

GES	Journal of Geography and Environmental Studies, 12 (48), Winter 2024 https://sanad.iau.ir/journal/ges ISSN: 2008-7845 Doi: 10.71740/ges.2024.979226
-----	---

Research Article

Received: 08 February 2023

Revised: 14 March 2023

Accepted: 18 April 2023

Forecasting Changes in the Morphology of Sefid Rood River Using Arc GIS

Aghil Madadi¹, Tayebah Babaei Olam², Alireza Ghodrati³

1. Professor, Department of Geomorphology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
(Corresponding Author)

Email: Aghil48madadi@yahoo.com

2. PhD Student, Department of Physical Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

3. Forestry, Rangeland and Watershed Research Department, Agricultural and Natural Resources Research Center of Gilan Province, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rasht, Iran.

Abstract

Considering the flood events, especially for the settlements around the rivers, the lack of correct information about the consecutive changes of the river bed and its movement in the coming years is one of the important scientific issues of watershed management, therefore, due to insufficient information about the behavior of the rivers, the settlements along the rivers in the coastal areas are constantly damaged. The scope of this research is from the border of Konik Kohestan to Jalga. The purpose of this research is to predict the changes in river morphology (channel width and measurement of Pichanroudi and river curvature coefficient) in the coastal areas of the north of the country through the integrated methods of remote sensing with the model of Markov automatic weighing cells. Sefidroud, as the largest and most important river on the southern shores of the Caspian Sea, plays an important role in the life, activities and human capital of the region. The morphological factors of the river and its surroundings and the prediction of future conditions can be effective and necessary in the planning and preparation of coastal plains. In this research, the Landsat 5, 7 and 8 satellite images of 2002, 1987 and 2018, along with the data of changes in the level of the Caspian Sea and Sefidroud Dubai, field surveys and Envi 5.3, ArcGIS 10.4.1 and Idrisi TerrSet software as The research tool was used. First, the probability values of land use conversion in 2018 were obtained based on the integrated model of the Markov chain and automatic cells. The results showed that the integrated model has high precision and accuracy to predict the future pattern. Then, according to the accuracy and accuracy of the model output, the prediction map of land use and river morphology for 2030 was prepared. By fitting the two maps of 2018 and the forecast of 2030, possible changes in the river environment were obtained and analyzed in four areas. Finally, using the data of changes in the level of the Caspian Sea and the annual discharge of the Sefidroud River, the trend of changes and prediction of the model was investigated. The most likely changes are due to man-made facilities. Erosion processes, change of Pichanroodi and flooding in the distance from Sangar Dam to Luman village as lateral displacement of the channel and intensification of Pichanroodi, Kisem village and the city of Astana Ashrafieh and Azadsara to Lichah as flooding of human facilities and in the area of Kiashahr, Bojag wetland and delta Sefidroud is changing the position of the estuary and moving to the west of the river channel, according to the results of the survey of the cross section of the river channel in the three periods of 1987, 2002 and 2018, there has been a decrease in the width of the channel.

Keywords: Markov chain, automatic cell model, remote sensing studies, Sefidroud.

Citation: Madadi, A.; Babaei Olam, T.; Ghodrati, A. (2024), Forecasting Changes in the Morphology of Sefid Rood River Using Arc GIS, Journal of Geography and Environmental Studies, 12 (48), 20-33.
Doi: 10.71740/ges.2024.979226

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granded to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – accses article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



پیش‌بینی تغییرات مورفولوژی رودخانه سفید رود با استفاده از Arc GIS

عقیل مددی^{۱*}، طیبه بابایی اولم^۲، علیرضا قدرتی^۳

۱. استاد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲. دانشجوی دکتری، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۳. بخش تحقیقات جنگلها، مراتع و آبخیزداری، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

چکیده

با توجه به رویدادهای سیل به‌ویژه برای سکونتگاه‌ها پیرامون رودخانه‌ها، عدم اطلاع صحیح از تغییرات متوالی بستر رودخانه و جابجایی آن در سال‌های آتی یکی از مسایل مهم علمی آبخیزداری می‌باشد از این‌رو به دلیل اطلاعات ناکافی از رفتار رودخانه‌ها، سکونتگاه‌های حاشیه رودخانه‌های مناطق ساحلی دائماً دچار آسیب هستند. محدوده مورد بررسی این تحقیق از مرز کنیک کوهستان تا جلگه می‌باشد. هدف از این پژوهش پیش‌بینی تغییرات مورفولوژی رودخانه (عرض کانال و اندازه‌گیری پیچانرودی و ضریب خمیدگی رودخانه) در مناطق ساحلی شمال کشور از طریق روش‌های تلفیقی سنجش از دور با مدل سلول‌های اتوماتیک و زنجیره مارکوف است. سفیدرود به عنوان بزرگترین و مهم‌ترین رودخانه سواحل جنوب دریای خزر نقش مهمی در زندگی، فعالیت‌ها و سرمایه‌های انسانی منطقه دارد. عوامل مورفولوژیک رودخانه و محیط‌های پیرامون آن و پیش‌بینی شرایط آینده می‌تواند در برنامه‌ریزی و آمایش دشت‌های ساحلی موثر و ضروری واقع شود. در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵، ۷ و ۸ سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۸، همراه با داده‌های تغییرات تراز دریای خزر و دبی سفیدرود، بررسی‌های میدانی و نرم افزارهای ArcGIS 10.4.1، Idrisi TerrSet و Envi 5.3 به عنوان ابزار تحقیق بهره گرفته شد. ابتدا مقادیر احتمال تبدیل کاربری اراضی در سال ۲۰۱۸ بر مبنای مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار به‌دست آمد. نتایج نشان داد که مدل تلفیقی دارای دقت و صحت بالایی جهت پیش‌بینی الگوی آینده است. سپس با توجه به دقت و صحت خروجی مدل، نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی و مورفولوژی رودخانه برای سال ۲۰۳۰ تهیه شد. با برازش دو نقشه سال ۲۰۱۸ و پیش‌بینی ۲۰۳۰ تغییرات محتمل در محیط رودخانه به‌دست آمد و در چهار محدوده مورد تحلیل قرار گرفت. در نهایت با استفاده از داده‌های تغییرات تراز دریای خزر و دبی سالانه رودخانه سفیدرود، روند تغییرات و پیش‌بینی مدل، مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین احتمال تغییرات بر اثر تاسیسات ساخت انسان می‌باشد. فرایندهای فرسایشی، تغییر پیچانرودی و سیل‌گیری در حد فاصل سد سنگر تا روستای لومان بصورت جابجایی جانبی کانال و تشدید پیچانرودی، روستای کیسم و شهر آستانه اشرفیه و آزادسرا تا لیچاه بصورت سیل‌گیری تاسیسات انسانی و در محدوده کیشهر، تالاب بوجاق و دلتای سفیدرود بصورت تغییر موقعیت مصب و جابجایی به غرب کانال رودخانه می‌باشد، با توجه به نتایج بررسی مقطع عرضی کانال رودخانه در سه دوره ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۸، روند کاهشی عرض کانال رخ داده است.

کلمات کلیدی: زنجیره مارکف، مدل سلول‌های اتوماتیک، مطالعات سنجش از دور، سفیدرود.

تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۱۱/۱۹

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۱/۱۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۹

نویسنده مسئول: عقیل مددی، استاد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. Aghil48madadi@yahoo.com

مقدمه

رودخانه‌ها به عنوان شریان حیاتی، از دیرباز تعیین کننده گستره و استقرار تمدن‌ها به‌ویژه در دشت‌های ساحلی بوده‌اند. سفیدرود بزرگترین و پرآب‌ترین رودخانه سواحل جنوبی دریای خزر، به دلیل وجود کاربران متعددی از جمله کشاورزی، صنعت، گردشگری، پرورش آبزیان و ... یکی از مهم‌ترین منابع آب در گیلان محسوب می‌شود. بارش‌های شدید و جاری شدن آب از بالادست، لایروبی نشدن رودخانه‌ها، تغییر در کانال رود و کم شدن فضای آبگذری نسبت به حجم آب ورودی به هنگام بارندگی، از عوامل وقوع سیلاب در رودخانه‌های مناطق ساحلی هستند. در این میان اهمیت مطالعات مورفولوژیکی رودخانه‌ها و بررسی عکس‌العمل رودخانه در برابر فرایندهای تغییر دهنده برقراری موازنه ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. از این رو باید رودخانه را به مثابه یک موجود زنده دانست و برای کاهش اثرات تغییر آن، عملکرد هوشیارانه‌ای مبتنی بر قواعد علمی در برنامه‌ریزی‌های محیطی بکار برد. لذا دانستن شرایط رودخانه و محیط‌های پیرامون آن و پیش‌بینی شرایط آینده می‌تواند در برنامه ریزی و آمایش دشت‌های ساحلی موثر و ضروری واقع شود. در این میان استخراج اطلاعات بصورت طبقه‌بندی شده از پرکاربردترین روش‌های موجود است (میرزایی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴). بدین ترتیب با استفاده از تغییرات روی داده در گذر زمان می‌توان آینده را پیش‌بینی کرد. داده‌های ماهواره‌ای یکی از سریع‌ترین و کم هزینه‌ترین روش‌های در اختیار محققان، برای تهیه نقشه است (پال^۱ و همکاران، ۲۰۰۵). یکی از روش‌های شبیه‌سازی تغییرات در گذر زمان، مدل ترکیبی زنجیره مارکف و سلول‌های خودکار^۲ است. با استفاده از این مدل، نسبت تبدیل کاربری‌ها و امکان پیش‌بینی آنها در آینده فراهم می‌شود (مولر و میدلتون^۳، ۱۹۹۴). در سال‌های اخیر رهیافت‌های مفهومی مختلفی از سلول خودکار و تحلیل زنجیره مارکف برای پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین ارائه شده است (سابدی^۴ و همکاران، ۲۰۱۳). با توجه به اهمیت تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها، پژوهشگران مختلفی در داخل و خارج از کشور به بررسی تغییرات مورفولوژی رودخانه‌ها در بازه‌های زمانی مختلف و علل این تغییرات پرداخته‌اند. برای مثال، پتیت و براوارد^۵ (۲۰۰۹) به بررسی مورفولوژی رودخانه‌ها و کانال‌ها پرداخته و آن‌ها را طبقه‌بندی کرده‌اند. در میان عوامل موثر بر مورفولوژی رودخانه‌های مناطق ساحلی، تراز آب دریا در مصب و تغییرات آن یکی از عوامل مهم می‌باشد. کوندولف^۶ و همکاران (۲۰۱۶) در کتاب خود طبقه‌بندی ژئومورفیکی را برای رودخانه‌ها و آبراهه‌ها ارائه داده‌اند. چن^۷ و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی نقش تغییر در رژیم آبی رودخانه‌های منتهی به دریای خزر در تغییرات تراز آب پرداخته است و مشاهده نمود که رژیم تغییرات تابع کاربری و تغییرات در سطح بستر حوضه می‌باشد. جانس^۸ و همکاران (۲۰۱۷) عوامل موثر بر فرسایش کانال هشت رودخانه در انگلیس و ولز را با استفاده از روش‌های اصلاح شده GIS تجزیه و تحلیل نموده‌اند. ماندال^۹ و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی تأثیر فیلترهای سازگار با مدل سلول خودکار مارکف را بر نتایج پیش‌بینی تغییر سرزمین بررسی نموده و نتیجه گرفته‌اند که ضریب همبستگی (R) برای فیلترهای ۵٪ بیش‌ترین تأثیر را در توزیع جغرافیایی و مکانی داشته است. مدال^{۱۰} و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری در کانال رودخانه دشت‌های ساحلی پرداخته و نقش بهره‌گیری از کانال‌های آنابرانچ برای پایدارسازی کانال رودخانه پرداخته‌اند. مورایس^{۱۱} و همکاران (۲۰۲۲) تغییرات مکانی-زمانی کانال رودخانه پیچانرودی پیکس در برزیل را با استفاده

1. Pal
2. Cellular Automata- CA
3. Muller and Middleton
4. Subedi
5. Petit and Bravard
6. Kondolf
7. Chen
8. Janes
9. Mondal
10. Medal
11. Morais

از عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های تاریخی بررسی نموده‌اند. نتایج نشان داد که در همه قوس‌ها درجه سینوسی از ۲/۶ به ۱/۷ کاهش، میانگین طول موج قوس‌ها از ۲۰۰ به ۵۰۰ متر افزایش و شکل پلان رودخانه بسیار ساده‌تر شده است. هم چنین میزان تغییرات با شدت بیش‌تری از فرآیندها از پایین دست به طرف بالادست افزایش یافته است. شامونا^۱ و همکاران (۲۰۲۳) پیش‌بینی تغییرات فضایی و زمانی مورفولوژی کانال در دسترس رودخانه تستا بنگلادش را با استفاده از مدل‌سازی ARIMA و GIS انجام دادند. نتایج آن‌ها براساس مدل ARIMA نشان می‌دهد که حداکثر جابه‌جایی کانال خط میانی در جهت راست برای دوره بین سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۲۴ و جابجایی کانال میانی خط میانی به سمت چپ بین سال‌های ۲۰۲۴ تا ۲۰۳۱ رخ خواهد داد. همچنین نتایج همبستگی خودکار فضایی نیز نشان می‌دهد نوار کاهشی مساحت الگوی فضایی کانال را افزایش می‌دهد. به طور کلی، حداکثر جابجایی کانال جانبی در سمت راست رخ می‌دهد. بنابراین دسترسی کانال به جابجایی جانبی حساس است و نیاز به حفاظت با استفاده از ساختارهای مهندسی دارد، زیرا جمعیت عظیمی و زمین‌های کشاورزی گسترده در دشت سیلابی به سمت راست آن جابجا می‌شوند. در ایران نیز جداری عیوضی و همکاران (۱۳۸۳)، تکامل مورفولوژیک دلتای سفیدرود در کوآترنر را با استفاده از شواهد زمین‌شناختی و تصاویر ماهواره‌ای مطالعه نموده است و تغییرات آن را ثبت نموده‌اند. اقتصادی و زاهدی (۱۳۸۸) عوامل موثر بر نوسانات تراز آب دریای خزر در سواحل جنوبی را با استفاده از داده‌های هواشناسی مورد تحلیل قرار داده‌اند. معصومی و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی مورفولوژی و پیچانرودی رودخانه زهره پرداخته و نتیجه گرفته‌اند که این رودخانه در رده رودخانه‌های با پیچانرودی بیش از حد توسعه یافته قرار دارد. عبدالمهی کاکرودی (۱۳۹۱) تاثیر نوسانات دریای خزر بر مناطق ساحلی جنوب شرق آن، در محدوده خلیج گرگان و تالاب گمیشان را بررسی کرده است. هلال‌ات ناصریان و همکاران (۱۳۹۱) مدل جامع سیلاب منطقه دشتیاری شهرستان چابهار را توسط مدل Mike Flood برای سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله تبیین نموده‌اند. عطایی و همکاران (۱۳۹۴) تاثیر تغییرات تراز دریای خزر را بر انتقال رسوب ساحلی و خطوط ساحلی را مورد بررسی قرار داده‌اند. عبدالمهی باغسیاهی و همکاران (۱۳۹۶) به پهنه‌بندی سیلاب آبراهه‌های منطقه مکران ساحلی با استفاده از مدل HEC-RAS و سیستم اطلاعات جغرافیایی^۲ پرداخته و نتیجه گرفته‌اند که هیچ‌گونه خطری از جهت پهنه‌های سیلابی متوجه تاسیسات ساحلی منطقه نخواهد بود. از آنجا که تغییرات تراز آب‌های آزاد به کندی صورت می‌گیرد و در مقیاس زمانی انسان تاحدودی نامحسوس است، اغلب پژوهش‌های موجود بر اساس مدل‌های ریاضی انجام شده است. لیکن تغییرات تراز دریای خزر به عنوان بزرگترین دریاچه زمین، بواسطه شرایط خاص هیدرولوژیکی، زمین‌شناختی و اکولوژیکی دارای تاثیرات چشمگیر و قابل درک در مقیاس زمانی کوتاه مدت است. لذا این موضوع مورد توجه محققین بسیاری بوده است. خوشروان و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی و سیستم اطلاعات جغرافیایی به بررسی تاثیر نوسانات تراز دریای خزر بر تالاب بوجاق در دلتای سفیدرود پرداخته‌اند. پیروزی و همکاران (۱۳۹۹) به منظور بررسی تغییرات هیدرولوژیکی و مورفولوژیکی رودخانه گیویچای پرداختند. نتایج آن‌ها بیانگر آن بود که تغییرات پلان فرم رودخانه گیوی به صورت گسترش مئاندرهای موجود، جابجایی مسیر، افزایش انحنا و تشکیل مئاندرهای کوچک بوده و شکل‌گیری الگو و دینامیک مجرا تحت تاثیر دبی، دبی رسوبی ناشی از احداث سد و مقاومت لیتولوژیکی بستر و کناره رودخانه است. غفاری و همکاران (۱۴۰۱)، به بررسی تغییرات ریخت‌شناسی مصب‌ها و رودخانه شلمانرود پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که حداکثر سرعت در ۱۷ کیلومتری ایستگاه شلمان (ابتدای بازه سوم) تقریباً ۷/۴ متر بر ثانیه است. این مقدار با نزدیک شدن به انتهای مصب تا حدود ۵/۱ متر بر ثانیه کاهش می‌یابد. به دلیل اهمیت نقش سیلاب‌ها در تغییرات بستر، مدل با استفاده از دبی سیلاب ۲۵ ساله رودخانه شلمانرود (۳۵۵ مترمکعب بر ثانیه) برای بازه یک ساله اجرا شد. پس از آن مسیر رودخانه به سه قسمت تقسیم شد و رفتار رودخانه شلمانرود با توجه به تغییر شکل ایجادشده در مقاطع هر قسمت

