

# Assessment and forecasting of surface water changes in the Hamoun Lakes using Landsat imagery and CA-Markov model

Fatemeh Amiri, Meysam Argany\*

Dep of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

\* Corresponding Author: argany@ut.ac.ir

## Introduction

In recent decades, the Hamoun Lakes have almost dried up due to drought and unsustainable management of water resources (construction of dams, expansion of agricultural lands and systematic diversion of water). This issue, considering the importance of these lakes in the Sistan region, has caused many environmental and socio-economic challenges, including dust storms in this region. Therefore, it seems necessary to study the changes of water areas and their effects on the surrounding environment. Accordingly, the forecasting/projection of the future perspective of land use/cover (LULC) changes is considered as one of the key and fundamental tools for planning and sustainable management of territorial resources and decision-making to address the resulting challenges. In this regard, the literature shows that the use of multispectral remote sensing satellite imagery has found widespread use due to its wide spatial-temporal coverage and lack of dependence on costly field work. Various approaches have been used to model LULC changes and project future trends, among which the results of the CA-Markov model are more reliable. Despite the many studies that have been conducted to monitor LULC changes in the Hamoun Lakes, their focus has mostly been on agriculture and vegetation classes, and the issue of lake drying and its different dimensions have not been well understood. On the other hand, considering the rapid changes of the Hamoun lakes in the last two decades, it seems that we should focus on projecting the state of the lakes in the near future, which has not been given much attention in previous studies.

## Methodology

The main objective of this study is to forecast the changes in the water areas of Hamoun Lakes located in southeastern Iran. For this purpose, the Landsat 5-TM and Landsat 8-OLI images were used for the years 1991 and 2022, respectively. Initially, the support vector machine (SVM) classifier was used to produce LULC maps for these years. The main advantage of SVM is its ability to solve complex classification problems with a large number of features and few training samples, making it a suitable option for classifying remote sensing images. Then, the changes in the water areas of the Hamoun Lakes for the year 2030 were forecasted taking advantage of the CA-Markov model. The CA-Markov analysis is a suitable tool for modeling LULC changes.

## Results and discussion

The SVM classifier gave the best performance for the Radial Basis Function (RBF) kernel. This kernel has the highest (maximum 98.3%) and lowest (minimum 86.3%) intra-class accuracy in detecting water body and built-up classes, respectively, in the years studied. Achieving an overall classification accuracy of more than 93% for the RBF kernel indicates the acceptable performance of the SVM classifier and the reliability of its results. The findings show that the area of lakes and wetlands in the region has decreased by 88% and 94%, respectively, in 2022 compared to 1991. During the study period, the area of salty lands has almost doubled, and the greatest loss of area corresponds to water and vegetation classes that have been transformed into this class. Forecasting of the LULC changes using the CA-Markov model indicates that in less than the upcoming decade, water areas including Hamoun Puzak and Saberi lakes and wetlands will become completely dried up and transformed into salty lands.

## Conclusion

The very high rate of LULC change in the study area indicates the very critical situation of the region in terms of the loss of water and plant resources and the expansion of desert lands. Therefore, it is necessary to focus on the near future and target setting to achieve sustainable territorial management in this region based on short-term time horizons with high priority. In general, the results of the current research emphasize the critical situation of the surface water resources in the study area and the need for special attention to manage the resulting problems.

**Keywords:** Land use/cover, Image classification, Remote sensing, Support vector machine, Hamoun Lakes.

## ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات پهنه‌های آبی در دریاچه‌های هامون با استفاده از تصاویر لندست و مدل زنجیره مارکوف

فاطمه امیری، میثم ارگامی\*

گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

\*نویسنده عهده دار مکاتبات: [argany@ut.ac.ir](mailto:argany@ut.ac.ir)

### چکیده مبسوط

#### مقدمه

دریاچه‌های هامون در چند دهه اخیر، به علت وقوع خشکسالی و مدیریت غیراصولی منابع آب (سدسازی، گسترش کشاورزی و انحرافات نظام‌مند آب)، تقریباً خشک شده‌اند. این مساله، با توجه به اهمیت این دریاچه‌ها در منطقه سیستان، منجر به وقوع معضلات زیست‌محیطی و اقتصادی-اجتماعی متعددی از جمله طوفان‌های گردوغبار در این منطقه شده است. لذا ضرورت بررسی تغییرات این پهنه‌های آبی و تأثیرگذاری این تغییرات بر محیط پیرامونی از گذشته تا به حال حس می‌شود. بر این اساس، برآوردی از چشم‌انداز آینده تغییرات پوشش/کاربری زمین از ابزارهای کلیدی و پایه‌ای جهت برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار منابع سرزمینی و تصمیم‌گیری برای رفع چالش‌های منتج‌شده به حساب می‌آید. در این راستا، بررسی ادبیات پژوهش نشان می‌دهد بهره‌گیری از تصاویر چندطیفی ماهواره‌های سنجش از دور به دلیل پوشش مکانی - زمانی وسیع و عدم وابستگی به کارهای میدانی پرهزینه، کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده است. رویکردهای مختلفی به منظور مدل‌سازی تغییرات پوشش/کاربری زمین و پیش‌بینی روندهای آینده استفاده شده است که در این میان نتایج مدل زنجیره مارکوف قابلیت اطمینان بالاتری دارد. علی‌رغم مطالعات بسیاری که در زمینه پیش‌بینی تغییرات پوشش/کاربری زمین در محدوده دریاچه‌های هامون صورت گرفته، اما تمرکز آنها بیشتر بر روی کلاس‌های کشاورزی و پوشش گیاهی بوده و مسئله خشک شدن دریاچه‌ها و ابعاد مختلف آن به خوبی تبیین نشده است. از طرف دیگر، با در نظر گرفتن تغییرات سریع دریاچه‌های هامون در دو دهه اخیر، به نظر می‌رسد بایستی بر پیش‌بینی وضعیت دریاچه‌ها در آینده نزدیک تمرکز گردد که در مطالعات گذشته به این مسئله نیز چندان توجه نشده است.

#### روش‌شناسی

هدف اصلی مطالعه حاضر، پیش‌بینی تغییرات پهنه‌های آبی دریاچه‌های هامون واقع در جنوب شرقی ایران است. بدین منظور، از تصاویر ماهواره‌های لندست ۵ سنجنده TM برای سال ۱۳۷۰ و لندست ۸ سنجنده OLI برای سال ۱۴۰۱ استفاده گردید. در ابتدا با بهره‌گیری از طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان (SVM) نقشه‌های پوشش/کاربری زمین برای سال‌های مذکور تولید شدند. مزیت اصلی این روش، توانایی حل مسائل

طبقه‌بندی پیچیده با تعداد ویژگی‌های زیاد و نمونه‌های آموزشی کم است که منجر شده این روش گزینه‌ای مناسب جهت طبقه‌بندی تصاویر سنجش‌ازدوری باشد. سپس تغییرات مساحت پهنه‌های آبی دریاچه‌های هامون برای سال ۱۴۰۹، مبتنی بر مدل زنجیره مارکوف پیش‌بینی گردید. آنالیز زنجیره مارکوف ابزاری مناسب جهت مدل‌سازی تغییرات پوشش/ کاربری زمین است.

### نتایج

طبقه‌بندی‌کننده SVM بهترین عملکرد را برای کرنل تابع پایه شعاعی (RBF) به دست داد. این کرنل بالاترین (حداکثر ۹۸٫۳٪) و کمترین (حداقل ۸۶٫۳٪) میزان صحت درون کلاسی را به ترتیب در تفکیک کلاس‌های آب و مناطق ساخته‌شده در سال‌های موردبررسی داشته است. حصول صحت کلی طبقه‌بندی برابر با بیش از ۹۳٪ برای کرنل RBF حاکی از کارایی قابل قبول طبقه‌بندی‌کننده SVM و اعتمادپذیری نتایج آن است. نتایج حاکی از کاهش مساحت دریاچه‌ها و تالاب‌های منطقه به ترتیب برابر با ۸۸٪ و ۹۴٪ در سال ۱۴۰۱ نسبت به سال ۱۳۷۰ است. در بازه زمانی موردبررسی مساحت شوره‌زارها تقریباً دو برابر شده و عمده از دست رفت مساحت کلاس‌های مرتبط با آب و پوشش گیاهی به شکل تبدیل به این کلاس بوده است. پیش‌بینی تغییرات پوشش/ کاربری زمین با استفاده از مدل زنجیره مارکوف حاکی از آن است که در کمتر از یک دهه آبی پهنه‌های آبی شامل دریاچه‌های هامون پوزک و صابری و تالاب‌ها کاملاً خشک و به شوره‌زار تبدیل خواهند شد.

### جمع بندی

نرخ تغییرات بسیار زیاد در روند پوشش/ کاربری زمین حاکی از وضعیت بسیار بحرانی منطقه از لحاظ از دست رفت منابع آب و گیاه و گسترش اراضی بیابانی است. از این رو، باید بر آینده نزدیک تمرکز گردد و هدف‌گذاری به منظور تحقق مدیریت سرزمینی پایدار در این منطقه مبتنی بر افق‌های زمانی کوتاه‌مدت با اولویت بسیار زیاد صورت پذیرد. بطورکلی یافته‌های پژوهش حاضر بر بحرانی بودن وضعیت منابع آب سطحی در منطقه مورد مطالعه و ضرورت توجه ویژه جهت مدیریت معضلات منتج‌شده از آن تأکید دارد.

