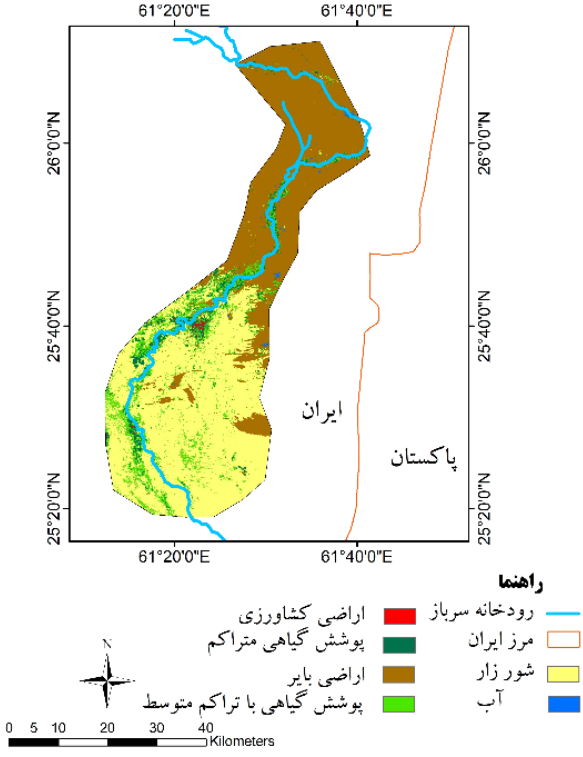
یافته‌های پژوهش

تغییرات کاربری و پوشش اراضی: بررسی نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی در سال‌های منتخب (شکل ۲ الف–د) نشان داد که مساحت طبقات مختلف زیستگاه تمساح مردابی طی دورهٔ مطالعه تغییر کرده است. براساس نقشه‌های (شکل ۲ الف–د) و شکل (۳ الف–د) اراضی بایر و شوره‌زارها در تمام سال‌ها بیشترین سطح منطقه را تشکیل دادند، درحالی‌که پهنه‌های آبی و اراضی کشاورزی سهم کمتری داشتند. مساحت پهنه‌های آبی در سال‌های ۱۳۷۴ و ۱۳۸۴ تقریباً ثابت و به‌ترتیب برابر با ۳۸۵ و ۳۸۷ هکتار بود. این طبقه در سال ۱۳۹۴ به ۱۸۹ هکتار کاهش یافت، اما در سال ۱۴۰۴ به ۶۴۸ هکتار افزایش پیدا کرد و به بیشترین مقدار دوره رسید. شوره‌زارها روندی افزایشی و سپس کاهشی نشان دادند ولی در پایان دوره همچنان حدود ۲۰۴۶۰ هکتار بیشتر از سال ۱۳۷۴ می‌باشد. اراضی بایر با پوشش گیاهی کمتر از ۲۰ درصد در سال ۱۳۷۴ با مساحت ۱۱۰۳۵۰ هکتار، گسترده‌ترین طبقهٔ منطقه بود. مساحت این طبقه در سال ۱۳۸۴ به ۷۲۵۲۴ هکتار کاهش یافت. در ادامه، روند آن افزایشی شد و در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۴۰۴ به‌ترتیب به ۸۳۰۷۶ و ۹۰۷۳۱ هکتار رسید. اراضی کشاورزی در سراسر دوره روندی افزایشی داشتند. مساحت این کاربری از ۱۵۵ هکتار در سال ۱۳۷۴ به ۳۵۴ هکتار در سال ۱۳۸۴ و ۶۶۹ هکتار در سال ۱۳۹۴ رسید. بیشترین گسترش اراضی کشاورزی در فاصلهٔ سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۴ رخ داد و مساحت آن به ۲۳۹۴ هکتار افزایش یافت. در مجموع، طی دورهٔ مطالعه حدود ۲۲۳۹ هکتار به سطح اراضی کشاورزی اضافه شد. پوشش گیاهی با تراکم متوسط در ابتدای دوره ۱۶۲۳۸ هکتار وسعت داشت و در سال ۱۴۰۴ به ۱۴۲۴۱ هکتار کاهش یافت. پوشش گیاهی متراکم که غالباً نیزارهای درون رودخانه باهوکلات و برکه‌ها می‌باشند، تغییرات نوسانی داشت. مساحت این طبقه از ۴۱۹۴ هکتار در سال ۱۳۷۴ به ۵۶۳۴ هکتار در سال ۱۳۸۴ افزایش یافت، اما در سال ۱۳۹۴ به ۱۹۷۸ هکتار کاهش پیدا کرد. این روند کاهشی تا سال ۱۴۰۴ ادامه یافت و مساحت پوشش گیاهی متراکم به ۱۸۲۵ هکتار رسید. به‌این‌ترتیب، مساحت این طبقه در پایان دوره حدود ۲۳۶۹ هکتار کمتر از مقدار اولیه بود.



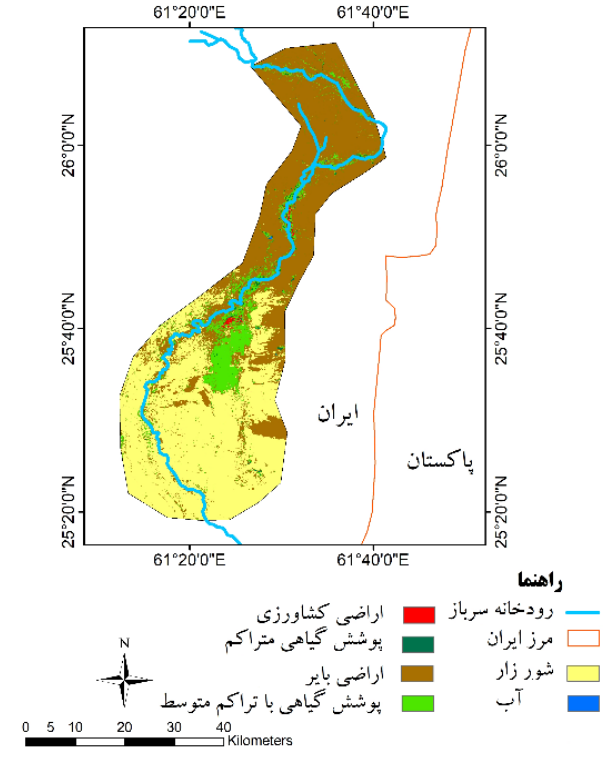
شکل الف- نقشهٔ کاربری و پوشش اراضی سال ۱۳۷٤