1. SHumona

2. Geographical Information System (GIS)

بررسی شد. بیش‌ترین مقدار رسوب‌گذاری در قسمت اول در حالت غیرسیلابی ۴۱/۰ متر و در حالت سیلابی ۱/۱ متر است. در قسمت دوم رسوب‌گذاری افزایش می‌یابد و در حالت غیرسیلابی به ۸ متر و در حالت سیلابی به ۲ متر می‌رسد. در قسمت سوم مقدار رسوب‌گذاری بیش‌تر از قسمت‌های اول و دوم خواهد بود. بیش‌ترین مقدار رسوب‌گذاری در این قسمت در حالت غیرسیلابی ۵۳ متر و در حالت سیلابی ۴/۱ متر می‌باشد. عابدینی و همکاران (۱۴۰۱) به ارزیابی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه کهمان در استان لرستان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) پرداختند. نتایج حاصل از بررسی پارامترهای هندسی رودخانه نشان داد که ضریب خمیدگی رودخانه افزایش یافته و به پیچانرود تبدیل شده است. به‌طوریکه ضریب خمیدگی از ۱/۱۳۶ در سال ۲۰۰۱ به ۱/۷۶۷ در سال ۲۰۱۷ تغییر یافته است. با توجه به اهمیت موضوع نوسانات تراز دریای خزر و عملکرد متقابل فرایندهای موثر در آن شناخت این فرایندها اولین گام در تحلیل اثرات توام آن‌ها بر محیط پیرامون می‌باشد. واضح است که هرگونه تغییر در فرایندهای محیطی می‌تواند عکس‌العمل طبیعت را در قالب عملکرد رودخانه بر منطقه ساحلی نشان دهد. این عکس‌العمل خود دارای تاثیرات گوناگونی بر زندگی، فعالیت‌ها و سرمایه‌های انسانی دارد. در مقابل اثرات انسان بر تغییر در محیط نیز قابل توجه می‌باشد. بر این اساس با توجه به اهمیت موضوع و منطقه از دیدگاه اقتصادی، زیست محیطی و... شناخت تغییرات رودخانه در طی زمان و فرایندهای موثر از اصلی‌ترین عوامل در برنامه ریزی‌های مدیریتی برای آینده است. این شناخت با استفاده از تکنیک‌های مدل‌های آماری قابلیت پیش‌بینی در بازه‌های زمانی آینده را نیز دارند. لذا سفیدرود به عنوان بزرگترین و مهم‌ترین رودخانه سواحل جنوب دریای خزر در این تحقیق مورد توجه قرار گرفت. در این تحقیق با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، میدانی و آماری، مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های اتومات، و نتایج تحقیقات گذشته تغییرات مورفولوژی سفید و عوامل محیطی موثر بر آن بررسی شده و روند تغییرات و عوامل تاثیرگذار، برای افق سال ۲۰۳۰ پیش‌بینی شده است.

مواد و روش‌ها

محدوده این تحقیق در جلگه ساحلی سفیدرود در استان گیلان واقع در عرض جغرافیایی ۳۷.۱۷۸۲۵ و طول جغرافیایی ۴۹.۶۹۳۶۹ قرار دارد. (شکل ۱). مورفولوژی سفیدرود در محدوده دلتا به صورت بریده بریده و متاندری است (جداری عیوضی و همکاران، ۱۳۸۳). رودخانه سفیدرود در استان گیلان، طولانی‌ترین رودخانه‌ی نواحی شمالی ایران و دومین رود طویل ایران محسوب می‌شود. شرایط آب و هوایی در ناحیه رودبار مشرف به این رود پرآب، به آب و هوای مدیترانه‌ای مشابه است. به آن معنی که دارای زمستان‌های معتدل و مرطوب است و تابستان‌های گرم و خشکی را می‌گذراند. درجه متوسط حرارت در اولین ماه زمستان بین ۵ تا ۹ درجه سانتیگراد و در اولین ماه تابستان حدود ۲۵ تا ۲۶ درجه می‌باشد. میزان بارندگی در برخی اوقات تا ۱۰۰۰ میلی‌متر می‌رسد.



شکل (۱): موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۱)

در این پژوهش ابتدا مبانی نظری و اطلاعات پایه مورد نیاز، براساس مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی گزارش‌ها و تحقیقات انجام شده مشابه در ایران و خارج از کشور گردآوری شده است. تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵، ۷ و ۸ مربوط به سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۸ با دقت مکانی ۳۰ متر و فصل تصویربرداری مشابه، مبنای مطالعات سنجش از دور می‌باشند (جدول ۱). پردازش اولیه تصاویر در نرم افزار Envi 5.3 انجام شد. در این مرحله تصحیحات رادیومتری و اتمسفری به روش Quick بر تصاویر ماهواره‌ای اعمال گردید. به منظور بررسی عوامل موثر و فرایندهای ناشی از تغییر مورفولوژی رودخانه، در ۲۳ مقطع عرضی، روند تغییر عرض کانال در سه دوره ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۸ در چهار محدوده مفروض (شکل‌های ۶ تا ۹) مورد بررسی قرار گرفت. سپس عرض مقاطع مفروض در خروجی مدل برای سال ۲۰۳۰ نیز محاسبه شد (شکل ۱۰).