### چکیده

پهنه‌های آبی متضمن تداوم حیات هستند. گاهاً این منابع طبیعی ارزشمند، تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی در معرض نابودی قرار می‌گیرند. دریاچه‌های هامون به عنوان یکی از اکوسیستم‌های آبی ارزشمند کشور در چند دهه اخیر ناشی از عوامل متعددی رو به خشکیدن نهاده‌اند که به رخداد مشکلات زیست محیطی و اقتصادی-اجتماعی متعددی در منطقه منتج شده‌اند. آگاهی از روند تغییرات پهنه‌های آبی در آینده می‌تواند به درک بهتر مسئله و اتخاذ رویکردهای مدیریتی کنترل‌کننده کارآمد کمک کند. از این رو، مطالعه حاضر با هدف پیش‌بینی تغییرات پهنه‌های آبی در دریاچه‌های هامون (پوزک و صابری) انجام شده است. بدین منظور، از تصاویر چندطیفی ماهواره‌های لندست ۵ و ۸، سنجنده‌های TM و OLI برای سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۴۰۱ استفاده شده است. نقشه‌های پوشش/ کاربری زمین برای سال‌های مذکور با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان با میانگین صحت کلی برابر با ۹۳٫۵٪ تهیه شدند. بر اساس مدل‌سازی روند تغییرات مکانی - زمانی کلاس‌های پوشش/ کاربری زمین، با بهره‌گیری از مدل زنجیره مارکوف نقشه پوشش/ کاربری زمین برای سال ۱۴۰۹ پیش‌بینی شد. نتایج تغییرات کلاس‌های پوشش زمین در بازه زمانی ۱۳۷۰-۱۴۰۱ حاکی از کاهش بسیار شدید پهنه‌های آبی (بطور میانگین ۹۰٪) در منطقه مورد مطالعه است. به طوریکه مساحت این کلاس از ۳۳٫۶۵٪ در سال ۱۳۷۰ به ۳٫۹۷٪ در سال ۱۴۰۱ تقلیل یافته است که غالباً به اراضی شوره‌زار (برابر با تقریباً ۱۹۷٪ افزایش) تبدیل شده‌اند. پیش‌بینی پوشش/ کاربری زمین در بازه زمانی ۱۳۷۰-۱۴۰۹ نشان می‌دهد در کمتر از یک دهه آبی پهنه‌های آبی کاملاً خشک شده و مساحت اراضی شوره‌زار حدود ۱۹٪ نسبت به سال ۱۴۰۱ افزایش می‌یابد.

**واژگان کلیدی:** پوشش/ کاربری زمین، طبقه‌بندی تصویر، سنجش‌ازدور، ماشین بردار پشتیبان، دریاچه‌های هامون.

آب به عنوان بنیادی‌ترین نیاز بشر (Kwang et al., 2018)، متضمن بقای اکوسیستم‌های طبیعی، امنیت غذایی و حیات انسانها است (Shiklomanov, 1998). لذا از دیر باز منابع آبی همیشه در کانون توجه انسان‌ها بوده‌اند. آب از منابع ضروری در تولید و فعالیت‌های معیشتی خانوار به‌شمار می‌رود؛ از این‌رو، زمینه‌ساز دستیابی به اهداف گسترده رشد اقتصادی و توسعه کشاورزی و روستایی و پیرو آن توسعه کشورها است (Panahi & Malekmohammadi, 2018).

دریاچه‌های هامون به عنوان یکی از اکوسیستم‌های آبی اصلی و ارزشمند ایران واقع در پائین‌دست حوضه آبریز رود هیرمند در شمال استان سیستان و بلوچستان و محدوده مرزی ایران - افغانستان است (Darvishi Boloorani et al., 2022). در زمان پرآبی، امرار معاش مردم منطقه به طور مستقیم به خدمات اکوسیستمی این دریاچه‌ها وابسته بوده و به نوعی پویایی و خودکفایی اقتصادی مردم منطقه سیستان را تامین می‌کرده است. دامداری، صیادی، حصیربافی و کشاورزی از جمله فعالیت‌های اقتصادی در این منطقه بوده است (Ebrahimi-Khusfi et al., 2023).

دریاچه‌های هامون در چند دهه اخیر، به علت وقوع خشکسالی و مدیریت غیراصولی منابع آب (سدسازی، گسترش کشاورزی و انحرافات نظام‌مند آب)، تقریباً خشک شده‌اند (Saatsaz, Farrokhzadeh et al., 2020; Darvishi Boloorani et al., 2022). این مسئله، با توجه به اهمیت این دریاچه‌ها در منطقه سیستان، منجر به وقوع معضلات زیست‌محیطی و اقتصادی-اجتماعی متعددی از جمله طوفان‌های گردوغبار در این منطقه شده است (Rashki et al., 2013; Farrokhzadeh et al., 2020). لذا ضرورت بررسی تغییرات این پهنه‌های آبی و تأثیرگذاری این تغییرات بر محیط پیرامونی از گذشته تا به حال حس می‌شود.

پایش روند تغییرات پوشش/ کاربری زمین به ایجاد درک صحیح از نحوه تعامل انسان و محیط زیست می‌انجامد. درک روند این تغییرات می‌تواند به ارزیابی عملکرد از گذشته تا به حال و پیش‌بینی وضعیت آینده در صورت ادامه روند کنونی کمک کند (Shakeryari et al., 2021). بر این اساس، برآوردی از چشم‌انداز آینده تغییرات پوشش/ کاربری، گامی مؤثر در راستای مدیریت پایدار منابع و تصمیم‌گیری برای رفع بحران‌های موجود خواهد بود (Sohooli et al., 2016). مدیریت پهنه‌های آبی به عنوان یکی از کلاس‌های مهم پوشش/ کاربری زمین، به دلیل ماهیت دینامیکی و تأثیر پذیری زیاد از عوامل طبیعی و انسانی، با پیچیدگی‌های زیادی مواجه است. افزایش یا کاهش مساحت پهنه‌های آبی، کارکردی اساسی در برنامه‌ریزی منابع آبی دارد. از این‌رو، تولید نقشه‌های دقیق از روند تغییرات مساحت پهنه‌های آبی از ابزارهای کلیدی و پایه‌ای جهت برنامه‌ریزی و توسعه پایدار محسوب می‌شود (Ali Bakhshi et al., 2020).

استفاده از سنجش‌ازدور یکی از مهم‌ترین و دقیق‌ترین ابزارهای انجام این پایش‌هاست. روش‌های سنجش‌ازدور در مقایسه با روش‌های دیگر تولید اطلاعات، مزایای بسیاری از جمله: دسترسی آسان و ارزان به داده‌ها، دقت بالا، رقومی بودن، فراهم آوردن دید همه‌جانبه، تنوع طیفی، پوشش‌های تکراری، سرعت انتقال، از ارزش زیادی برخوردارند (Salehi et al., 2017; Feyzizadeh et al., 2007). بر این اساس، با استفاده از الگوریتم‌های سنجش‌ازدوری می‌توان در راستای مدیریت منابع آب گام‌های ارزشمندی برداشت.

روش زنجیره مارکوف<sup>۱</sup> یک تکنیک قوی است که برای تشخیص و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی مناسب است. زیرا الگوهای مکانی- زمانی و پویایی تغییرات کلاس‌های پوشش زمین را مدل‌سازی و پیش‌بینی می‌کند (Ruben et al., 2020). این روش، در سنجش‌ازدور، به منظور پایش و پیش‌بینی تغییرات پوشش زمین بسیار مورد استفاده قرار گرفته است. بین و همکاران (۱۴۰۲)، در مطالعه‌ای پویایی پوشش/ کاربری زمین در شهر گوندار را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و روش زنجیره مارکوف، پیش‌بینی کردند.

<sup>1</sup> CA-Markov

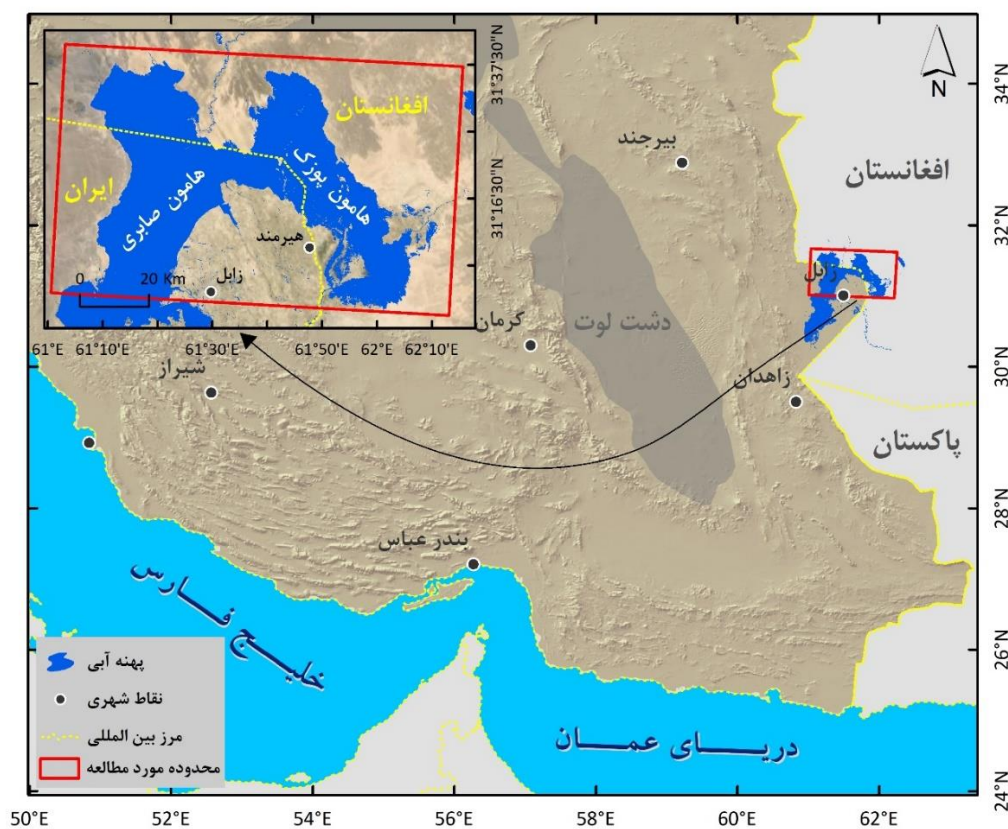
نتایج این مطالعه نشان داد که مساحت مناطق ساخته شده در دهه ۲۰۵۰، افزایش سریعتری داشته که باعث از بین رفتن بسیار زیاد زمین‌های کشاورزی می‌شود (Beyene et al., 2023). توبرو و بامیدل (۱۴۰۱)، تغییرات تالاب حوضه رودخانه اوگان واقع در نیجریه را با استفاده از روش زنجیره مارکوف پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد که تغییرات پوشش تالاب برای سال ۲۰۳۰ به صورت ساخت و سازهای گسترده و گسترش کشاورزی کنترل نشده خواهد بود (Tobore & Bamidele, 2022). رابن و همکاران (۱۳۹۹)، تحلیل و پیش‌بینی پویایی پوشش/ کاربری زمین با استفاده از مدل CA-Markov در حوضه Guanting Reservoir در چین را انجام دادند. تجزیه و تحلیل روند پوشش/ کاربری زمین در این مطالعه حاکی از آن است که، زمین‌های ساخته شده از ۲/۶٪ در سال ۱۹۸۰ به ۵/۲۶٪ در سال ۲۰۱۰ افزایش یافته است، در حالی که زمین‌های زراعی، علفزار و پهنه آبی کاهش یافته‌اند (Ruben et al., 2020). اصغری و همکاران (۱۳۹۸)، مطالعه پیش‌بینی پوشش/ کاربری زمین در شهر فوجان را برای سال ۲۰۳۰ با استفاده از روش زنجیره مارکوف انجام داده و دریافتند بیشترین میزان افزایش تغییرات در بین کاربری‌ها را کاربری مرتع ضعیف در سال ۲۰۳۰ خواهد داشت که نسبت به سال ۲۰۱۸ نیز ۲۴۴۹۱/۰۷ هکتار افزایش یافته است. بیش‌ترین میزان کاهش مساحت را کاربری مرتع متراکم با ۲۳/۲۶۶۱۵ هکتار خواهد داشت. کاربری انسان ساخت نیز در طی این بازه ۱۲ ساله ۵۳۰/۶۲ هکتار رشد خواهد داشت (Asghari et al., 2019). سهولی و همکاران (۱۳۹۵)، با استفاده از روش زنجیره مارکوف، چشم‌اندازی از آینده تغییرات کاربری اراضی در حوضه زربینه رود ارائه نمودند. استان‌های این حوضه، به طور متوسط بیش‌ترین تغییرات را در راستای افزایش کاربری‌هایی هم‌چون کشت آبی (۴۰٪) و باغات (۵۷٪) و هم‌چنین در جهت کاهش اراضی مرتعی (۵٪) و کشت دیم (۱۰٪)، در سال ۲۰۱۳ نسبت به سال ۲۰۰۰ نشان دادند. این روند تغییرات برای افق ۲۰۲۰ نیز مشاهده شده است (Sohooli et al., 2016). خوارزمی و همکاران (۱۳۹۵)، در تحقیقی با هدف بررسی روند تغییرات پوشش/ کاربری زمین تالاب‌های هامون هیرمند و هامون صابری دریافتند کلاس‌های پوشش گیاهی و آب کاهش چشم‌گیری را در دوره ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲، داشتند و بر مساحت کلاس اراضی بدون پوشش گیاهی افزوده شده است. این مسئله نشانگر گرایش منطقه مورد مطالعه به سمت بیابانی شدن است (Kharazmi et al., 2018). شاکریاری و همکاران (۱۳۹۵)، در بررسی قابلیت داده‌های ماهواره لندست به منظور بررسی تغییرات پوشش/ کاربری زمین در تالاب بین‌المللی هامون، از روش زنجیره مارکوف استفاده کرده‌اند. نتایج نشان داد که در طول کل دوره، روند تغییرات تالاب در جهت تخریب آن بوده است. همانگونه که مرور ادبیات پژوهش نشان می‌دهد در مطالعات پیشین بیشتر به ارزیابی تغییرات کلاس‌های مختلف کاربری/ پوشش زمین نظیر کشاورزی و پوشش گیاهی پیرامون پهنه‌های آبی پرداخته شده است و به طور متمرکز بر مسئله تغییرات پهنه‌های آبی توجه نشده است. لذا جای خالی مطالعات ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات مساحت پهنه‌های آبی حس می‌شود (Shakeryari et al., 2022).