(a) Land-use and land-cover map for 1995



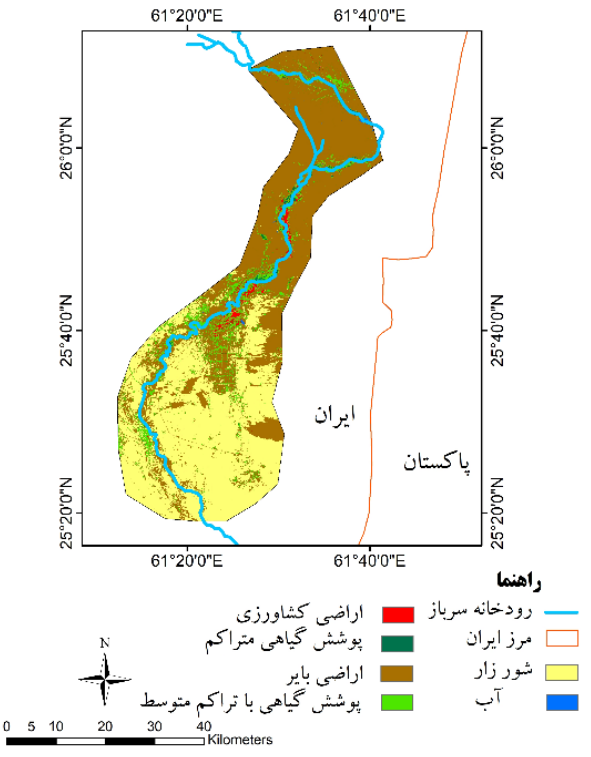
شکل ب- نقشهٔ کاربری و پوشش اراضی سال ۱۳۸٤

(b) Land-use and land-cover map for 2005



ج- نقشهٔ کاربری و پوشش اراضی سال ۱۳۹٤

(c) Land-use and land-cover map for 2015



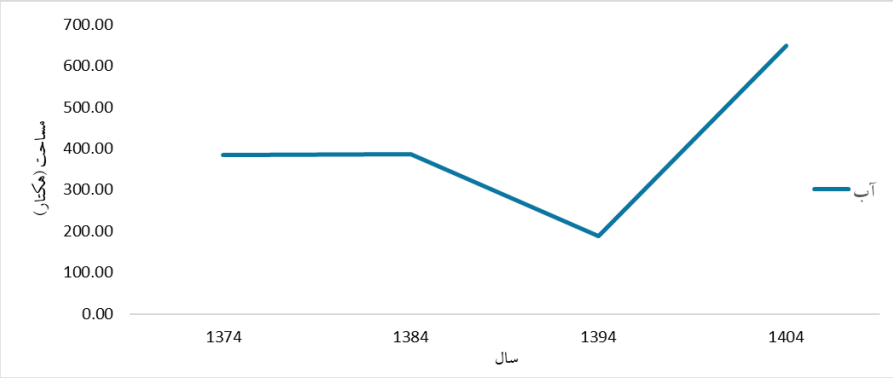
د- نقشه کاربری و پوشش اراضی سال ۱٤۰٤

(d) Land-use and land-cover map for 2025

شکل ۲- نقشهٔ کاربری و پوشش اراضی زیستگاه تمساح مردابی الف) سال ۱۳۷٤، ب) سال ۱۳۸٤، ج) سال ۱۳۹٤ و د) سال ۱٤۰٤

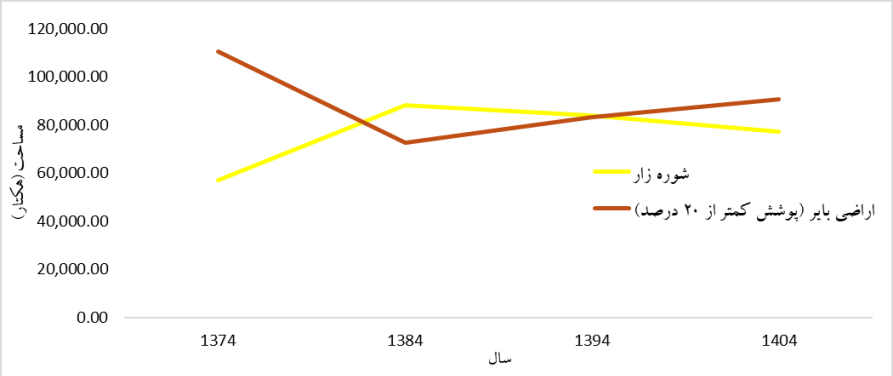
Figure 2. Land-use and land-cover maps of the mugger crocodile habitat: (a) 1995, (b) 2005, (c) 2015, and (d) 2025

شکل ۳ الف تا د، روند تغییرات کاربری و پوشش اراضی زیستگاه بالقوهٔ تمساح مردابی در استان سیستان و بلوچستان برای سال های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