جدول (۱): مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در پژوهش (منبع: متا دیتای تصاویر)

باند های مورد استفاده	تاریخ تصویربرداری	مشخصات تصویر
1-2-3-4-5-7	1987.06.19	LANDSAT-LT05_166-034
1-2-3-4-5-7	2002.08.07	LANDSAT-LE07_166-034
MTL-Multispectral	2018.03.20	LANDSAT-LC08_156-042

به منظور پیش بینی و مدل‌سازی، نقشه‌های سه دوره، به محیط نرم افزار Idrisi TerrSet وارد شد. ابتدا براساس نقشه‌های سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۲ با استفاده از روش زنجیره‌های مارکوف و مدل سلول‌های خودکار به پیش بینی روند تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۱۸ پرداخته شد. زنجیره مارکف مجموعه‌ای از وضعیت‌های احتمالی را بیان می‌کند که از یک وضعیت آغاز شده و به صورت پیوسته به وضعیت دیگر تغییر می‌کند. مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار عاملی است که تغییر وضعیت هر سلول را بر اساس قانون تعیین وضعیت جدید، مطابق با وضعیت قبلی و وضعیت سلول‌های مجاور، نشان می‌دهد. لذا براساس داده‌های خروجی مدل مارکف، نقشه نهایی پیش‌بینی کاربری اراضی با استفاده از مدل CA مارکف سال ۲۰۱۸ استخراج گردید و ضریب کاپای مربوطه محاسبه شد. ضریب کاپا یک معیار صحت سنجی طبقه‌بندی بوده و براساس رابطه (۱) محاسبه می‌شود که در آن po درستی مشاهده شده و pc توافق مورد انتظار است.

$$KIA = \frac{p_o - p_c}{1 - p_c} \quad \text{رابطه ۱}$$

خروجی مدل با نقشه حاصل از تصویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۸ برازش داده شد و بازه‌های مغایر بین آنها بدست آمد. همچنین به منظور تعیین دقت طبقه بندی و مدل‌سازی، ۱۲۰ نقطه کنترل زمینی تصادفی بصورت پیش فرض در نرم افزار ArcGIS 10.4.1 تعیین شد و با واقعیت مکانی در منطقه مورد مطالعه مورد صحت سنجی قرار گرفت (جدول ۳). باتوجه به دقت و صحت خروجی مدل، با استفاده از نقشه‌های سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۸، نقشه پیش بینی کاربری اراضی و مورفولوژی رودخانه برای سال ۲۰۳۰ تهیه شده است. همچنین به منظور تعیین تغییرات عرض کانال، تعداد ۲۳ مقطع عرضی با فاصله متوسط ۱۵۰۰ متر در مسیر رودخانه در نظر گرفته شد. در هر مقطع عرض کانال در سه دوره ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۸ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در نرم افزارهای ArcGIS 10.4.1 بدست آمد و براساس خروجی مدل در سال ۲۰۳۰ نیز عرض کانال در این مقاطع محاسبه شد. به منظور تعیین دبی متوسط سالانه سفیدرود، از آمار دبی ماهانه جریان ایستگاه هیدرومتری آستانه اشرفیه در سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۸ استفاده شد.

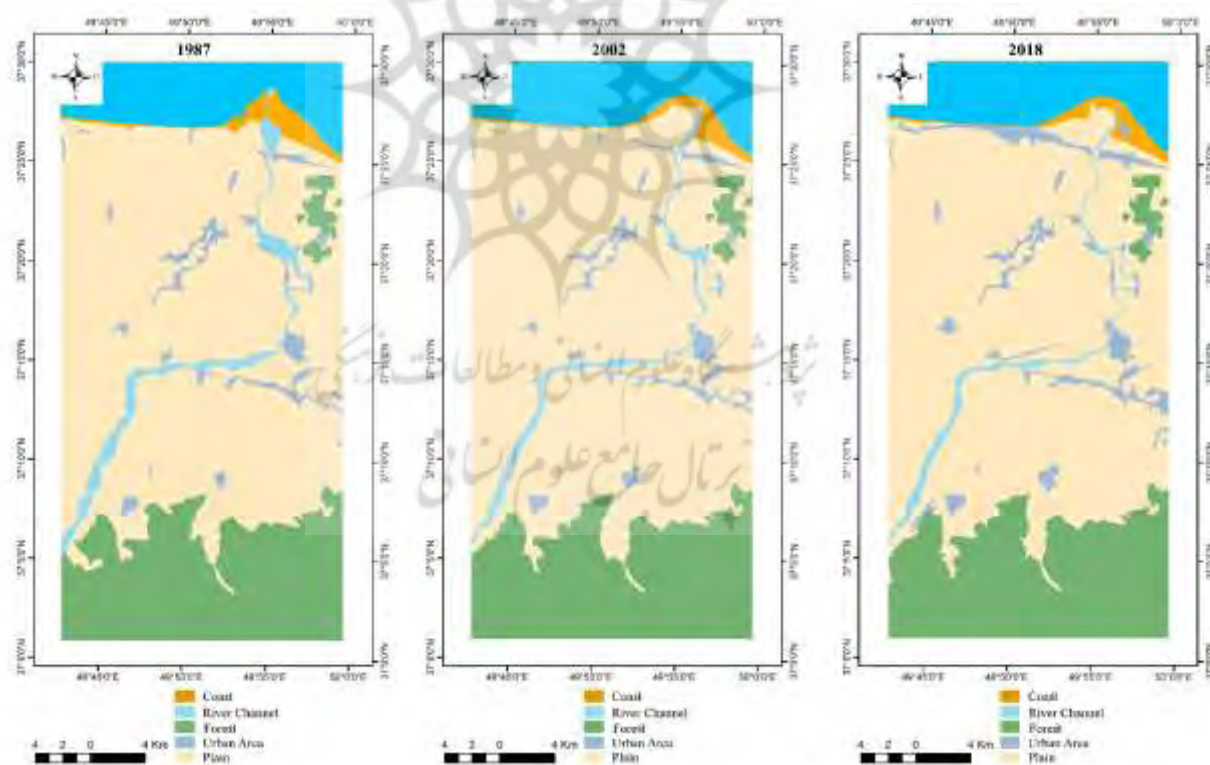
نتایج

پس از انجام تصحیحات، طبقه بندی تصاویر با روش طبقه‌بندی نظارت شده^۱ در نرم افزار ArcGIS 10.4.1 صورت گرفت و نقشه کاربری اراضی و مورفولوژی کانال رودخانه تهیه شده است. در این نقشه واحدهای کانال رودخانه، سازه‌های ساخت انسان و

سکونتگاه‌ها، اراضی ساحلی، اراضی جنگلی، دریا و دشت تفکیک شده‌اند (جدول ۲). این نقشه‌ها در هر سه دوره تصاویر ماهواره‌ای تهیه شده است. به منظور پیش‌بینی و مدل‌سازی، نقشه‌های سه دوره، به محیط نرم افزار Idrisi TerrSet وارد شد. ابتدا براساس نقشه‌های سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۲ با استفاده از روش زنجیره‌های مارکوف و مدل سلول‌های خودکار به پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۱۸ مورد بررسی قرار گرفته است. پیش‌بینی و مدل‌سازی، در محیط نرم‌افزار Idrisi TerrSet انجام شد. ابتدا با استفاده از نقشه‌های سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۲ ماتریس مقادیر احتمال تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۱۸ بر مبنای زنجیره‌های مارکوف بدست آمد (شکل ۳). در این ماتریس مقادیر احتمال تغییرات واحدهای رودخانه (Cl.1)، اراضی ساحلی (Cl.3)، تاسیسات ساخت انسان (Cl.6) و دشت (Cl.5) به یکدیگر مشخص شده است (شکل ۲).

جدول (۲): مساحت واحدهای تفکیک شده در نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی و مورفولوژی رودخانه (هکتار) (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۱)

تصویر ماهواره‌ای واحد طبقه‌بندی	۲۰۱۸	۲۰۰۲	۱۹۸۷
کانال رودخانه	۲۰۶۸/۴۳	۲۵۱۹/۲۳	۳۷۸۵/۹۳
تاسیسات ساخت انسان	۵۶۶۰/۹۹	۳۸۸۸/۳۷	۳۳۹۶/۳۵
جنگل	۲۷۲۲۵/۴۲	۲۷۳۸۲/۴۸	۲۷۷۷۹/۷۱
اراضی ساحلی	۱۷۸۱/۵۸	۱۶۸۵/۵	۲۱۸۹/۷۶
دشت	۸۲۶۸۸/۰۳	۸۳۷۵۴/۶۳	۸۱۹۹۲/۶۴



شکل (۲): نقشه طبقه‌بندی و کاربری اراضی و مورفولوژی رودخانه در سه دوره ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۸ (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۱)