علی‌رغم مطالعات بسیاری که در زمینه پایش تغییرات پوشش/ کاربری زمین در محدوده دریاچه‌های هامون صورت گرفته، اما تمرکز آنها بیشتر بر روی کلاس‌های کشاورزی و پوشش گیاهی بوده و مسئله خشک شدن دریاچه‌ها و ابعاد مختلف آن به خوبی تبیین نشده است. از طرف دیگر، با در نظر گرفتن تغییرات سریع دریاچه‌های هامون در دو دهه اخیر (Darvishi Boloorani et al., 2022)، به نظر می‌رسد بایستی بر پیش‌بینی وضعیت دریاچه‌ها در آینده نزدیک تمرکز گردد که در مطالعات گذشته به این مسئله نیز چندان توجه نشده است. بدین طریق می‌توان زنگ خطرهای واقع‌گرایانه‌تری جهت اتخاذ راهکارهای مدیریتی کارآمد ارائه داد. از این رهگذر است که؛ این مطالعه تلاش دارد تغییرات پهنه آبی دریاچه هامون را با استفاده از سری زمانی داده‌های لندست (۱۴۰۱-۱۳۷۰) مورد ارزیابی قرار دهد، سپس با به دست آمدن روند طی شده و توجه به شرایط موجود منطقه، تغییرات پهنه آبی در آینده (۱۴۰۹) را پیش‌بینی نماید.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

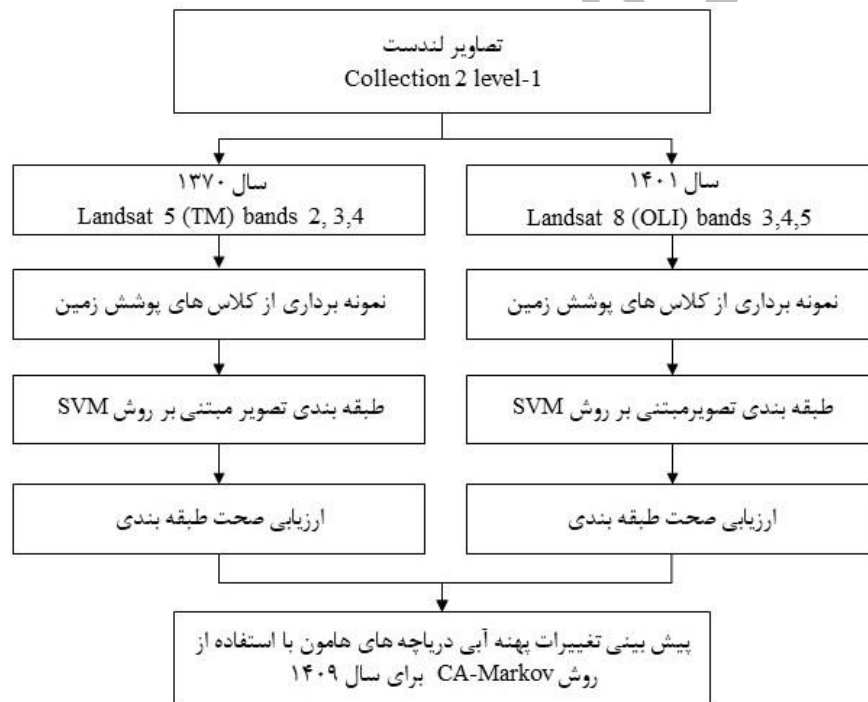
دریاچه‌های هامون شامل هامون صابری، هامون پوزک و هامون هیرمند در شمال استان سیستان و بلوچستان قرار دارند که به آن منطقه/ دشت سیستان نیز می‌گویند. منطقه مورد مطالعه (مستطیل قرمز رنگ) شامل دو دریاچه از دریاچه‌های هامون شامل هامون صابری و هامون پوزک است. این منطقه در محدوده جغرافیایی بین ۶۱ درجه تا ۶۲ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی مابین ایران و افغانستان قرار دارد. هامون یکی از اصلی‌ترین و بارزترین اکوسیستم‌های آبی ایران را تشکیل می‌دهد. دشت سیستان در جنوب شرقی ایران و در انتهای رودخانه هیرمند قرار دارد و شامل پنج شهر زابل، زهک، هامون، هیرمند و نیمروز با جمعیتی بالغ بر ۴۰۰ هزار نفر است. رودخانه هیرمند در افغانستان را رود هیرمند می‌گویند. این رودخانه از مناطق کوهستانی ولایت هلمند افغانستان سرچشمه می‌گیرد. مساحت کل حوضه آبریز رودخانه تقریباً دویست هزار کیلومتر مربع است که بیشتر آن در افغانستان واقع شده است. سیستم رودخانه‌ای از بارش باران و ذوب برف در کوه‌های هندوکش تغذیه می‌شود. اقتصاد و معیشت مردم این منطقه به شدت به کشاورزی و خدمات مبتنی بر تالاب هامون وابسته است (Van Beek et al., 2008). آب و هوای دشت سیستان به طور کلی گرم و خشک با میانگین بارندگی سالانه کمتر از ۶۰ میلی‌متر و متوسط نرخ تبخیر بالقوه بیش از ۴۰۰۰ میلی‌متر در سال است. وزش بادهای ۱۲۰ روزه از اواسط اردیبهشت تا اواسط شهریور یکی از ویژگی‌های منحصر به فرد آب و هوای منطقه است (Rashki et al., 2013). این بادهای عمدتاً از شمال به سمت جنوب می‌وزند و گاه به سرعت بیش از ۱۴۰ کیلومتر در ساعت می‌رسند و منطقه سیستان را به یکی از مناطقی تبدیل کرده‌اند که بیشترین فرسایش بادی و وقوع گرد و غبار در جهان را در ادبیات داشته‌اند. از سوی دیگر، کمبود شدید آب در دو دهه گذشته ناشی از خشکسالی و سوء مدیریت منابع آب، اهمیت اقتصادی و زیست محیطی منابع آب را در این منطقه افزایش داده است (Farrokhzadeh et al., 2020). شکل (۱) منطقه موقعیت منطقه مورد مطالعه را نمایش می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه (مستطیل قرمز رنگ) در جنوب شرقی ایران. محدوده دریاچه‌های هامون براساس حداکثر مساحت در زمان پربابی در نظر گرفته شده است.

## ۲-۲- روش‌شناسی

هدف اصلی مطالعه حاضر، پیش‌بینی تغییرات پهنه آبی دریاچه‌های هامون واقع در جنوب شرقی ایران است. بدین منظور، از تصاویر ماهواره‌های لندست ۵ سنجنده TM برای سال ۱۳۷۰ و لندست ۸ سنجنده OLI برای سال ۱۴۰۱ استفاده گردید. در ابتدا با بهره‌گیری از طبقه‌بندی‌کننده ماشین بردار پشتیبان (SVM) نقشه‌های پوشش/کاربری زمین برای سال‌های مذکور تولید شد. سپس از طریق آنالیز تغییرات کلاس‌های پوشش/کاربری زمین در بازه زمانی مورد مطالعه مبتنی بر روش CA-Markov، تغییرات مساحت پهنه‌های آبی دریاچه‌های هامون برای سال ۱۴۰۹ پیش‌بینی گردید. مراحل پیاده‌سازی روش‌شناسی بکار گرفته‌شده در این پژوهش در شکل (۲) ارائه شده است. تمامی پردازش‌های مورد نیاز اعم از پیش‌پردازش تصاویر لندست، تولید نقشه‌های پوشش/کاربری زمین و آنالیز تغییرات آنها و همچنین پیش‌بینی تغییرات آینده، در محیط نرم افزار Terra set (آخرین نسخه نرم‌افزار IDRISI Selva) انجام شده است.