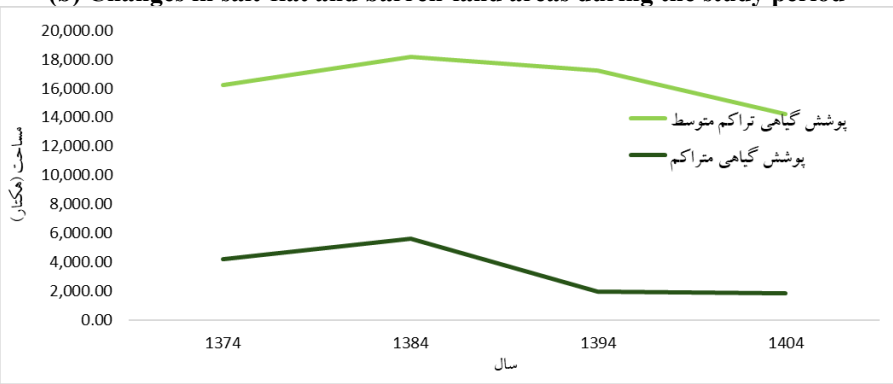
الف- روند تغییرات سطح اراضی زیر آب در دورهٔ مطالعه

(a) Changes in surface-water area during the study period



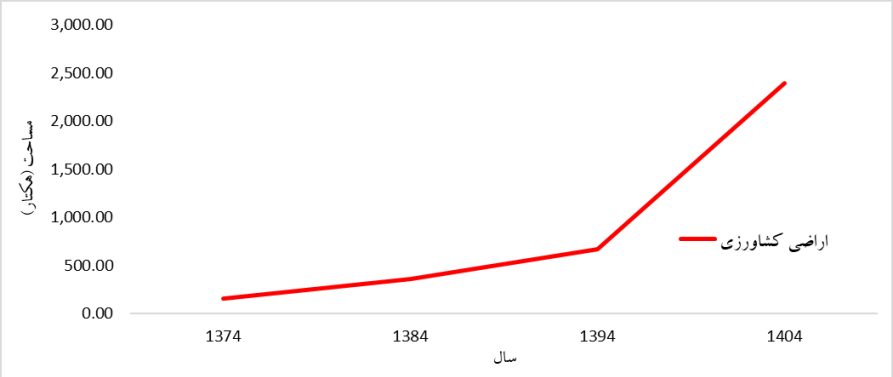
ب- روند تغییر سطح شوره‌زارها و اراضی بایر در دورهٔ مطالعه

(b) Changes in salt-flat and barren-land areas during the study period



ج- روند تغییر سطح پوشش گیاهی متراکم و با تراکم متوسط در دورهٔ مطالعه

(c) Changes in dense and moderately dense vegetation areas during the study period



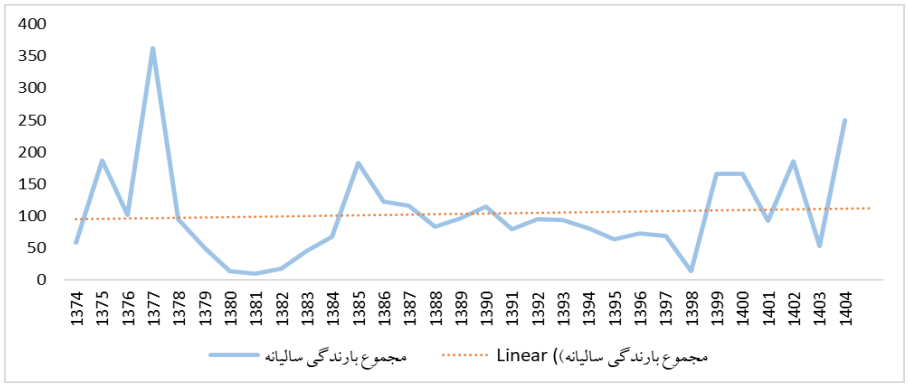
د- روند تغییر سطح اراضی کشاورزی در دورهٔ مطالعه

(d) Changes in agricultural land area during the study period.

شکل ۳- روند تغییرات کاربری و پوشش اراضی در زیستگاه تمساح مردابی الف- روند تغییرات اراضی زیر آب، ب- روند تغییرات شوره‌زارها و اراضی بایر، ج- روند تغییرات پوش گیاهی متراکم (>٦٠٪) و با تراکم متوسط (٦٠٪-٢٠)، د- روند تغییرات اراضی کشاورزی

Figure 3. Land-use and land-cover changes in the mugger crocodile habitat: (a) surface-water bodies; (b) salt flats and barren land; (c) dense (>60%) and moderately dense (20–60%) vegetation; and (d) agricultural land