پیش‌بینی و مدل‌سازی، در محیط نرم‌افزار Idrisi TerrSet انجام شد. ابتدا با استفاده از نقشه‌های سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۲ ماتریس مقادیر احتمال تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۱۸ بر مبنای زنجیره‌های مارکوف بدست آمد (شکل ۳). در این ماتریس مقادیر احتمال تغییرات واحدهای رودخانه (Cl.1)، اراضی ساحلی (Cl.3)، تاسیسات ساخت انسان (Cl.6) و دشت (Cl.5) به یکدیگر

مشخص شده است. براین اساس بیشترین احتمال وقوع تغییرات بین واحدهای رودخانه و دشت به میزان ۵۲/۲۹ درصد حاصل شده است (شکل ۳). به منظور تعیین دقت طبقه‌بندی و مدل‌سازی، ۱۲۰ نقطه کنترل زمینی تصادفی، با واقعیت مکانی در منطقه مورد مطالعه مورد صحت سنجی قرار گرفت. براساس مشاهدات میدانی، واحد خروجی مدل ۱۰۰ نقطه صحیح و در ۲۰ نقطه نادرست بوده است. نتیجه صحت سنجی نشان می‌دهد که در ۷۶٪ نقاط کنترل زمینی، خروجی حاصل از مدل با واقعیت مطابقت داشته و مطابقت مطلوبی با ضریب کاپای مدل دارد. جزئیات عدم تطابق مشاهدات میدانی در (جدول ۳) و ضرایب صحت سنجی مدل در (جدول ۴) آمده است. براساس نتایج مشخص گردید اصلی‌ترین عدم تطابق بین دو واحد دشت و تاسیسات ساخت انسان به تعداد مجموع ۱۱ نقطه است.

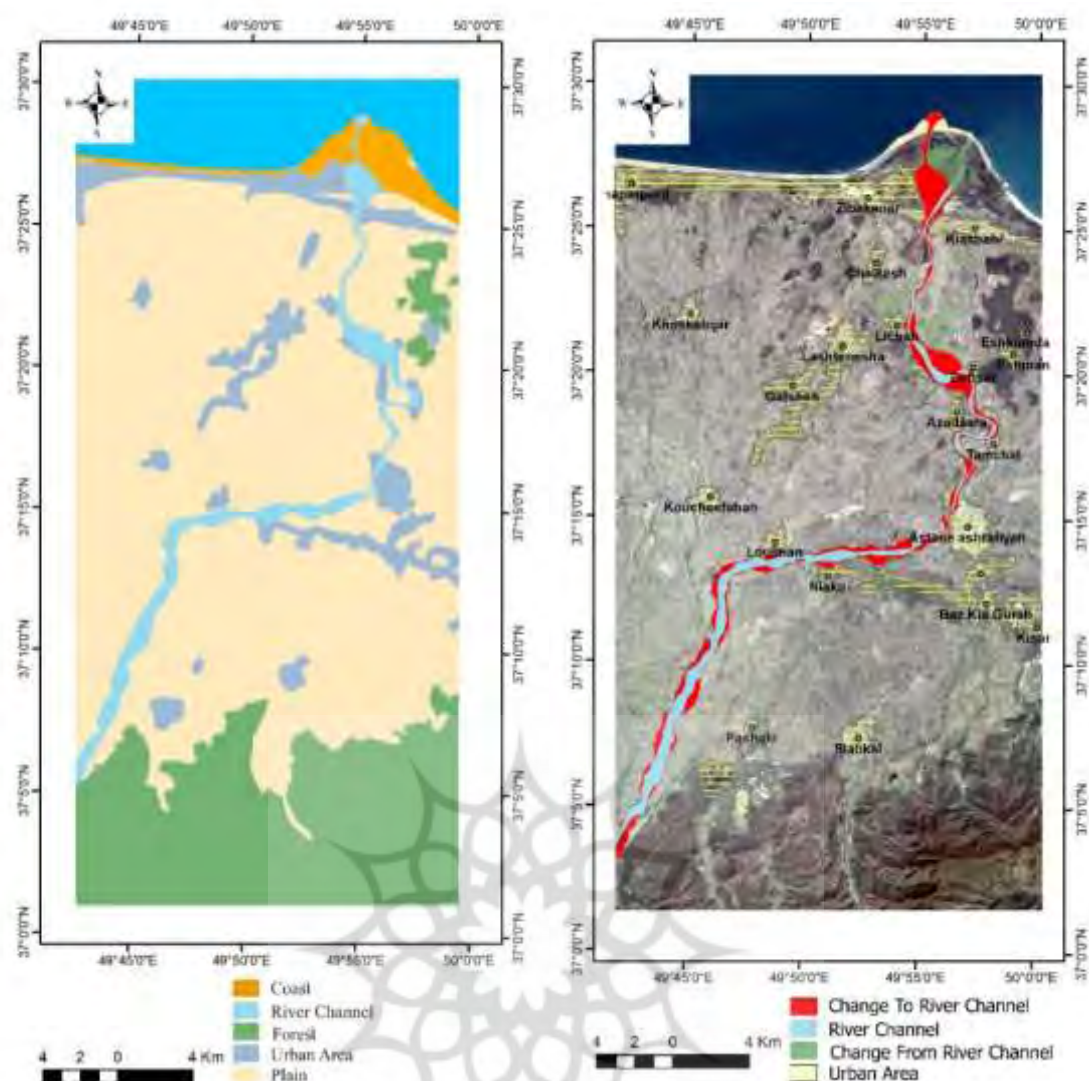
جدول (۳): جزئیات عدم تطابق مشاهدات در نقاط کنترل زمینی با خروجی مدل (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۱)

کاربری مشاهداتی	کاربری مدل‌سازی	تعداد نقاط
جنگل	دشت	۳
دشت	رودخانه	۵
دشت	تاسیسات ساخت انسان	۴
دریا	ساحل	۱
تاسیسات ساخت انسان	دشت	۷

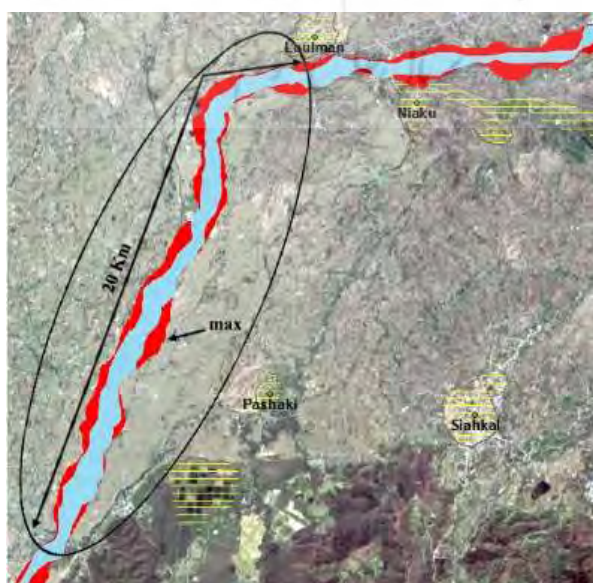
جدول (۴): ضرایب صحت سنجی طبقه‌بندی در سه بازه زمانی مورد مطالعه (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۱)

واحد طبقه‌بندی	ضریب کاپا در سه دوره (%)			دقت تولید کننده (%)	خطای گماشته (%)	دقت کاربر (%)	خطای حذف شده (%)
	۱۹۸۷	۲۰۰۲	۲۰۱۸				
رودخانه	۹۸/۵	۹۵/۲	۹۹/۳	۹۸/۵	۱/۵	۹۵/۸۳	۴/۱۷
دریا	۸۶/۲	۸۱/۵	۸۳/۸	۹۱/۵	۸/۵	۹۹/۱۷	۰/۸۳
ساحل	۸۹/۴	۷۹/۱	۸۵/۹	۸۸/۵	۱۱/۵	۹۸/۳۳	۱/۶۶
جنگل	۹۲/۲	۹۳/۹	۹۵/۶	۹۸	۲	۹۷/۵	۲/۵
دشت	۸۰/۲	۷۸/۸	۸۰/۷	۸۴/۵	۱۵/۵	۹۱/۶۶	۸/۳۳
تاسیسات ساخت انسان	۷۹/۸	۷۵/۴	۷۸/۵	۷۶/۵	۲۳/۵	۹۶/۶۶	۳/۳۳
ضریب صحت کلی	۸۴/۴	۸۲/۹	۸۵/۹				