شکل ۲- فلوچارت روش‌شناسی پیش‌بینی تغییرات دریاچه‌های هامون مبتنی بر تصاویر ماهواره لندست و روش CA-Markov.

## ۲-۲-۱- داده‌های مورد استفاده

در این مطالعه از تصاویر چندطیفی ماهواره‌های لندست ۵ و ۸، سنجنده های TM و OLI برای سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۴۰۱ استفاده شده است. این تصاویر از سایت زمین‌شناسی امریکا<sup>۲</sup> دریافت گردید. مشخصات تصاویر مورد استفاده در جدول (۱) ارائه شده است. با توجه به هدف مطالعه، ضرورتی به انجام تصحیحات اتمسفری وجود نداشت (Song et al., 2001; Lin et al., 2015). لذا از تصاویر خام حاوی اعداد رقومی<sup>۳</sup> استفاده گردید. تصاویر انتخابی مربوط به تاریخ‌های هستند که دریاچه در وضعیت پرآبی و آسمان فاقد پوشش ابر بوده است.

جدول ۱- مشخصات داده‌های مورد استفاده

ماهواره	تاریخ تصویربرداری	شماره گذر و ردیف	سنجنده	تعداد باند
لندست ۵	۱۹۹۱/۰۴/۲۸	۱۵۷-۳۸	TM	۷
	۱۳۷۰/۰۲/۰۸			
لندست ۸	۲۰۲۲/۰۴/۰۱	۱۵۷-۳۸	OLI	۱۱
	۱۴۰۱/۰۱/۱۲			

## ۲-۲-۲- تهیه نمونه‌های تعلیمی از کلاس‌های پوشش / کاربری زمین

در این مطالعه، در ابتدا بر اساس ادبیات پژوهش (Rashki et al., 2013; Sharifikia, 2013; Kharazmi et al., 2018) و همچنین بررسی منطقه مورد مطالعه بر روی تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالای گوگل ارث (Google Earth)، کلاس‌های غالب پوشش/کاربری زمین شامل پوشش گیاهی، بدون پوشش گیاهی، شوره‌زار، نیزار/تالاب، آب و مناطق ساخته شده شناسایی گردیدند (جدول ۲). در ادامه، به منظور برداشت نمونه‌های تعلیمی از کلاس‌های مختلف پوشش/کاربری زمین جهت پیاده سازی طبقه بندی کننده SVM، با استفاده از باندهای مادون قرمز نزدیک، قرمز و سبز در نرم‌افزار IDRISI تصاویر ترکیب رنگی کاذب برای سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۴۰۱ تولید شدند. برای ایجاد ترکیب رنگی کاذب سال ۱۳۷۰، از باندهای ۲، ۳ و ۴ سنجنده TM ماهواره لندست ۵ (RGB<sub>432</sub>) و برای سال ۱۴۰۱ از باندهای ۳، ۴ و ۵ سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ (RGB<sub>543</sub>) استفاده شد. طبق ادبیات پژوهش، این ترکیبات باندی بیشترین اطلاعات را به منظور بررسی و تفکیک بصری پوشش/کاربری زمین ارائه می‌دهند (Jensen, 1996). سپس در فرایند نمونه برداری بر اساس روش نمونه برداری تصادفی طبقه ای (Soleimani et al., 2021)، از طریق بررسی بصری تصاویر ترکیب رنگی کاذب تولید شده در نرم‌افزار IDRISI، تعداد ۲۵۰ نمونه از هر کلاس (در مجموع ۱۵۰۰ نمونه) به صورت تصادفی در منطقه برای هر یک از سال‌های مذکور برداشت گردید. لازم به ذکر است که جهت بهره گیری حداکثری از قابلیت‌های طیفی داده‌های ماهواره‌های لندست ۵ و ۸ در فرایند طبقه بندی تصویر، از باندهای ۱ تا ۷ TM برای سال ۱۳۷۰ و باندهای ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۱۰ OLI برای سال ۱۴۰۱، به عنوان ویژگی‌های انتخابی ورودی برای طبقه بندی کننده SVM استفاده شدند. در نهایت، مقادیر اعداد رقومی پیکسل‌های متناظر با نمونه‌های تعلیمی برداشت شده در باندهای مختلف استخراج و جهت مدلسازی و اعتبارسنجی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

جدول ۲- مشخصات کلاس‌های پوشش / کاربری زمین (Shakeryari, 2021)

کد	برچسب	تعریف
۱	پوشش گیاهی	نواحی با درصد تاج پوشش گیاهی بیشتر از ۲۰ درصد شامل مراتع، زمین‌های کشاورزی و بوته‌زار

<sup>2</sup> <https://earthexplorer.usgs.gov/>

<sup>3</sup> Digital Number

بدون پوشش گیاهی	۲
شورهزار	۳
نیزار/ تالاب	۴
آب	۵
مناطق ساخته شده	۶

## ۲-۲-۳- تولید نقشه پوشش/کاربری زمین

به منظور طبقه‌بندی تصاویر از روش ماشین بردار پشتیبان<sup>۴</sup> در محیط نرم افزار Terra set (آخرین نسخه نرم‌افزار IDRISI Selva) استفاده شد. SVM یکی از کارآمدترین روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده است. مزیت اصلی آن، توانایی حل مسائل طبقه‌بندی پیچیده با تعداد ویژگی‌های<sup>۵</sup> زیاد و نمونه‌های آموزشی کم است که منجر شده این روش گزینه‌ای مناسب جهت طبقه‌بندی تصاویر سنجش-ازدوری باشد (Burges, 1998). فرض اصلی این روش این است که هیچ اطلاعاتی از نحوه توزیع داده‌ها وجود ندارد. SVM یک طبقه‌بندی‌کننده باینری است که جهت تفکیک طبقات مختلف در مجموعه داده‌ها، ابر صفحه‌ای<sup>۶</sup> (که عبارت است از یک معادله خطی) را بر روی آنها برازش می‌دهد. اولین مرحله تعیین ابر صفحه، یافتن نزدیک‌ترین داده‌های مربوط به دو طبقه است. نمونه‌های موجود در مرز طبقات و نزدیک به ابر صفحه بهینه، بردارهای پشتیبان<sup>۷</sup> (دو ابر صفحه مرزی) نام دارند (Duan & Keerthi, 2005). به‌منظور جدا کردن طبقات، ابر صفحه‌های متعددی وجود دارد اما ابر صفحه‌ای که بیشترین حاشیه را ایجاد نماید؛ به‌عنوان ابر صفحه بهینه انتخاب می‌گردد. جزئیات بیشتر در مورد مبانی ریاضی این طبقه‌بندی‌کننده را می‌توان در (Zhu & Blumberg, 2002) یافت.

در رابطه با طبقه‌بندی‌کننده SVM، تعیین نوع کرنل، پارامترهای C (هزینه<sup>۸</sup>) و گاما<sup>۹</sup> بر عملکرد مدل تاثیرگذار هستند. در اینجا، از رویکرد جست‌وجوی شبکه‌ای<sup>۱۰</sup> مبتنی بر اعتبارسنجی متقابل<sup>۱۱</sup> جهت یافتن بهترین ترکیب پارامترهای C و گاما استفاده می‌شود. بهره‌گیری از تکنیک اعتبارسنجی متقابل سبب می‌شود که از مشکل بیش‌برازش<sup>۱۲</sup> مدل جلوگیری به عمل آید (Lin et al., 2008). در روش جست‌وجوی شبکه‌ای فرایند یافتن مقادیر بهینه ترکیب پارامترهای C و گاما، بر اساس تعیین مقدار حداقل (کران پایین)، مقدار حداکثر (کران بالا) و تعداد مراحل/ سطوح در یک دامنه عددی مشخص انجام می‌شود. دامنه عددی دقیقی برای مقادیر پارامترهای C و گاما وجود ندارد. با این حال، چنانچه دامنه وسیع‌تری در نظر گرفته شود احتمال اینکه روش جست‌وجوی شبکه‌ای بتواند بهترین مقدار را برای پارامترهای ترکیبی بیابد، بیشتر است (Syarif et al., 2016). از طرف دیگر، جهت تعیین توالی گام‌های تغییر مقادیر پارامترها در دامنه عددی موردنظر از مقیاس‌های مختلفی نظیر خطی و لگاریتمی استفاده می‌شود. همانطور که مطالعات پیشین تاکید داشته‌اند، لحاظ کردن تغییرات نمایی در توالی مقادیر پارامترها مبتنی بر یک مقیاس لگاریتمی، مناسب‌تر است (Hsu et al., 2003). بر این اساس، دامنه عددی نسبتاً وسیعی از ۰/۰۱ تا ۱۰۰ در ۱۰ سطح با مقیاس لگاریتمی به منظور اجرای روش جست‌وجوی شبکه‌ای در نظر گرفته می‌شود. با استفاده از تکنیک اعتبارسنجی متقابل به ازای مقادیر مختلفی از پارامترهای C و

<sup>4</sup> Support Vector Machine (SVM)

<sup>5</sup> Feature

<sup>6</sup> Hyperplane

<sup>7</sup> Support Vectors

<sup>8</sup> Cost

<sup>9</sup> Gamma

<sup>10</sup> Grid Search

<sup>11</sup> Cross Validation

<sup>12</sup> Overfitting

گاما، ابتدا داده‌ها به  $k$  زیر مجموعه تقسیم می‌شوند (در اکثر مطالعات  $k=10$ )، سپس در یک فرایند جایگشتی، ۹ زیرمجموعه برای آموزش و یک زیرمجموعه برای اعتبارسنجی مدل استفاده می‌شود (Syarif et al., 2016). بدین ترتیب، میانگین صحت کلی در تکرارهای متوالی اعتبارسنجی متقابل جهت ارزیابی نتایج و انتخاب پارامترهای بهینه استفاده می‌شود. این فرایند به تفکیک کرنل‌های مختلف SVM شامل خطی<sup>۱۳</sup>، چندجمله‌ای<sup>۱۴</sup>، تابع پایه شعاعی<sup>۱۵</sup> و سیگموئید<sup>۱۶</sup> انجام می‌گردد.