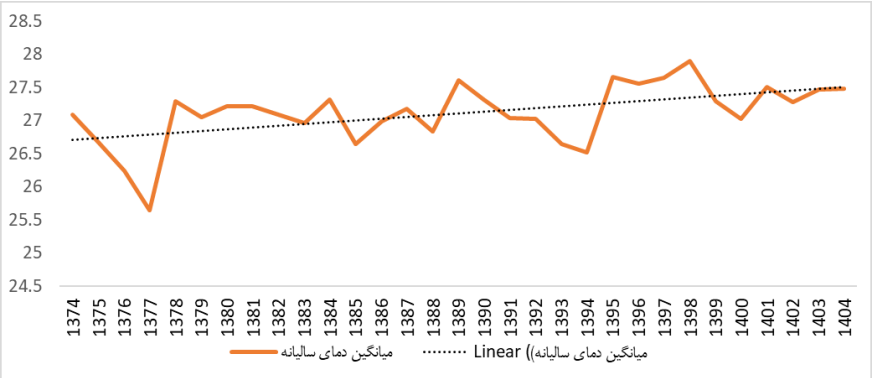
نتایج تغییرات بارندگی: بررسی مجموع بارندگی سالیانهٔ منطقه طی سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۴۰۴ (شکل ۴) نشان داد که بارندگی از نوسانات بین‌سالی شدیدی برخوردار بوده است. میانگین بارندگی سالیانه در این دوره حدود ۱۰۳ میلی‌متر و میانهٔ آن ۹۲ میلی‌متر بود. ضریب تغییرات حدود ۷۲ درصد نیز بیانگر تغییرپذیری زیاد بارندگی و تفاوت چشمگیر میان سال‌های خشک و پربارش منطقه است. بیشترین بارندگی سالیانه در سال ۱۳۷۷ و به میزان ۳۶۲ میلی‌متر ثبت شد. میزان بارندگی در سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۸ نیز به‌ترتیب ۱۳/۷۱، ۱۷/۷۵ و ۱۴/۴۵ میلی‌متر بود که این سال‌ها را در زمرهٔ خشک‌ترین سال‌های دوره قرار می‌دهد. یک دورهٔ کم‌بارش مشخص از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۳ مشاهده شد، به‌طوری‌که بارندگی سالیانه از ۵۱ میلی‌متر در سال ۱۳۷۹ به کمتر از ۱۸ میلی‌متر طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۲ رسید و در سال ۱۳۸۳ نیز تنها ۴۵ میلی‌متر بارندگی ثبت شد. در فاصلهٔ سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۷، مقادیر بارندگی عمدتاً بین حدود ۶۳ تا ۱۲۲ میلی‌متر متغیر بود. پس از ثبت ۱۸۶ میلی‌متر بارندگی در سال ۱۴۰۲، مقدار آن در سال ۱۴۰۳ به ۵۳ میلی‌متر کاهش یافت و سپس در سال ۱۴۰۴ به ۲۵۰ میلی‌متر رسید. اختلاف حدود ۳۵۳ میلی‌متری میان خشک‌ترین و پربارش‌ترین سال نشان می‌دهد که رژیم بارندگی منطقه بسیار نامنظم است و سال‌های کم‌بارش و پربارش بدون الگوی زمانی یکنواختی رخ داده‌اند.



شکل ٤- روند تغییرات بارندگی در منطقهٔ مطالعه بین سال‌های ١٣٧٤ الی ١٤٠٤

Figure 4. Annual precipitation in the study area from 1995 to 2020

تغییرات دمای منطقه: بررسی میانگین دمای سالیانهٔ منطقه طی سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۴۰۴ (شکل ۵) نشان داد که دما، با وجود نوسانات بین‌سالی، در مجموع روندی افزایشی داشته است. میانگین دمای کل دوره حدود ۲۷/۱۱ درجهٔ سلسیوس بود. کمترین میانگین دمای سالیانه در سال ۱۳۷۷ و معادل ۲۵/۶۵ درجه سلسیوس ثبت شد، درحالی‌که بیشترین مقدار آن در سال ۱۳۹۸ و برابر با ۲۷/۹۰ درجه سلسیوس بود. در سال ۱۳۷۴، همزمان با نخستین نقشهٔ کاربری و پوشش اراضی، میانگین دمای سالیانه ۲۷/۰۹ درجهٔ سلسیوس بود. دما در سال‌های بعد کاهش یافت و در سال ۱۳۷۷ به کمترین مقدار دوره رسید، اما پس از آن مجدداً افزایش پیدا کرد. در سال ۱۳۸۴، نزدیک به زمان تهیهٔ دومین نقشه، میانگین دما ۲۷/۳۱ درجهٔ سلسیوس بود که حدود ۰/۲۳ درجه بیشتر از سال ۱۳۷۴ است. میانگین دما در سال ۱۳۹۴، همزمان با سومین مقطع بررسی تصاویر ماهواره‌ای، به ۲۶/۵۲ درجهٔ سلسیوس کاهش یافت. بااین‌حال، از سال ۱۳۹۵ به بعد افزایش محسوسی در دما مشاهده شد، به‌طوری‌که دمای سالیانه در سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۸ عمدتاً بیشتر از ۲۷/۵ درجهٔ سلسیوس بود. بیشترین دمای دوره نیز در سال ۱۳۹۸ ثبت شد. در سال ۱۴۰۴، مربوط به آخرین نقشهٔ کاربری و پوشش اراضی، میانگین دمای سالیانه به ۲۷/۴۹ درجهٔ سلسیوس رسید. این مقدار حدود ۰/۴۰ درجه بیشتر از سال ۱۳۷۴ و حدود ۰/۹۷ درجه بیشتر از سال ۱۳۹۴ بود. مقایسهٔ مقاطع زمانی تصاویر نشان می‌دهد که دما از ۲۷/۰۹ درجه در سال ۱۳۷۴ به ۲۷/۳۱ درجه در سال ۱۳۸۴ افزایش یافت، در سال ۱۳۹۴ به ۲۶/۵۲ درجه کاهش پیدا کرد و سپس در سال ۱۴۰۴ به ۲۷/۴۹ درجه رسید. بررسی میانگین‌های ده‌ساله نیز روند گرم‌شدن منطقه را تأیید کرد. میانگین دما در دورهٔ ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۳ حدود ۲۶/۸۵ درجهٔ سلسیوس بود، در دورهٔ ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۳ به ۲۷/۰۶ درجه و در دوره ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۳ به ۲۷/۳۹ درجهٔ سلسیوس افزایش یافت. شیب خط روند نیز افزایش تقریبی ۰/۰۲۶ درجهٔ سلسیوس در سال را نشان داد که در کل دوره معادل حدود ۰/۸ درجه سلسیوس است. بنابراین، با وجود افت‌وخیزهای سالانه، روند کلی دمای منطقه طی سه دههٔ مورد بررسی افزایشی بوده و سال‌های گرم‌تر عمدتاً در بخش پایانی دوره رخ داده‌اند.