باتوجه به دقت و صحت خروجی مدل CA مارکف، نقشه پیش بینی کاربری اراضی و مورفولوژی رودخانه برای سال ۲۰۳۰ با استفاده از نقشه‌های کاربری سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۸ تهیه شده است (شکل ۵). سپس چهار واحد رودخانه، اراضی ساحلی، سازه‌های ساخت انسان و دشت در دو نقشه سال ۲۰۱۸ و پیش بینی ۲۰۳۰ برازش داده شد و تغییرات محتمل در محیط رودخانه طی بازه زمانی ۱۲ ساله بدست آمد (شکل ۵). با استفاده از این نقشه، مناطق دارای پتانسیل تغییرات شدید در چهار بخش از مسیر رودخانه شناسایی شد (شکل‌های ۶ تا ۹). در این محدوده‌ها روند تغییرات به گونه‌ای خواهد بود که واحدهای پیرامون آن دستخوش فرایندهای فرسایشی، تغییر پیچانرودی و سیل‌گیری خواهند بود. محدوده ۱ حدفاصل سد سنگر تا روستای لومان: در این محدوده به طول ۲۰ کیلومتر مسیر جریان در جهت شمال شرق می‌باشد. در این بخش اراضی حاشیه رودخانه در معرض جابجایی جانبی کانال و تشدید پیچانرودی قرار دارند. این اراضی عمدتاً شامل زمین‌های کشاورزی هستند. بیشینه عرض پهنه‌های در مخاطره حدود ۴۸۰ متر در ۸ کیلومتری جنوب سد قرار دارد (شکل ۶).

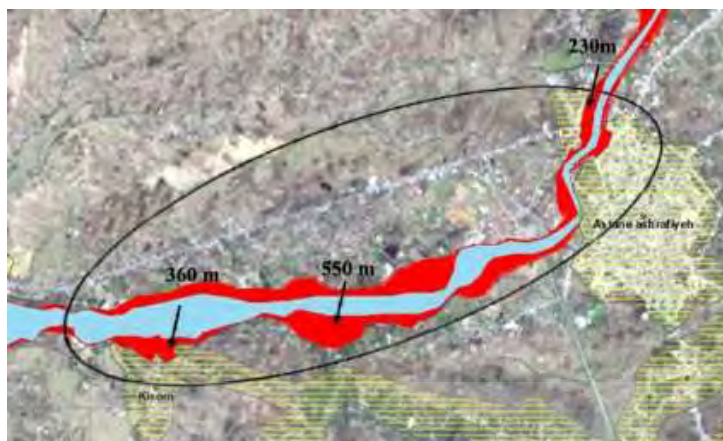


شکل (۳): چپ: نقشه طبقه بندی کاربری اراضی و مورفولوژی رودخانه سال ۲۰۳۰ خروجی مدل CA مارکف. راست: نقشه پیش‌بینی تغییرات محتمل در محیط رودخانه تا سال ۲۰۳۰ (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۱)

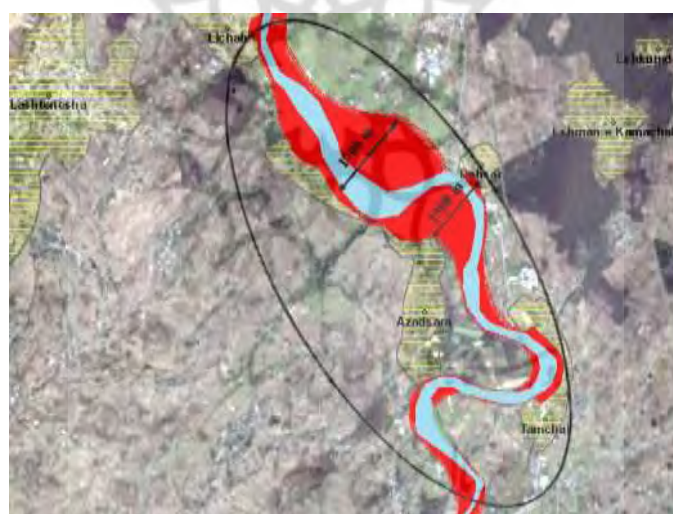


شکل (۴): پیش‌بینی تغییرات مورفولوژی کانال رودخانه سفیدرود و محدوده تحت مخاطره شمال سد سنگر (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۱)

محدوده ۲ حدفاصل روستای کیسم و شهر آستانه اشرفیه: در این محدوده به طول حدود ۱۰ کیلومتر مسیر جریان در جهت شرق می‌باشد. اراضی حاشیه رودخانه این محدوده نیز در معرض جابجایی جانبی کانال و تشدید پیچانرودی قرار دارند. این اراضی عمدتاً شامل مناطق شهری و روستایی حاشیه رودخانه هستند. بیشینه عرض پهنه‌های در مخاطره در منطقه کیسم، حدود ۳۶۰ متر و در شهر آستانه اشرفیه حدود ۲۳۰ متر است. همچنین بیشینه عرض پهنه‌های در مخاطره این محدوده در ۴ کیلومتری غرب آستانه اشرفیه در حدود ۵۵۰ متر است (شکل ۷). در این منطقه باغات و مناطق روستایی در حاشیه رودخانه گسترده هستند.



شکل (۵): پیش‌بینی تغییرات مورفولوژی کانال رودخانه سفیدرود و محدوده تحت مخاطره آستانه اشرفیه (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۱)



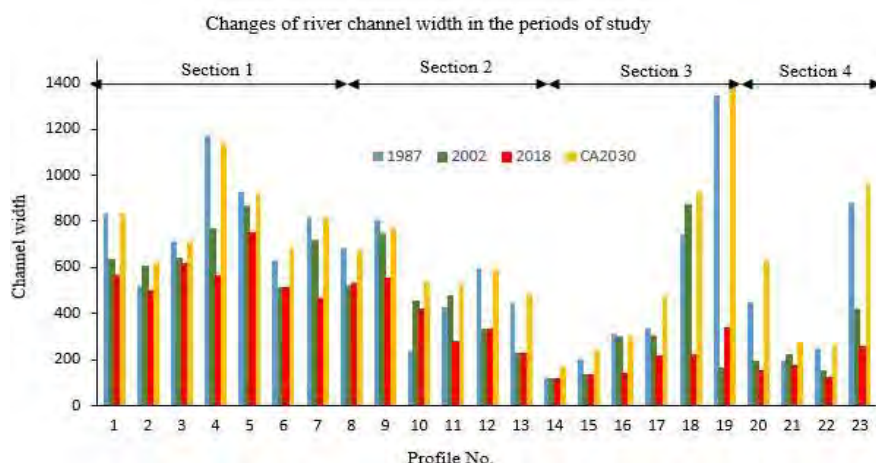
شکل (۶): پیش‌بینی تغییرات مورفولوژی کانال رودخانه سفیدرود و محدوده تحت مخاطره آزادسرا-دهسر (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۱)

محدوده ۳ حدفاصل کیاشهر، تالاب بوجاق و ساحل دریای خزر: در این محدوده به طول حدود ۷ کیلومتر مسیر جریان در جهت شمال می‌باشد. این بخش اراضی شمال کیاشهر، تالاب بوجاق و زیباکنار در دلتای سفیدرود را شامل می‌شود. در این محدوده پیش‌بینی مدل حاکی از تغییر مسیر جریان سفیدرود به سمت غرب می‌باشد، بطوری که کانال از مسیر فعلی منحرف شده و با هدایت به غرب در ابتدای تالاب بوجاق جریان خواهد یافت. این تغییر مسیر سبب جابجایی حدود ۲/۵ کیلومتر مصب خواهد شد. در اثر این فرایند اراضی شمالی کیاشهر و شرق زیباکنار در مخاطره بستر سیلابی سفیدرود بوده و بیشینه عرض این پهنه در تالاب بوجاق به ۲۱۰۰ متر می‌رسد (شکل ۹).