## ۲-۲-۴- پیش‌بینی تغییرات پوشش/کاربری زمین

به منظور پیش‌بینی تغییرات پوشش/کاربری زمین در آینده از مدل زنجیره مارکوف و مدل سلول‌های خودکار<sup>۱۷</sup> استفاده شد. آنالیز زنجیره مارکوف ابزاری مناسب جهت مدل‌سازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی است و زمانی کاربرد دارد که تغییرات موجود در چشم‌انداز به راحتی قابل توصیف نباشد. مدل سلول‌های خودکار مدلی یک بعدی یا دو بعدی است که دارای پنج عنصر شبکه، وضعیت سلول، همسایگی، زمان و قوانین انتقال است. سلول‌های خودکار یک سیستم دینامیک گسسته است که حالت هر سلول در زمان  $t + 1$  به وسیله حالت سلول‌های همسایگی در زمان و مطابق قوانین تبدیل از پیش تعریف شده، تعیین می‌گردد. این مدل به عنوان روشی با دینامیک‌های مختلف زمانی-مکانی می‌تواند تغییرات را در فضای دو بعدی شبیه‌سازی کند (Sang et al, 2011). خروجی‌های مرحله مدل‌سازی پتانسیل انتقال به عنوان ورودی‌های مرحله پیش‌بینی تغییرات بکار می‌روند. مقدار تغییر هر تبدیل کاربری با استفاده از زنجیره مارکوف پیش‌بینی می‌شود و نقشه کل تغییرات کاربری اراضی با استفاده از دو مدل سخت و نرم در مدل LCM<sup>۱۸</sup> تهیه خواهد شد. آنالیز زنجیره مارکوف فرایندی است که در آن حالت یک سیستم در زمان دوم با استفاده از حالت سیستم در زمان اول پیش‌بینی می‌شود و ماتریس احتمال‌های تغییر از هر کلاس پوشش به هر کلاس دیگر را ارائه می‌دهد (Hou XiYong et al., 2004). 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. ماتریس مساحت انتقال یافته تعداد سلول‌هایی را که برای تغییر از یک نوع پوشش زمین به نوع دیگر در دوره زمانی آینده مورد انتظار هستند، ثبت می‌کند. این ماتریس با ضرب هر ستون از ماتریس احتمال انتقال در تعداد سلول‌های کاربری زمین مربوط به آن در تصویر دوم ایجاد شده است. در هر دوی این فایل‌ها ردیف نشان دهنده پوشش زمین در دوره اول و ستون نشان‌دهنده پوشش زمین در دوره دوم است. اجرای مدل مارکوف چند تصویر احتمال (به صورت یک رستر حاوی نقطه‌های سیاه رنگ) را نیز ایجاد می‌نماید. این تصاویر که از ماتریس احتمال انتقال به دست آمده‌اند، احتمال اینکه هر نوع پوشش زمین در هر موقعیت مکانی در آینده پیدا شود را بیان می‌کنند که بر اساس این دو تصویر پوشش زمین قبلی نقشه‌سازی شده است. اگر چه احتمالات انتقال در هر کاربری دارای دقت زیادی است. اما اطلاعاتی از توزیع مکانی مربوط به کاربری‌ها وجود ندارد (Fan et al., 2007).

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- بهینه‌سازی پارامترهای طبقه‌بندی کننده SVM و انتخاب کرنل

<sup>13</sup> Linear

<sup>14</sup> Polynomial

<sup>15</sup> Radial basis function (RBF)

<sup>16</sup> Sigmoid

<sup>17</sup> CA

<sup>18</sup> Land Change Modeler

در خصوص طبقه‌بندی‌کننده SVM، ترکیب مختلف پارامترهای C و گاما به تفکیک کرنل‌های مختلف از طریق رویکردهای جست و جوی شبکه و اعتبارسنجی متقابل بررسی گردیدند. کرنل تابع پایه شعاعی (RBF) بالاترین میزان صحت کلی را برای تصاویر هر دو سال ۱۹۹۱ (معادل ۱۳۷۰ خورشیدی) و ۲۰۲۲ (معادل ۱۴۰۱ خورشیدی) با ترکیب مختلفی از پارامترهای C و گاما به دست داد. بدین ترتیب، جهت اجرای نهایی طبقه‌بندی‌کننده SVM در مرحله تست از کرنل RBF مبتنی بر ضرایب بهینه آن استفاده گردید. در همین راستا، مطالعات پیشین نیز بر کارایی بهتر کرنل RBF در کاربردهای مربوط به طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای تاکید داشته‌اند (Soliman et al., 2012; Foroudi Khowr et al., 2017; Daneshi et al., 2017; Mansor et al., 2024). در جدول (۳) نتایج ارزیابی صحت کلاس‌های پوشش / کاربری زمین در سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۴۰۱ برای کرنل RBF با ضرایب بهینه C (۴/۵۷) و گاما (۱/۴۲) ارائه شده است. همانطور که نتایج اعتبارسنجی نشان می‌دهد، طبقه‌بندی‌کننده SVM بالاترین (حداکثر ۹۸/۳٪) و کمترین (حداقل ۸۶/۳٪) میزان صحت درون کلاسی را به ترتیب در تفکیک کلاس‌های آب و مناطق ساخته‌شده در سال‌های موردبررسی داشته است. حصول صحت کلی طبقه‌بندی برابر با بیش از ۹۳٪ حاکی از کارایی قابل قبول الگوریتم طبقه‌بندی‌کننده و اعتمادپذیری نتایج آن است.

جدول ۳- نتایج اعتبارسنجی قابلیت کرنل RBF در تفکیک کلاس‌های پوشش / کاربری زمین با ضرایب C و گاما بهینه

سال	پوشش گیاهی	بدون پوشش گیاهی	کلاس کاربری / پوشش زمین			صحت کلی (%)
			شوره‌زار	نیزار / تالاب	آب	
۱۳۷۰	۹۱/۳	۹۷/۴	۹۴/۵	۹۴	۹۸/۳	۹۴/۱
۱۴۰۱	۸۸/۹	۹۶/۸	۹۷/۸	۹۰/۳	۹۸/۲	۹۳/۰۵

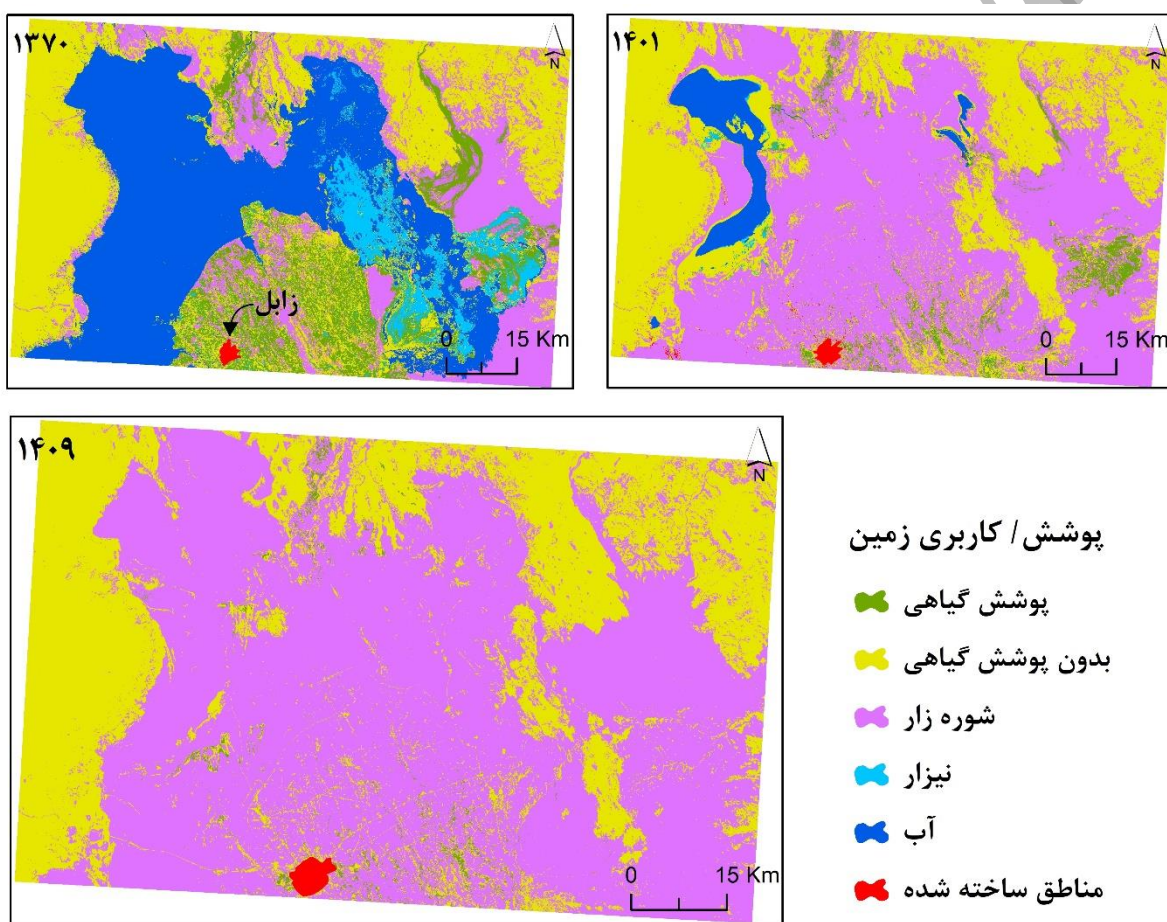
### ۳-۲- روند تغییرات پوشش / کاربری زمین از ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۱

نقشه‌های پوشش / کاربری زمین تولیدشده با استفاده از طبقه‌بندی‌کننده بهینه‌سازی شده SVM در شکل (۳) ارائه شده‌اند. همانطور که در نقشه مربوط به سال ۱۳۷۰ نیز مشهود است، منطقه از نظر هیدرولوژیکی در شرایط مطلوب بوده و بستر دریاچه پرآب‌ترین حالت خود را در سه دهه اخیر تجربه کرده است (Darvishi Bolorani et al., 2022). در سال ۱۳۷۰، دریاچه‌های هامون پوزک و صابری بالاترین مساحت (۳۳/۶۵٪) را در میان سایر کلاس‌های پوشش / کاربری زمین داشته‌اند. علی‌رغم اقلیم غالب خشک و بیابانی منطقه، در این سال حدود نیمی از مساحت منطقه مورد مطالعه تحت پوشش کلاس‌های آب، پوشش گیاهی و نیزار / تالاب بوده است (شکل ۴- سمت چپ).