شکل ٥- روند تغییرات دما در منطقهٔ مطالعه بین سال‌های ١٣٧٤ الی ١٤٠٤

Figure 5. Annual mean temperature in the study area from 1995 to 2025

ارزیابی دقت نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی: صحت کلی نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی برای سال‌های ۱۳۷۴، ۱۳۸۴، ۱۳۹۴ و ۱۴۰۴ به‌ترتیب ۸۸/۳۲، ۸۹/۳۳، ۹۰/۳۳ و ۹۱ درصد محاسبه شد. صحت کلی نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی بین حدود ۸۸ تا ۹۱ درصد و ضریب کاپا بین ۰/۸۵ تا ۰/۸۸ بود. ماتریس‌های خطای مربوط به این چهار سال در جدول‌های ۲ تا ۵ ارائه شده‌اند. علاوه بر صحت کلی و ضریب کاپا، صحت تولیدکننده و صحت کاربر هر طبقه نیز بررسی شد تا عملکرد مدل برای طبقات کم‌وسعت به‌صورت مستقل ارزیابی شود.

جدول ۲- ماتریس خطای طبقه‌بندی سال ۱۳۷٤

Table 2. Classification confusion matrix for 1995

مرجع \ طبقه‌بندی شده	آب	شوره‌زار	اراضی بایر	اراضی کشاورزی	پوشش متوسط	پوشش متراکم	مجموع مرجع	دقت تولیدکننده (٪)
آب	364,1	2	15	96	7	15	499,1	90.99
شوره‌زار	263	345,6	172	102	142	186	210,7	88.00
اراضی بایر	117	59	257,8	337	286	221	277,9	89.01
اراضی کشاورزی	49	33	60	714,1	12	36	904,1	90.02
پوشش متوسط	186	136	228	90	370,6	312	322,7	87.00
پوشش متراکم	258	38	139	82	27	987,3	531,4	87.99
مجموع طبقه بندی‌شده	237,2	613,6	871,8	421,2	844,6	757,4	743,31	—
دقت کاربر (٪)	60.97	95.95	93.08	70.80	93.07	83.81	—	—
ضریب کاپا		0.853		صحت کلی			88.32	

جدول ۳- ماتریس خطای طبقه‌بندی سال ۱۳۸٤

Table 3. Classification confusion matrix for 2005

مرجع \ طبقه بندی‌شده	آب	شوره‌زار	اراضی بایر	اراضی کشاورزی	پوشش متوسط	پوشش متراکم	مجموع مرجع	دقت تولیدکننده (٪)
آب	1,651	24	17	37	32	34	1,795	91.98
شوره‌زار	25	7,057	278	304	25	240	7,929	89.00
اراضی بایر	177	116	9,069	430	227	58	10,077	90.00
اراضی کشاورزی	34	85	36	1,825	17	8	2,005	91.02
پوشش متوسط	167	217	134	276	7,100	174	8,068	88.00
پوشش متراکم	168	119	124	86	25	4,221	4,743	88.99
مجموع طبقه بندی‌شده	2,222	7,618	9,658	2,958	7,426	4,735	34,617	—
دقت کاربر (٪)	74.3	92.64	93.90	61.70	95.61	89.14	—	—
ضریب کاپا		0.865		0.865	صحت کلی		89.33	

جدول ٤- ماتریس خطای طبقه‌بندی سال ۱۳۹٤

Table 4. Classification confusion matrix for 2015

مرجع \ طبقه بندی‌شده	آب	شوره‌زار	اراضی بایر	اراضی کشاورزی	پوشش متوسط	پوشش متراکم	مجموع مرجع	دقت تولیدکننده (٪)
آب	1,814	13	32	19	41	32	1,951	92.98
شوره‌زار	153	7,690	392	184	37	88	8,544	90.00
اراضی بایر	169	7	9,793	382	398	13	10,762	91.00
اراضی کشاورزی	39	32	30	2,069	5	74	2,249	92.00
پوشش متوسط	134	423	183	95	7,688	115	8,638	89.00
پوشش متراکم	42	138	142	138	47	4,560	5,067	89.99
مجموع طبقه بندی‌شده	2,3	8,303	10,572	2,887	8,216	4,882	37,21	—
دقت کاربر (٪)	77.16	92.62	92.63	71.67	93.57	93.40	—	—
ضریب کاپا		0.878		صحت کلی			90.33	

جدول ٥- ماتریس خطای محاسبه‌شده برای نقشه کاربری و پوشش اراضی سال ۱٤۰٤

Table 5. Classification confusion matrix for the land-use and land-cover map of 2025

مرجع \ طبقه بندی‌شده	آب	شوره‌زار	اراضی بایر	اراضی کشاورزی	پوشش متوسط	پوشش متراکم	مجموع مرجع	دقت تولیدکننده (٪)
آب	1110	8	15	5	25	10	1173	94.63
شوره‌زار	8	6290	430	5	125	36	6,894	91.24
اراضی بایر	10	420	7750	80	235	42	8537	90.78
اراضی کشاورزی	3	4	45	1350	50	9	1461	92.40
پوشش متوسط	4	70	220	55	6080	299	6728	90.37
پوشش متراکم	2	14	35	8	322	3756	4137	90.79
مجموع طبقه‌بندی شده	113	6806	8495	1503	6837	4152	28930	—
دقت کاربر (٪)	97.63	92.42	91.23	89.82	88.93	90.46	-	
صحت کلی		91%		ضریب کاپا			88.0	