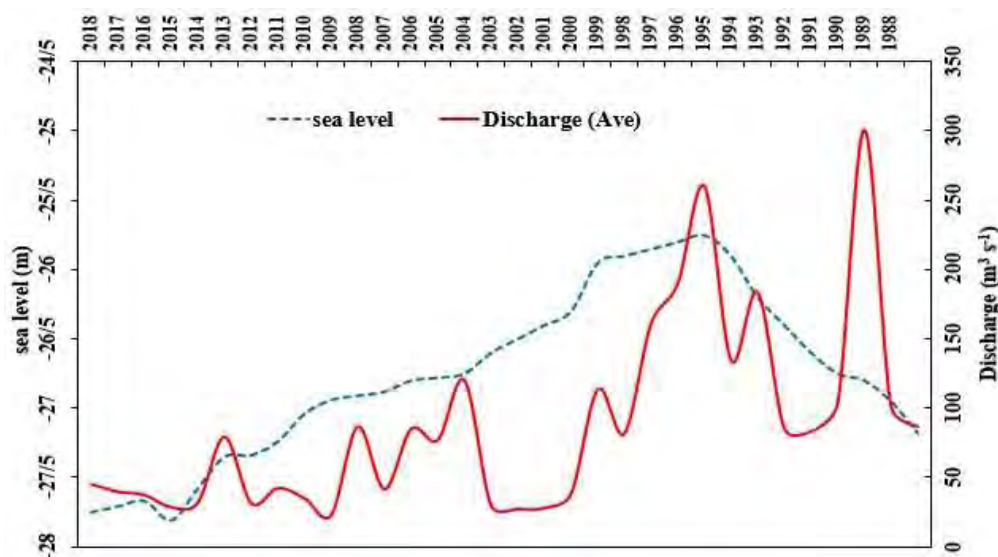


شکل (۷): پیش‌بینی تغییرات مورفولوژی کانال رودخانه سفیدرود و محدوده تحت مخاطره کیشهر- تالاب بوجاق (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۱)

این بررسی نشان داد متوسط عرض مقاطع در سال ۱۹۸۷ برابر ۵۹۳ متر بوده و در سال ۲۰۰۲ به ۴۵۱ متر و در سال ۲۰۱۸ به ۳۵۶ متر رسیده است. این نتایج نشان می‌دهند در هر چهار محدوده عرض کانال به دلیل کاهش حجم ذخیره آب و تغییرات اقلیمی و کاهش حجم ذخیره پشت سد روند کاهشی داشته است. در این میان عرض کانال رودخانه در مقطع عرضی ۱۴ واقع در شهر آستانه اشرفیه تقریباً ثابت مانده است. این در حالی است که براساس خروجی مدل متوسط عرض کانال در سال ۲۰۳۰ به ۶۵۵ متر و تقریباً ۱۰ درصد بیشتر از ۱۹۸۷ خواهد رسید. تغییر در مورفولوژی کانال و الگوی فرسایش و رسوبگذاری رودخانه‌های ساحلی به عوامل متعددی از جمله بارش، هیدرولوژی غالب و الگوی جزر و مدی در خروجی رودخانه وابسته است [۸ و ۶]. با توجه به کنترلی بودن رژیم جریان سفیدرود در منطقه مورد مطالعه، تغییر در هیدرولوژی تابع میزان خروجی سد سفیدرود و سد سنگر می‌باشد. با توجه به تغییرات دبی متوسط سالانه (شکل ۱۱)، روند کاهشی در نمودار مشاهده می‌شود. این روند با الگوی آب و هوایی کاهش بارش در بازه زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۸ مطابقت دارد. لذا به علت کاهش دبی، عکس‌العمل کاهش عرض کانال رخ داده است. از سوی دیگر تغییر تراز آب دریای خزر عامل اصلی تغییر شیب هیدرولیکی رودخانه می‌باشد. در این میان باید توجه داشت که یکی از عوامل تغییر تراز دریای خزر نیز تغییر در میزان آبرگیری از طریق رودخانه‌های ورودی به آن می‌باشد [۱۵]. براساس شکل ۱۱ روند تغییرات تراز دریای خزر تا سال ۱۹۹۵ افزایشی و پس از آن کاهشی بوده است. لذا از ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۸ با توجه به پایین رفتن تراز دریای خزر، شیب هیدرولیکی سفیدرود افزایش یافته است. این افزایش شیب موجب تمایل جریان به حفر بستر و کاهش عرض کانال شده است.



شکل (۸): الگوی تغییرات عرض کانال سفیدرود در سه دوره مورد بررسی و پیش‌بینی مدل (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۱)



شکل (۹): الگوی تغییرات متوسط دبی سالانه در مقابل تغییر تراز آب دریای خزر (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۱)

نتیجه گیری

سفیدرود به عنوان بزرگترین و پرآب‌ترین رودخانه سواحل جنوبی دریای خزر محسوب می‌شود. تغییرات دائم در دلتا و مصب این رودخانه نشان از وقوع فرایندهای کنترل کننده فعال در مورفولوژی این رودخانه دارد. با توجه به تغییرات دائمی در تراز آب دریای خزر، فرایندهای آب و هوایی و فعالیت‌های انسانی، شناسایی تغییرات رودخانه و پیش‌بینی آن بسیار ضروری است. تحقیق حاضر در راستای این اهداف صورت گرفت و مباحث ذیل از آن نتیجه گیری شد.

– مدل تلفیقی CA مارکف، قابلیت مناسبی از نظر دقت و صحت در پیش‌بینی کاربری اراضی و مورفولوژی رودخانه سفیدرود دارد. همچنین براساس نتایج مدل تلفیقی CA مارکف تا سال ۲۰۳۰، روند افزایش عرض کانال رخ خواهد داد. بطوری که تغییرات مورفولوژیک ۱۲ ساله آینده رودخانه در جهت عکس تغییرات صورت گرفته در بازه زمانی ۳۱ ساله گذشته می‌باشد. این موضوع با نتایج مطالعه کیانپور کل‌خواجه و همکاران (۱۴۰۱) که به ارزیابی مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار در شبیه‌سازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی سد گتوند را انجام دادند و مطالعه Mondal و همکاران (۲۰۲۰) که به تأثیر فیلترهای سازگار با مدل سلول خودکار مارکف بر نتایج پیش‌بینی تغییر سرزمین بررسی نموده‌اند که از نظر دقت و صحت قابل قبول بود تطابق دارد. این امر نشان دهنده افزایش میانگین دبی سالانه رودخانه تا حدود ۱۰۰ مترمکعب بر ثانیه و افزایش تراز دریای خزر به سطح بالاتر از ۲۷- متر تا سال ۲۰۳۰ است چون تغییرات تراز آبی دریاخز سیکل بالا رونده را طی خواهد نمود.

– با توجه به نتایج بررسی مقطع عرضی کانال رودخانه در سه دوره ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۸، روند کاهشی عرض کانال رخ داده است. این روند ناشی از کاهش دبی سفیدرود و پایین افتادن تراز آب دریای خزر، در نتیجه تغییر شیب هیدرولیکی رودخانه بوده است. این موضوع با نتایج مطالعه شرفی و همکاران (۱۳۹۸) که به بررسی تغییرات مکانی- زمانی مورفولوژی رودخانه سیالخور در استان لرستان پرداختند و لانگت و همکاران (۲۰۱۹) که به پایش تغییرات دینامیکی کانال رودخانه تانا در کشور کنیا را مورد مطالعه قرار دادند همخوانی دارد. بیشترین احتمال تغییرات در منطقه مطالعه در واحدهای رودخانه، اراضی ساحلی، تاسیسات ساخت انسان و دشت وجود دارد. روند این تغییرات به گونه‌ای خواهد بود که واحدهای پیرامون رودخانه دستخوش فرایندهای فرسایشی، تغییر پیچانرودی و سیل‌گیری خواهند شد. این تغییرات در حد فاصل سد سنگر تا روستای لومان بصورت جابجایی جانبی کانال و تشدید پیچانرودی، ایجاد نموده است. روستای کیسم و شهر آستانه اشرفیه و آزادسرا تا لیچاه بصورت سیل‌گیری و در محدوده کیشهر، تالاب بوجاق و دلتای سفیدرود بصورت تغییر موقعیت مصب و جابجایی به غرب کانال رودخانه رامی‌توان مشاهده نمود.