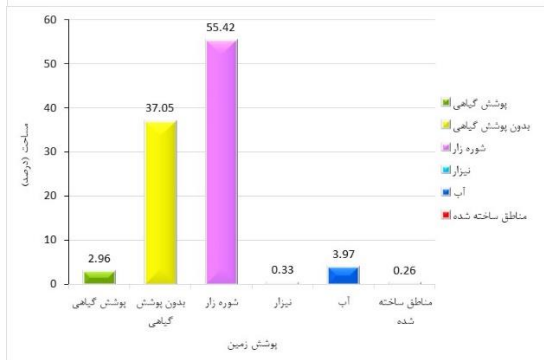
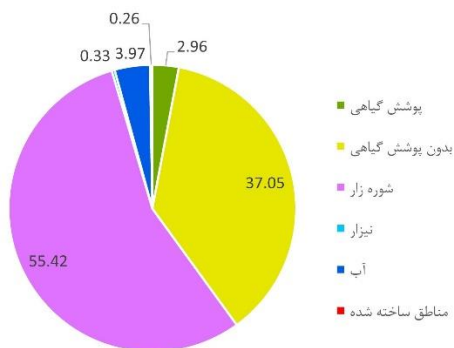
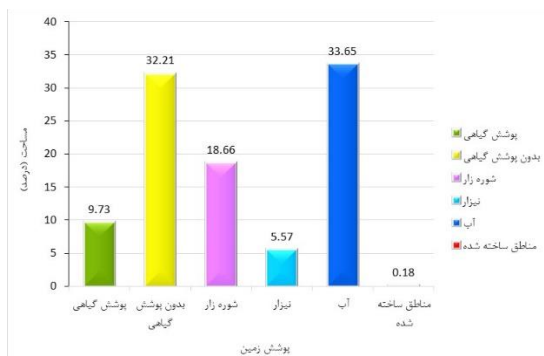
الگوی مکانی کلاس‌های پوشش / کاربری زمین در سال ۱۴۰۱ با گذشت حدود سه دهه تغییرات بسیار چشمگیری را نشان می‌دهد (شکل ۳). در کلاس‌های آب، پوشش گیاهی و نیزار / تالاب به ترتیب حدود ۸۸٪، ۶۹٪ و ۹۴٪ کاهش نسبت به سال ۱۳۷۰ رخ داده است. بدین ترتیب، هامون پوزک تقریباً خشک شده و هامون صابری نیز فقط در بخش‌های شمال‌غربی و غربی آب دارد. در مقابل، اراضی بدون پوشش گیاهی و شور به ترتیب ۱۵٪ و ۱۹۷٪ افزایش داشته‌اند. از طرف دیگر، در مناطق ساخته‌شده حدود ۴۴٪ گسترش فیزیکی در بازه زمانی موردبررسی صورت گرفته است (شکل ۴- سمت راست). لازم به ذکر است که برخی نواحی ساخته‌شده (خصوصاً نواحی روستایی) به دلیل شباهت طیفی زیاد به اراضی بدون پوشش گیاهی و شور، در فرایند طبقه‌بندی تصویر تشخیص داده نشده‌اند که این مهم با توجه به صحت نسبتاً کمتر کلاس مناطق ساخته‌شده (جدول ۳) نیز قابل توجیه است. بنابراین، طبقه‌بندی‌کننده

مساحت نواحی ساخته شده را کمتر از واقعیت تخمین زده است و می توان گفت احتمالاً درصد گسترش فیزیکی در منطقه بیشتر از مقدار تخمین زده شده در این مطالعه است.

بر اساس بررسی تغییرات کلاس های پوشش / کاربری زمین، بطور کلی می توان گفت بیشترین کاهش مساحت را اراضی تحت پوشش نیزار / تالاب تجربه کرده اند که غالباً به شوره زار تبدیل شده اند. در مقابل اراضی شوره زار در منطقه به تقریباً دو برابر (۱۹۷٪) افزایش یافته اند که با در نظر گرفتن افزایش مساحت اراضی بدون پوشش گیاهی و مناطق ساخته شده، می توان اینگونه اذعان نمود که سایر کلاس های دارای روند کاهشی غالباً به این کلاس مبدل شده اند. این مسئله در پژوهش شریفی کیا (۱۳۹۱) نیز تایید شده است. ایشان اذعان داشته اند که خشک شدن دریاچه های هامون منجر به از بین رفتن نیزارها و تالاب های آن گردیده است. این مهم اثرات زیست محیطی متعددی از جمله انتقال ذرات نمکی از بستر خشکیده دریاچه به مزارع کشاورزی را به دنبال داشته است (Sharifikia, 2013).



شکل ۳- نقشه های پوشش / کاربری زمین تولید شده با استفاده از طبقه بندی کننده SVM برای سال های ۱۳۷۰ و ۱۴۰۱ و پیش بینی تغییرات آنها تا سال ۱۴۰۹ با استفاده از مدل CA-Markov

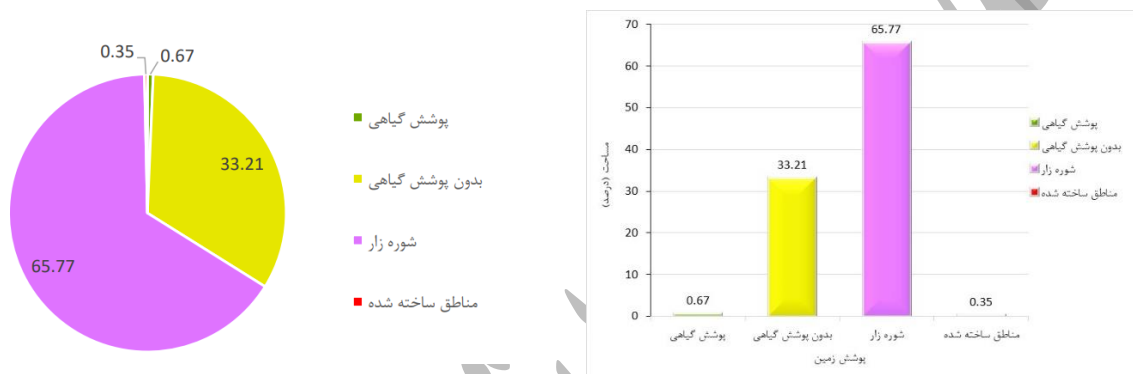


شکل ۴- مساحت کلاس‌های پوشش / کاربری زمین در سال‌های ۱۳۷۰ (بالا) و ۱۴۰۱ (پایین).

### ۳-۳- پیش‌بینی تغییرات پوشش / کاربری زمین برای سال ۱۴۰۹

در این بخش، با مدلسازی روند تغییرات کلاس‌های پوشش / کاربری زمین در بازه زمانی ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۱ مبتنی بر مدل CA-Markov، الگوی مکانی پوشش / کاربری زمین برای سال ۲۰۳۰ (معادل ۱۴۰۹ خورشیدی) پیش‌بینی شده است (شکل ۳). چنانچه شرایط اقلیمی و یا رویکردهای مدیریت منابع آب، خاک و گیاه در منطقه روند یکسانی را در پیش داشته باشند، شاهد تداوم از دست رفت منابع آب و پوشش گیاهی و گسترش شوره‌زار خواهیم بود. پیش‌بینی مساحت کلاس‌های پوشش / کاربری زمین بر اساس مدلسازی صورت‌گرفته در شکل (۵) آمده است. بدین ترتیب نتایج پیش‌بینی حاکی از آن است که راضی شوره‌زار تقریباً ۶۶٪ منطقه را در سال ۱۴۰۹ در بر خواهند گرفت که نسبت به سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۴۰۱ به ترتیب معادل ۲۵۲٪ و ۱۹٪ افزایش است (شکل ۵). از طرف دیگر، دریاچه‌های هامون پوزک و صابری و همچنین اراضی نیزار / تالابی بطور کامل خشک شده و از دست خواهند رفت. در همین راستا، ماتریس‌های انتقال تغییرات کلاس‌های پوشش زمین در بازه‌های زمانی ۱۳۷۰-۱۴۰۱ و ۱۳۷۰-۱۴۰۹ در جداول (۴) و (۵) ارائه شده‌اند. نتایج این ماتریس‌ها بر آنچه که آمد صحنه می‌گذارند. همانطور که از این جداول نیز برمی‌آید از سال ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۱، مساحت کلاس‌های پوشش گیاهی، نیزار و آب کاهش داشته‌اند. در این میان، کاهش مساحت مربوط به کلاس آب بسیار شدید است به طوری که مساحت این کلاس از ۳۳/۶۵٪ در سال ۱۳۷۰ به ۳/۹۷٪ در سال ۱۴۰۱ کاهش (بیش از ۸۸٪) یافته است. از دیگر سو، در این بازه زمانی کلاس‌های بدون پوشش گیاهی، مناطق ساخته شده و شوره‌زار افزایش تجربه کرده‌اند که بیشترین میزان آن مرتبط با کلاس شوره‌زار است. از این نتایج می‌توان اینگونه استنباط کرد که بیشترین میزان از دست رفت مربوط به کلاس آب است که غالباً به شوره‌زار (۲۶/۱۸٪) تبدیل شده است. در صورت ادامه این روند در سال ۱۴۰۹ نیز شاهد تداوم از دست رفت منابع با شدت بیشتر خواهیم بود به طوری که در سال ۱۴۰۹ منابع آبی و نیزار به طور کامل از دست خواهند رفت و منطقه به شوره‌زار تبدیل می‌شود (جداول ۴ و ۵). نتایج به دست آمده در این مطالعه بطور کلی با نتیجه برخی محققان نیز همسو می‌باشد. در همین

راستا، شاکریاری و همکاران (۱۴۰۰) اذعان داشتند که روند تغییرات تالاب هامون در یک دوره ۴۸ ساله (۱۹۷۷-۲۰۲۵) در جهت تخریب آن بوده است (Shakeryari et al., 2022). خوارزمی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی با هدف بررسی روند تغییر کاربری اراضی تالاب هامون بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲، دریافتند که کلاس‌های پوشش گیاهی و آب در طول دوره بطور قابل توجهی کاهش یافته و به اراضی بدون پوشش گیاهی تبدیل شده‌اند (Kharazmi et al., 2016). نتایج مطالعه خوارزمی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی دیگر نیز موید از دست رفت شدید آب در دوره ۳۰ ساله (۱۹۸۷-۲۰۱۶) در این منطقه است که آن را از دوره باروری و سلامت اکولوژیکی به دوره خشکسالی و بیابان‌زایی تبدیل نموده است (Kharazmi et al., 2018). بطور کلی، در صورت تداوم روند کنونی در کمتر از یک دهه آتی منطقه مورد مطالعه بطور کامل به اراضی بدون پوشش گیاهی و شورزار تبدیل می‌شود. با توجه به وابستگی شدید معیشت و اقتصاد مردم ساکن در این منطقه به خدمات اکوسیستمی مبتنی بر دریاچه‌ها و تالاب‌ها، می‌توان گفت جوامع محلی بیش از پیش از نظر شرایط زندگی با مشکلات بسیار جدی مواجه خواهند شد.



شکل ۵- پیش بینی مساحت کلاس‌های پوشش/ کاربری زمین برای سال ۱۴۰۹.