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که نقشه‌های چندزمانهٔ سنجش‌ازدور می‌توانند تغییرات محیطی را در محدودهٔ مطالعه به‌صورت کمی آشکار کنند. صحت کلی، ضریب کاپا و ماتریس‌های خطای محاسبه شده (جداول ۲ تا ۵) عملکرد قابل‌قبول طبقه‌بندی را نشان دادند. در تفسیر گسترش کشاورزی، مقدار نسبی و مطلق تغییر باید همزمان مورد توجه قرار گیرد. مساحت اراضی کشاورزی از حدود ۱۵۵ هکتار در سال ۱۳۷۴ به ۲۳۹۴ هکتار در سال ۱۴۰۴ افزایش یافت که از نظر نسبی بیش از ۱۵ برابر است، بااین‌حال، این مقادیر به‌ترتیب فقط حدود ۰/۰۸ و ۱/۲۸درصد از کل محدودهٔ ۱۸۷۱۶۶ هکتاری مطالعه را تشکیل می‌دهند. بنابراین، افزایش ۱۵ برابری به‌تنهایی نشان‌دهندهٔ تخریب گسترده زیستگاه نیست. نقشه‌ها نشان می‌دهند بخشی از گسترش کشاورزی در مجاورت رودخانهٔ سرباز و مسیرهای آبی رخ داده است، اما در این مطالعه همپوشانی اراضی کشاورزی با زیستگاه‌های فعال تمساح، محل‌های لانه‌سازی یا محدوده‌های استفاده‌شده توسط افراد گونه به‌طور کمی محاسبه نشده است. ازاین‌رو، این الگو تنها به‌عنوان یک فشار بالقوهٔ محلی و یک اولویت برای پایش دقیق‌تر تفسیر می‌شود و به‌عنوان شاهد مستقیم کاهش کیفیت زیستگاه یا افت جمعیت گاندو نمی باشد. مطالعات پیشین نشان داده‌اند که تغییرات انسانی در حاشیه منابع آب می‌تواند برای تمساح مردابی اهمیت حفاظتی

داشته باشد (Mobaraki and Abtin, 2007; Bhatt *et al*., 2012; Chang *et al*., 2013, 2015). اما آزمون مستقیم چنین اثری در منطقهٔ مطالعه نیازمند داده‌های مستقل حضور، جابه‌جایی، لانه‌سازی و فراوانی جمعیت است. Gour و Whitaker (۲۰۲۶) یز به اولویت‌بندی اقدامات حفاظتی در مناطق با ارزش بالای زیستگاهی که با توسعهٔ کاربری‌های انسانی دچار آسیب شده‌اند، اشاره نموده‌اند.

Rahdari و همکاران (۲۰۱۱) قابلیت مقایسه پس از طبقه‌بندی را برای تعیین مقدار و جهت تغییرات کاربری نشان دادند. پژوهش حاضر این چارچوب را در یک زمینهٔ حفاظتی گونه‌محور به‌کار می‌گیرد و تغییرات خشکی، آب و پوشش گیاهی را در کنار سری زمانی بارندگی و دما بررسی می‌کند. این رویکرد امکان تعیین علت مستقیم تغییرات جمعیت یا کیفیت زیستگاه را فراهم نمی‌کند، اما می‌تواند روندها و نواحی نیازمند پایش میدانی و تحلیل‌های اکولوژیک دقیق‌تر را مشخص کند.

در این مطالعه برای بررسی زمینهٔ اقلیمی تغییرات محیطی از آمار بارندگی و دمای منطقه استفاده شد. داده‌های بارندگی نوسانات بین‌سالی شدیدی نشان دادند، بارندگی سالانه طی سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۴۰۴ از کمتر از ۱۰ میلی‌متر تا بیش از ۳۶۲ میلی‌متر متغیر بود و ضریب تغییرات حدود ۷۲ درصد به‌دست آمد. روند خطی بارندگی با شیب مثبت اندک میلی‌متر در سال از نظر آماری معنی‌دار نبود (P = ۰/۷۲۵) و آزمون من–کندال نیز نبود روند یکنواخت و معنی‌دار را تأیید کرد (P = ۰/۶۳۷). بنابراین ویژگی اصلی بارش منطقه، تغییرپذیری زیاد و توالی نامنظم سال‌های خشک و پربارش است. در سال ۱۳۹۴، هم‌زمان با حدود ۸۱ میلی‌متر بارندگی، مساحت پهنه‌های آبی ۱۸۹ هکتار بود، درحالی‌که در سال ۱۴۰۴ با حدود ۲۵۰ میلی‌متر بارندگی، این مساحت به ۶۴۸ هکتار رسید. این همزمانی با نقش شناخته‌شده بارش‌های موسمی در آبگیری رودخانه سرباز و هوتک‌ها سازگار است (DEPSB, 2019) به‌تنهایی یک رابطهٔ علّی را اثبات نمی‌کند. همچنین، سهم نسبی برداشت آب، تغییر مسیر جریان و توسعهٔ کشاورزی در تغییرات پهنه‌های آبی در مطالعهٔ حاضر به‌طور کمی تفکیک نشده است. بنابراین، نتیجه‌گیری دربارهٔ سهم هر محرک نیازمند داده‌های محلی دبی، برداشت آب و پایش متراکم‌تر زمانی است. تحلیل آماری نشان داد که میانگین دمای سالانه طی دورهٔ مطالعه روند افزایشی معنی‌داری داشته است. شیب خط روند حدود ۰/۰۲۶ درجهٔ سلسیوس در سال، معادل تقریباً ۰/۸ درجه در کل دوره، بود و آزمون رگرسیون این روند را معنی‌دار نشان داد. من–کندال نیز افزایش معنی‌دار دما را تأیید کرد. افزایش دما به‌ویژه در سال‌های کم‌بارش می‌تواند از طریق افزایش تبخیر و تبخیر–تعرق بر ماندگاری منابع آب اثر بگذارد. مطالعات پیشین نیز نقش افزایش تبخیر، تغییر رژیم بارش و متغیرهای دمایی را در شرایط زیستگاهی تمساح مردابی و تمساح‌سانان مطرح کرده‌اند. با این حال (Mobaraki *et al*., 2021; Utete *et al*., 2023; Sarani *et al*., 2024)، مطالعهٔ حاضر پاسخ جمعیتی یا تغییر پیوستگی زیستگاه را مستقیماً اندازه‌گیری نکرده است و این سازوکارها باید به‌عنوان زمینه تفسیری مبتنی بر ادبیات، نه نتیجهٔ مستقیم این پژوهش، در نظر گرفته شوند.

محدودیت‌های مطالعه

در این مطالعه، ارزیابی منابع آبی به تغییرات سطح و مساحت پهنه‌های آبی در تصاویر فروردین‌ماه محدود بود و متغیرهایی مانند عمق، کیفیت، شوری و پیوستگی هیدرولوژیک بین برکه‌ها بررسی نشدند. پوشش گیاهی نیز در قالب طبقات کلی تراکمی نقشه‌برداری شد و تیپ‌های حساس حاشیهٔ رودخانه، مانند نیزارها و بوته‌زارها، به‌صورت مستقل تفکیک نشدند. محدودیت مهم دیگر، نبود یک سری زمانی منظم و همگن از داده‌های مستقیم جمعیت گاندو است. ۲۱ محل مشاهده موجود فقط حضور گونه را در برخی نقاط تأیید می‌کنند و برای استنتاج دربارهٔ اندازه یا روند جمعیت، موفقیت تولیدمثل، فراوانی لانه‌ها، تلفات یا شدت تعارض انسان و تمساح کافی نیستند. بنابراین، ارتباط میان تغییرات کاربری و وضعیت جمعیت گونه در این مطالعه به‌طور مستقیم آزمون نشده و نتایج نباید به‌عنوان شاهد کاهش یا افزایش جمعیت گاندو تفسیر شوند. همپوشانی اراضی کشاورزی با زیستگاه‌های فعال، محل‌های لانه‌سازی یا محدوده‌های حرکتی گاندو به‌طور کمی محاسبه نشد، از این‌رو، افزایش کشاورزی صرفاً به‌عنوان یک تغییر کاربری مشاهده‌شده و فشار بالقوه در نواحی مجاور منابع آبی تفسیر می‌شود. اثر تعاملی خشکسالی، برداشت آب و توسعهٔ کشاورزی نیز به‌طور کمی تفکیک نشد و ارزیابی آن نیازمند سری زمانی متراکم‌تر، داده‌های محلی دبی و برداشت آب، پایش جمعیت و شاخص‌های مستقیم وضعیت زیستگاه است.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که طی سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۴۰۴ تغییرات قابل‌توجهی در برخی طبقات کاربری و پوشش اراضی محدودهٔ بالقوهٔ زیستگاه تمساح پوزه‌کوتاه مردابی رخ داده است. مساحت اراضی کشاورزی از حدود ۱۵۵ به ۲۳۹۴ هکتار افزایش یافت، اگرچه این تغییر از نظر نسبی بیش از ۱۵ برابر است، اراضی کشاورزی در سال ۱۴۰۴ تنها حدود ۱/۲۸ درصد از کل محدودهٔ مطالعه را تشکیل می‌دهد. بنابراین، این افزایش نباید به‌تنهایی به‌عنوان معادل تخریب گسترده یا تهدید مستقیم برای کل زیستگاه تفسیر شود. مشاهدهٔ گسترش بخشی از اراضی کشاورزی در مجاورت رودخانهٔ سرباز، این نواحی را به‌عنوان مناطق مناسب برای پایش دقیق‌تر معرفی می‌کند، اما تعیین میزان همپوشانی با زیستگاه‌های فعال گاندو نیازمند داده‌های مکانی مستقیم از حضور، لانه‌سازی و جابجایی گونه است. پهنه‌های آبی نوسان زیادی میان سال‌های مورد بررسی نشان دادند و بارندگی نیز دارای تغییرپذیری بین‌سالی شدید بود، درحالی‌که روند بلندمدت دما افزایشی بود. نتایج حاضر یک خط مبنای سنجش‌ازدوری برای تغییرات محیطی در منطقه فراهم می‌کنند. بر این اساس، ارزش حفاظتی نتایج در شناسایی تغییرات و نواحی نیازمند بررسی بیشتر است. پایش‌های آینده باید نقشه‌های چند زمانهٔ کاربری را با داده‌های مستقیم جمعیت، نقاط حضور و لانه‌ها، اطلاعات جاب‌جایی، شاخص‌های سیمای سرزمین و داده‌های هیدرولوژیک تلفیق کنند تا ارتباط میان تغییرات محیطی و پاسخ اکولوژیک گاندو به‌صورت کمی ارزیابی شود.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی

مقاله حاضر با حمایت مالی و معنوی معاونت پژوهشی دانشگاه زابل انجام شد.

استفاده از هوش مصنوعی

در طی نگارش مقالهٔ حاضر برای ویرایش متن انگلیسی مقاله و بررسی املای متن فارسی، از هوش مصنوعی استفاده شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان به‌طور مساوی در کلیهٔ مراحل طراحی و انجام پژوهش، گردآوری داده‌ها، تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیشنویس مقاله، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

بیانیه دسترسی به داده‌ها

داده‌های پژوهش حاضر از طریق درخواست از نویسندگان (نویسنده مسئول) قابل دسترسی است.

سپاسگزاری

از داوران محترم به‌خاطر ارائهٔ نظرهای ساختاری و علمی سپاسگزاری می‌شود. از کارشناسان و محیط‌بانان محیط‌زیست استان سیستان‌وبلوچستان جهت راهنمایی و همراهی در مطالعات میدانی، نهایت قدردانی را داریم.

References

Bhatt, H.P., Saund, T.B., Thapa, J., 2012. Status and threats to Mugger Crocodile Crocodylus palustris Lesson, 1831 at Rani Tal, Shuklaphanta Wildlife Reserve, Nepal. Nepal Journal of Science and Technology 13, 125-131.