جدول ۴- ماتریس انتقال تغییرات کلاس‌های پوشش زمین در بازه زمانی ۱۳۷۰-۱۴۰۱

تغییرات مساحت کلاس‌های پوشش زمین ۱۴۰۱ (%)							
پوشش گیاهی	بدون پوشش گیاهی	شوره‌زار	نیزار	آب	مناطق ساخته شده	مساحت کلاس‌های پوشش زمین ۱۳۷۰ (%)	
پوشش گیاهی	۲,۹۶	۰,۷۹	۵,۹۶	۰	۰,۰۲	۹,۷۳	تغییرات مساحت کلاس‌های پوشش زمین ۱۳۷۰ (%)
بدون پوشش گیاهی	۰	۳۲,۲۱	۰	۰	۰	۳۲,۲۱	
شوره‌زار	۰	۰	۱۸,۶۶	۰	۰	۱۸,۶۶	
نیزار	۰	۰,۶۱	۴,۶۲	۰,۳۳	۰,۰۱	۵,۵۷	
آب	۰	۳,۴۵	۲۶,۱۸	۰	۰,۰۵	۳۳,۶۵	
مناطق ساخته شده	۰	۰	۰	۰	۰,۱۸	۰,۱۸	
مساحت کلاس‌های پوشش زمین ۱۴۰۱ (%)	۲,۹۶	۳۷,۰۶	۵۵,۴۲	۰,۳۳	۳,۹۷	۱۰۰	

جدول ۵- ماتریس انتقال تغییرات کلاس‌های پوشش زمین در بازه زمانی ۱۳۷۰-۱۴۰۹

تغییرات مساحت کلاس‌های پوشش زمین ۱۴۰۹ (%)							
---	--	--	--	--	--	--	--

پوشش گیاهی	بدون پوشش گیاهی	شوره‌زار	نیزار	آب	مناطق ساخته شده	مساحت کلاس‌های پوشش زمین ۱۳۷۰ (%)
پوشش گیاهی	۰٫۶۷	۸٫۸۳	۰	۰	۰٫۰۵	۹٫۷۳
بدون پوشش گیاهی	۰	۰	۰	۰	۰	۳۲٫۲۱
شوره‌زار	۰	۱۸٫۶۶	۰	۰	۰	۱۸٫۶۶
نیزار	۰	۵٫۴۵	۰	۰	۰٫۰۱	۵٫۵۷
آب	۰	۳۲٫۸۳	۰	۰	۰٫۱۱	۳۳٫۶۵
مناطق ساخته شده	۰	۰	۰	۰	۰٫۱۸	۰٫۱۸
مساحت کلاس‌های پوشش زمین ۱۴۰۹ (%)	۰٫۶۷	۶۵٫۷۷	۰	۰	۰٫۳۵	۱۰۰

### ۳-۴- چالش‌ها، آینده‌نگری و راهکارها

در بسیاری از مطالعات پیشین پیرامون ارزیابی تغییرات پوشش/ کاربری زمین در دریاچه‌های هامون، بیشتر تمرکز بر پیش‌بینی آینده دور بوده است. نتایج ما نشان داد، در کمتر از یک دهه آبی مساحت راضی شوره‌زار حدود ۱۹٪ افزایش خواهد یافت. نرخ تغییرات بسیار زیاد در روند پوشش/ کاربری زمین حاکی از وضعیت بسیار بحرانی منطقه از لحاظ از دست رفت منابع آب و گیاه و گسترش اراضی بیابانی است. از این رو، باید بر آینده نزدیک تمرکز گردد و هدف‌گذاری به منظور تحقق مدیریت سرزمینی پایدار در این منطقه مبتنی بر افق‌های زمانی کوتاه‌مدت با اولویت بسیار زیاد صورت پذیرد.

بررسی ادبیات پژوهش پیرامون علل از دست رفت منابع آب در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد توافق چندانی در این خصوص وجود ندارد. با این حال، با توجه به مطالعات متعدد می‌توان عوامل مؤثر بر این مسئله را به دو دسته طبیعی و انسانی برشمرد. در دسته عوامل طبیعی، نتایج گرمی و همکاران (۱۴۰۱) نشان می‌دهد تغییرات فصلی بارندگی در این منطقه در نهایت به کاهش ذخیره منابع آب منجر می‌گردد (Karami et al., 2022). در این خصوص مجموعه یافته‌های حاصل از پژوهش خسروی و همکاران (۱۳۹۴) نیز بیانگر کاهش منابع آب در دشت سیستان در اثر تغییرات فصلی بارش در منطقه است (Khosravi et al, 2015). درویشی بلورانی و همکاران (۱۴۰۱) رخداد خشکسالی‌های دوره‌ای شدید را از دیگر عوامل طبیعی کاهش آب در این منطقه عنوان کرده‌اند (Darvishi Boloorani et al, 2022). در مطالعه شریفی‌کیا (۱۳۸۹) نیز تاثیر زیاد عوامل طبیعی بر کاهش میزان آب در این منطقه تاکید شده است. (Sharifikia, 2010).

از جمله کلیدی‌ترین عوامل انسانی تشدیدکننده کم‌آبی در این منطقه علاوه بر عوامل داخلی نظیر توسعه اراضی کشاورزی، سیاست‌های مدیریت منابع آب بالادست حوضه است. از جمله این سیاست‌ها توسعه کمی اراضی کشاورزی، اقدامات سازه‌ای افغانستان نظیر احداث سدها و بندهای انحرافی متعدد در بالادست و مسیر رودخانه هیرمند است (Rashki et al., 2013; Maleki et al., 2019; Ehsani & Shakeryari, 2021; Darvishi Boloorani et al, 2022; Akbari et al., 2022). لذا اتخاذ رویکردهای مدیریتی کارآمد باید بر اساس دانش مناسب از منابع آب موجود صورت گیرد. دستیابی به این دانش با تکیه بر داده و اطلاعات و از طریق پایش عوامل هیدرواقليمی نظیر پارامترهای هواشناسی، هیدرولوژیکی و کاربری زمین امکان پذیر است. در غالب مطالعات پیشین پیرامون شناسایی و تبیین عوامل مؤثر بر خشک شدن دریاچه‌های هامون رویکردهایی که جهت ارزیابی و ریشه‌یابی اتخاذ نموده‌اند در مقیاس محلی بوده است. از آنجاکه دریاچه‌های هامون عمدتاً از طریق رود هیرمند در افغانستان تغذیه می‌شوند، بنابراین مسئله کمبود آب و شناخت علل آن بایستی با یک دید فرامرزی جامع و در مقیاس حوضه آبریز بررسی گردد.

کمبود آب ناشی از خشکسالی و فعالیت‌های انسانی و به تبع از آن خشک شدن دریاچه‌های هامون موجب بروز مشکلات زیست‌محیطی و اقتصادی-اجتماعی متعددی در منطقه سیستان شده است که از آن جمله می‌توان به وقوع طوفان‌های گردوغبار، افزایش آلودگی

هوا و مشکلات بهداشتی، تخریب پوشش گیاهی، کاهش تولیدات کشاورزی و آسیب به زیستگاه آبزیان و پرندگان اشاره کرد (Sharifikia, 2013). بسیاری از این مشکلات نظیر گردوغبار و آلودگی هوا و پیامدهای مرتبط با آنها فراتر از منطقه سیستان، بسیاری از نواحی کشور خصوصاً استان‌های جنوب و جنوب‌شرقی و همچنین کشورهای همجوار را نیز متاثر ساخته است. معضل کمبود آب از مرزهای سیاسی تبعیت نمی‌کند؛ بنابراین، چالش‌های موجود اهمیت و ضرورت ایجاد یک چهارچوب مدیریتی جامع جهت تامین امنیت آب مبتنی بر برقراری تعادل بین تداوم منابع آب و اقدامات توسعه‌ای را برجسته کرده است.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه با بهره‌گیری از قابلیت‌های تصاویر چندطیفی ماهواره‌های لندست ۵ و ۸ و الگوریتم طبقه‌بندی‌کننده ماشین بردار پشتیبان، تغییرات پوشش/کاربری زمین در سه دهه اخیر با تمرکز بر پهنه‌های آبی در نواحی شمالی دریاچه‌های هامون (مشخصاً هامون پوزک و صابری) واقع در استان سیستان و بلوچستان مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاکی از کاهش مساحت دریاچه‌ها و تالاب‌های منطقه به ترتیب برابر با ۸۸٪ و ۹۴٪ در سال ۱۴۰۱ نسبت به ۱۳۷۰ است. ماتریس تغییرات کلاس‌های پوشش زمین نشان می‌دهد، در بازه زمانی موردبررسی مساحت شوره‌زارها تقریباً دو برابر شده و عمده از دست رفت مساحت کلاس‌های مرتبط با آب و پوشش گیاهی به شکل تبدیل به این کلاس بوده است. پیش‌بینی تغییرات پوشش/کاربری زمین با استفاده از مدل زنجیره مارکوف حاکی از آن است که در کمتر از یک دهه آبی حدود  $\frac{2}{3}$  منطقه به شوره‌زار تبدیل می‌شود (معادل تقریباً ۱۹٪ افزایش نسبت به سال ۱۴۰۱) و پهنه‌های آبی شامل دریاچه‌های هامون پوزک و صابری و تالاب‌ها کاملاً خشک خواهند شد. یافته‌های پژوهش حاضر بر بحرانی بودن وضعیت منابع آب سطحی در منطقه مورد مطالعه و ضرورت توجه ویژه جهت مدیریت معضلات منتج‌شده از آن تاکید دارد.