Bhattarai, D., Lamichhane, S., Pandeya, P., Bhattarai, S., Gautam, J., Kandel, R.C., Pokheral, C.P., 2022. Status, distribution and habitat use by Mugger crocodile, Crocodylus palustris, in and around Koshi Tappu Wildlife Reserve, Nepal. Heliyon 8, e10235.

Breiman, L., 2001. Random forests. Machine Learning 45, 5-32.

Chang, M.S., Gachal, G.S., Qadri, A.H., Khowaja, Z., Khowaja, M., Sheikh, M.Y., 2013. Ecological status and threats of marsh crocodiles (*Crocodylus palustris*) in Manghopir, Karachi. International Journal of Biosciences 3, 44-54.

Chang, M.S., Gachal, G.S., Qadri, A.H., Memon, K.H., Sheikh, M.Y., Nawaz, R., 2015.

Distribution, population status and threats of marsh crocodiles in Chotiari Wetland Complex, Sanghar, Sindh-Pakistan. Biharean Biologist 9, 22-28.

Choudhury, B.C., de Silva, A., 2013. Crocodylus palustris. The IUCN Red List of Threatened Species 2013, e.T5667A3046723.

Department of Environmental Protection of Sistan and Baluchestan Province (DEPSB), 2019. Executive activities of the Mugger Crocodile action plan: Final report on the conservation and management action plan for the Mugger Crocodile in Iran. (In Persian)

Erfani, M., Salmanmahiny, A., 2025. Habitat management of Mugger Crocodile (*Crocodylus palustris*) through regional-scale niche modeling for practical conservation planning. Journal of Environmental Studies 51(1), 41-58. (In Persian)

Gour, R., Whitaker, N., 2026. Multiscale habitat modeling to improve spatial prioritization for mugger crocodile conservation in riverine landscapes. Ecological Applications 36(3), e70222.

Mobaraki, A., Abtin, E., 2007. Movement behavior of muggers, a potential threat. Crocodile Specialist Group Newsletter 26, 4-5.

Mobaraki, A., Ayafat, S.A., 2007. Crocodile conservation and farming. Roze-e-Now, Tehran, Iran.

Mobaraki, A., Abtin, E., Kami, H.G., Kiabi, B.H., 2013. Reproductive biology of the Mugger Crocodile, *Crocodylus palustris*, in Iran (Reptilia: Crocodylidae). Zoology in the Middle East 59(3), 207-213.

Mobaraki, A., Erfani, M., Abtin, E., Ataie, F., 2019. Assessing habitat suitability of the Mugger Crocodile using maximum entropy. Advanced Environmental Sciences 16(4), 47-62. (In Persian)

Mobaraki, A., Abtin, E., 2021. 52 actions for biodiversity. Mehr Sadegh Publications.

Mobaraki, A., Erfani, M., Abtin, E., Brito, J.C., Tan, W.C., Ziegler, T., Rödder, D., 2023. Last chance to see? Iran and India as strongholds for the Mugger Crocodile (*Crocodylus palustris*). Salamandra 59(4), 327-335.

Rahdari, V., Maleki Najafabadi, S., Afsari, K., Abtin, E., Piri, H., Piri., 2011. Monitoring land-use and land-cover changes in Hamoun Wildlife Refuge during 1986-2009 using satellite imagery and GIS. Iranian Journal of Remote Sensing and GIS 10(2), 50-61.

Rahdari, V., Soffianian, A., Khajaldin, S.J., Maleki Najafabadi, S., 2014. Identification of satellite image ability for vegetation cover crown percentage mapping in arid and semi-arid region (case study: Mouteh Wildlife Sanctuary). Journal of Environmental Science and Technology 15(4), 43-54. (In Persian)

Rao, R.J., Gurjwar, R.K., 2013. Crocodile-human conflict in National Chambal Sanctuary, India. In: Proceedings of the 22nd Working Meeting of the IUCN-SSC Crocodile Specialist Group, Sri Lanka, pp. 105-109.

Salar, A., Shahriari, M., Rahdari, V., Maleki, S., 2024. Investigating the impact of land-use and land-cover changes on wetlands using satellite data: A case study of Jazmorian Wetland. Journal of Water and Soil Science 28(2), 85-96. (In Persian)

Sarani, S., Pirzadeh, B., Zamani, Y., 2024. Investigation of the impacts of climate change on the environment and water requirements of marsh crocodiles (*Crocodylus palustris*). Journal of Natural Environmental Hazards 13(42), 53-70. (In Persian)

Schilling-Tóth, B.M., Belcher, S.M., Knotz, J., Ondrašovičová, S., Bartha, T., Tóth, I., Zsarnovszky, A., Kiss, D.S., 2024. Temperature-dependent sex determination in crocodilians and climate challenges. Animals 14(13), 2015.

Shahraki, S., Shahriari Moghadam, M., Rahdari, V., Mohammadi Mohammadi, S., Izadian, M., 2025. Assessment of ecological capacity for nature tourism on the Makran Coasts using a multi-criteria decision-making model. Environment and Interdisciplinary Development 10(90), 94-108.

U.S. Geological Survey (USGS), 2024. How do I use a scale factor with Landsat Level-2 science products? U.S. Department of the Interior.

Utete, B., 2021. A review of the conservation status of the Nile crocodile (*Crocodylus niloticus* Laurenti, 1768) in aquatic systems of Zimbabwe. Global Ecology and Conservation 29, e01743.

Villamarín, F., Marioni, B., Thorbjarnarson, J.B., Nelson, B.W., Botero-Arias, R., Magnusson, W.E., 2011. Conservation and management implications of nest-site selection of the sympatric crocodilians *Melanosuchus niger* and *Caiman crocodilus* in Central Amazonia, Brazil. Biological Conservation 144(3), 913-919.

Whitaker, R., Whitaker, Z., 1984. Reproductive biology of Mugger. Journal of the Bombay Natural History Society 81, 297-315.