- Akbari, M., Mirchi, A., Roozbahani, A., Gafurov, A., Kløve, B., & Haghghi, A. T. (2022). Desiccation of the Transboundary Hamun Lakes between Iran and Afghanistan in Response to Hydro-climatic Droughts and Anthropogenic Activities. *Journal of Great Lakes Research*, 48(4), 876–889. <https://doi.org/10.31223/X5G90V>.
- Ali Bakhshi, T., Azizi, Z., Vafaeinejad, A., & Aghamohammadi Zanjirabadi, H. (2020). Survey of Area Changes in Water Basins of Shahid Abbaspour Dam Caused by 2019 Floods Using Google Earth Engine. *Iranian journal of Ecohydrology*, 7(2), 345-357. doi: 10.22059/ije.2020.295785.1272.
- Asghari Saraskanroud, Sayad, Qala, Ehsan, Ardeshirpi, Ali Asghar, and Omidifar, Mustafa. (2019). Prediction of land use changes in Guchan city for 2030 using CA Markov method. *Regional Planning*, 10(40), 177-194. SID. <https://sid.ir/paper/1004224/fa>.
- Beyene, E., & Minale, A. S. (2023). Modeling urban land use dynamics using Markov-chain and cellular automata in Gondar City, Northwest Ethiopia. *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*, 21(2), 111-120. <https://doi.org/10.1016/j.cjpre.2023.06.007>.
- Burges, C. J. (1998). A tutorial on support vector machines for pattern recognition. *Data mining and knowledge discovery*, 2(2), 121-167.
- Daneshi, A., & Panahi, M. (2017). Efficiency Comparison of Support Vector Machine and Maximum Likelihood Algorithms for Monitoring Land Use Changes. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, 8(2), 73-86.
- Darvishi Boloorani, A., Najafi, M. S., Soleimani, M., Papi, R., & Torabi, O. (2022). Influence of Hamoun Lakes' dry conditions on dust emission and radiative forcing over Sistan plain, Iran. *Atmospheric Research*, 272, 106152. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106152>.
- Duan, K. B., & Keerthi, S. S. (2005). Which is the best multiclass SVM method? An empirical study. In *Multiple Classifier Systems: 6th International Workshop, MCS 2005, Seaside, CA, USA, June 13-15, 2005. Proceedings 6* (pp. 278-285). Springer Berlin Heidelberg.
- Ebrahimi-Khusfi, M. (2023). Analysis of Changes in the Area of Hamoon Wetlands and other Water Bodies in Sistan Region using Satellite Images. *Geography and Development*, 21(71), 139-165. doi: 10.22111/gdij.2023.7598.
- Ehsani, A. H., & Shakeryari, M. (2021). Monitoring of wetland changes affected by drought using four Landsat satellite data and Fuzzy ARTMAP classification method (case study Hamoun wetland, Iran). *Arabian Journal of Geosciences*, 14(14), 1363. <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-020-06320-8>
- Fan, F., Weng, Q., & Wang, Y. (2007). Land use and land cover change in Guangzhou, China, from 1998 to 2003, based on Landsat TM/ETM+ imagery. *Sensors*, 7(7), 1323-1342. <https://doi.org/10.3390/s7071323>.
- Farrokhzadeh, S., Hashemi Monfared, S. A., Azizyan, G., Sardar Shahraki, A., Ertsen, M. W., & Abraham, E. (2020). Sustainable water resources management in an arid area using a coupled optimization-simulation modeling. *Water*, 12(3), 885. <https://doi.org/10.3390/w12030885>.
- Feyzi zadeh, B., Azizi, H., Valizadeh, K. (2007). Extraction of land use Malakan city using satellite images ETM+ Landsat 7. *Journal of Land use planning* 2, 74-93.

- Foroudi Khour, A., Saneie, M., & Azhdari Moghaddam, M. (2017). Comparison of Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) and Support Vector Machines(SVM) for discharge capacity prediction of a sharp-crested weirs. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 11(5), 772-784.
- Goodarzi, M., Pourhashemi, M., & Azizi, Z. (2019). Investigation on Zagros forests cover changes under the recent droughts using satellite imagery. DOI: 10.17221/61/2018-JFS.
- Hou XiYong, H. X., Chang Bin, C. B., & Yu XinFang, Y. X. (2004). Land use change in Hexi corridor based on CA-Markov methods.
- Hsu, C. W., Chang, C. C., & Lin, C. J. (2003). A practical guide to support vector classification.
- Jensen, J. R. (1996). *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective.*, no. Ed. 2. Prentice -Hall Inc.
- 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), 107-123. DOI: 10.22111/jneh.2021.36069.1710.
- Kharazmi, R. , Abdollahi, A. A. , Rahdari, M. R. and Karkon varnosfaderani, M. (2016). Monitoring Land Use Change and its Impacts on Land Degradation and Desertification Trend Using Landsat Satellite Images (Case study: East of Iran, Hamoon Wetland). *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 7(25), 64-75.
- Kharazmi, R., Tavili, A., Rahdari, M. R., Chaban, L., Panidi, E., & Rodrigo-Comino, J. (2018). Monitoring and assessment of seasonal land cover changes using remote sensing: A 30-year (1987–2016) case study of Hamoun Wetland, Iran. *Environmental monitoring and assessment*, 190, 1-23. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6726-z>.
- Khosravi, M., Tavousi, T., & Zahraei, A. (2015). Simulation of Climate Change in Sistan and Baluchestan for the period 2009-2040 by Using Downscaling the Data of Global Circulation Model. *Geographical Researches*, 30(3), 185-205.
- Kwang, C., Osei Jnr, E. M., & A. S. Amoah. (2018). Comparing of Landsat 8 and Sentinel, 2A using Water Extraction Indexes over Volta River, *Journal of Geography and Geology* 10(1), 1-7. <http://dx.doi.org/10.5539/jgg.v10n1p1>.
- Lin, C., Wu, C. C., Tsogt, K., Ouyang, Y. C., & Chang, C. I. (2015). Effects of atmospheric correction and pansharpening on LULC classification accuracy using WorldView-2 imagery. *Information Processing in Agriculture*, 2(1), 25-36. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2015.01.003>.
- Lin, S. W., K.C. Ying, S.C. Chen, and Z.J. Lee. (2008). Particle swarm optimization for parameter determination and feature selection of support vector machines. *Expert systems with applications*, 35(4), 1817-1824. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.08.088>.
- Maleki, S., Koupaei, S.S., Soffianian, A., Saatchi, S., Pourmanafi, S., & Rahdari, V (2019). Human and climate effects on the Hamoun wetlands. *Weather, Climate, and Society*, 11, 609-622. <http://dx.doi.org/10.1175/WCAS-D-18-0070.1>.
- Mansor, N.S., Awang, H., Malami, S.T.S., Zolkafli, A., Taiye, M.A., Maulana, H. (2024). Support Vector Machine for Satellite Images Classification Using Radial Basis Function Kernel Method. In: Zakaria, N.H., Mansor, N.S., Husni, H., Mohammed, F. (eds) *Computing and Informatics. ICOCI 2023*.

Communications in Computer and Information Science, vol 2001. Springer, Singapore.  
[https://doi.org/10.1007/978-981-99-9589-9\\_23](https://doi.org/10.1007/978-981-99-9589-9_23).

- Panahi, F., & Malekmohammadi, I. (2018). Effects of Agricultural Water Resource Management on Livelihood Poverty Alleviation in Rural Areas of Iran. *Village and Development*, 16(4), 1-17. doi: 10.30490/rvt.2018.59376
- Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Goudie, A. S., & Kahn, R. A. (2013). Dryness of ephemeral lakes and consequences for dust activity: the case of the Hamoun drainage basin, southeastern Iran. *Science of the Total Environment*, 463, 552–564. <https://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.06.045>.
- Ruben, G. B., Zhang, K., Dong, Z., & Xia, J. (2020). Analysis and projection of land-use/land-cover dynamics through scenario-based simulations using the CA-Markov model: A case study in guanting reservoir basin, China. *Sustainability*, 12(9), 3747. <http://dx.doi.org/10.3390/su12093747>.
- Saatsaz, M. (2020). A historical investigation on water resources management in Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 22(3), 1749–1785. <https://doi.org/10.1007/s10668-018-00307-y>
- Salehi, Y., Azizi, Z., & Aghamohamadi, H. (2017). Site selection of aquifers of Ghorveh pasture areas using satellite images. *Iranian journal of Ecohydrology*, 4(3), 861-871. <https://doi.org/10.22059/ije.2020.295785.1272>.
- Sang, L., Zhang, C., Yang, J., Zhu, D., & Yun, W. (2011). Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA–Markov model. *Mathematical and Computer Modelling*, 54(3-4), 938-943. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2010.11.019>.
- shakeryari, M., Ehsani, A., nasrabadi, T., & mahmoudi, P. (2022). Review of Capability Landsat Data for Evaluating Land Cover Changes (Case Study: International Hamoun Wetland). *Desert Ecosystem Engineering*, 5(10), 69-84.
- Sharifikia, M. (2010). Monitoring water level changes in Hamon Lake, based on time series analysis of remote sensing images. *Space planning and preparation*, 14(3 (67 series)), 155-175. SID. <https://sid.ir/paper/171987/fa>
- Sharifikia, M. (2013). Environmental challenges and drought hazard assessment of Hamoun Desert Lake in Sistan region, Iran, based on the time series of satellite imagery. *Natural Hazards*, 65(1), 201–217. <http://hdl.handle.net/10.1007/s11069-012-0353-8>.
- Shiklomanov, I. A. (1998). World water resources: a new appraisal and assessment for the 21st century.
- Schooli, G. A., Delavar, M., & Ghamary Asl, M. (2016). Prediction and Uncertainty Analysis of land Use Changes in the Zarineh Roud Basin. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 10(3), 352-364.
- Soleimani, M., Attarchi, S., Mahmoody-Vanolya, N., Bakhshizadeh, F., & Ahmadi, H. (2021). Evaluation of Sentinel-1 Interferometric SAR Coherence efficiency for Land Cover Mapping. *Engineering Journal of Geospatial Information Technology*, 9(3), 85-107. <http://dx.doi.org/10.52547/jgit.9.3.85>.
- Soliman, O. S., & Mahmoud, A. S. (2012). A classification system for remote sensing satellite images using support vector machine with non-linear kernel functions. In 2012 8th International Conference on Informatics and Systems (INFOS) (pp. BIO-181). IEEE.
- Song, C., Woodcock, C. E., Seto, K. C., Lenney, M. P., & Macomber, S. A. (2001). Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects?. *Remote*

sensing of Environment, 75(2), 230-244. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00169-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00169-3).

Syarif, I., Prugel-Bennett, A., & Wills, G. (2016). SVM parameter optimization using grid search and genetic algorithm to improve classification performance. TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control), 14(4), 1502-1509. <http://dx.doi.org/10.12928/telkomnika.v14i4.3956>.

Tobore, A., & Bamidele, S. (2022). Wetland change prediction of Ogun-River Basin, Nigeria: Application of cellular automata Markov and remote sensing techniques. Watershed Ecology and the Environment, 4, 158-168. <https://doi.org/10.1016/j.wsee.2022.11.00>.

Van Beek, E., Bozorgy, B., Vekerdy, Z., Meijer, K. (2008). Limits to agricultural growth in the sistan closed inland delta, Iran. Irrig. Drain. Syst. 22 (2), 131–143. DOI 10.1007/s10795-008-9045-7.

Zhu, G., and D.G. Blumberg. (2002). Classification using ASTER data and SVM algorithms: The case study of Beer Sheva, Israel. Remote Sensing of Environment, 80(2), 233–240. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00305-4](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00305-4).

پیشین انتشار