منابع

- ارشد، صالح؛ مرید، سعید؛ میرابوالقاسمی، هادی (۱۳۸۶). بررسی روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها با استفاده از سنجش از دور: مطالعه موردی رودخانه کارون از گتوند تا فارسیات (۱۳۶۹-۸۲). *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*. ۱۴ (۶)، ۱۹۴-۱۸۰.
- اصغری سراسکانرود، صیاد؛ پوراحمد، مهدی (۱۳۹۴). ناسایی و استخراج تغییرات رودخانه‌ی زربنه‌رود در فاصله‌ی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۴ با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای. *هیدروژئومورفولوژی*. ۲ (۵)، ۱۶-۱.
- برخورداری، جلال؛ خسروشاهی، محمد (۱۳۸۶). بررسی اثر تغییرات پوشش اراضی و اقلیم بر جریان رودخانه (مطالعه موردی: حوضه آبخیز میناب). *پژوهش و سازندگی*. ۲۰ (۴)، ۱۹۹-۱۹۱.
- اقتصادی، شهرمیر؛ زاهدی، رفیع (۱۳۹۰). مطالعه عوامل تاثیرگذار بر نوسانات تراز آب خزر جنوبی. *علوم و فنون دریایی*. ۱۰ (۳)، ۴-۱۳.
- جواهری طهرانی، محسن؛ موسوی، سید فرهاد؛ حسینی، خسرو (۱۳۹۵). مطالعه ریخت‌شناسی پیچان رودها با جریان کنترل شده با استفاده از تکنیک‌های RS و GIS (مطالعه موردی: رودخانه زاینده‌رود در پایین دست سد زاینده‌رود). *مجله علوم آب و خاک*. ۲۰ (۷۷)، ۲۵-۴۴.
- حافظی مقدس، ناصر و دیگران (۱۳۹۱). مطالعه ژئومورفولوژی مهندسی رودخانه سیستان. *زمین‌شناسی کاربردی*. ۸ (۱)، ۱-۱۸.
- رنگزن، کاظم؛ صالحی، بهرام؛ سلحشوری، پروین (۱۳۸۷). اردیبهشت. بررسی تغییرات منطقه پایین دست سد کرخه قبل و بعد از ساخت سد با استفاده از تصاویر چند زمانه Land Sat. چهارمین همایش ژئوماتیک ۸۷، تهران، سازمان نقشه برداری کشور.
- سیف، عبدالله؛ نجمی، نجمه (۱۳۹۲). بارزسازی تغییرات پیچان رودهای کارون با استفاده از تصاویر چندزمانه Landsat و IRS. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*. ۶۰ (۲۸)، ۲۱۱-۲۲۶.
- پیروزی، الناز؛ مددی، عقیل؛ اصغری سراسکانرود، صیاد (۱۳۹۹). بررسی تغییرات هیدرولوژیکی و مورفولوژیکی رودخانه گیوی‌چای ناشی از احداث سد گیوی. *جغرافیا و توسعه*. ۱۸ (۶۱)، ۲۹-۵۸.
- غفاری، سارا؛ قریشی نجف‌آبادی، سید حسین؛ مجدزاده طباطبایی، محمدرضا (۱۴۰۱). بررسی تغییرات ریخت‌شناسی مصب‌ها (شبیه‌سازی عددی رودخانه شلمانرود با نرم‌افزار MIKE21). *مدیریت آب و آبیاری*. ۱۲ (۳)، ۵۶۰-۵۴۱.
- میرزایی‌زاده، وحید؛ نیک‌نژاد، مریم؛ اولادی قادی‌کلائی، جعفر (۱۴۰۱). ارزیابی الگوریتم‌های طبقه بندی نظارت شده غیرپارامتریک در تهیه نقشه پوشش زمین با استفاده از تصاویر لندست ۸. *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*. ۶ (۳)، ۲۹-۴۴.
- عابدینی، موسی؛ بلواسی، ایمانعلی؛ نظافت تکه، بهروز (۱۴۰۱). ارزیابی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه با استفاده از برازش دایره‌های مماس در محیط GIS (مطالعه موردی: رودخانه کهمان‌الشر). *مطالعات علوم محیط زیست*. ۷ (۴)، ۵۵۷۱-۵۵۸۱.
- عطایی، سهیل و دیگران (۱۳۹۵). تاثیر نوسانات تراز آب دریا بر تغییرات خطوط ساحلی دریای خزر. *نشریه مهندسی دریا*. ۱۲ (۲۴)، ۱۱۳-۱۰۳.
- عبداللهی باغسایهی، علی؛ حشمتیان، رضا؛ سوزی، مهدی (۱۳۹۷). بهمن. پهنه بندی سیلاب ابراهه اصلی ساحل مکران با تلفیق مدل HEC-RAS&GIS رودخانه باهو کلات. *یازدهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه*. اهواز. ایران.
- هلاوات ناصریان، حسین و دیگران (۱۳۹۲). آبان. مدلسازی جامع سیلاب منطقه دشتیاری شهرستان چابهار توسط مدل MIKE FLOOD و ارائه طرح علاج بخشی سیل در منطقه. *دوازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران*. کرج. ایران.
- معصومی، حمیدرضا؛ غریب رضا، محمدرضا؛ معتمد، احمد (۱۳۸۹). بررسی مورفولوژی و الگوی پیچانرودی رودخانه زهره در جلگه ساحلی هندیجان. *مهندسی و مدیریت آبخیز*. ۳ (۲)، ۱۱۱-۱۰۲.
- عبداللهی کاکرودی، عطاله (۱۳۹۲). نوسانات دریای خزر و تاثیر آن بر سواحل جنوب شرقی آن. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*. ۲ (۳)، ۴۴-۳۳.
- جداری عیوضی، جمشید؛ یمانی، مجتبی، خوش رفتار، رضا (۱۳۸۴). تکامل ژئومورفولوژی دلتای رود سپیدرود در کواترنر. *پژوهش‌های جغرافیایی*. ۳۷ (۵۳)، ۹۹-۲۰.

شرفی، سیامک؛ آرین تبار، حبیب؛ کمالی، زهرا (۱۴۰۱). بررسی تغییرات مکانی- زمانی مورفولوژی رودخانه سیالخور در استان لرستان. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*. ۸ (۳)، ۱۱۵-۱۳۱.

کیانپور کل خواجه، محمد؛ پژوهش، مهدی؛ امام قلی‌زاده، صمد (۱۴۰۱). ارزیابی مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار در شبیه‌سازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی سد گتوند. *نشریه آب و توسعه پایدار*. ۹ (۲)، ۴۷-۵۶.

Pal, M. & Mather, P.M. (2005). Support vector machines for classification in remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*. 26 (5), 1007-1011.

Muller, M.R. & Middleton, J. (1994). A Markov model of land-use change dynamics in the Niagara Region, Ontario, and Canada. *Landscape Ecology*. 9, 151-157.

Morais, E.S.; Rocha, P.C. & Hooke, J. (2022). Spatio-temporal variations in channel changes caused by cumulative factors in a meandering river: The lower Peixe River, Brazil. *Geomorphology*. 273, 348-360.

Subedi, P.; Subedi, K. & Thapa, B. (2013). Application of a hybrid cellular Automaton Markov (CA-Markov) model in land-use change prediction: A case study of saddle Creek Drainage Basin, Florida. *Applied Ecology and Environmental Sciences*. 16, 126-132.

Mondal, S. et al (2020). Cellular automata (CA) contiguity filters impacts on CA Markov modelling of land use land cover change predictions results. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XLIII (B3), 1585-1591.

Medel, I.D.; Stubblefield, A.P. & Shea C. (2020). Sedimentation and erosion patterns within anabranching channels in a lowland river restoration project. *International Journal of River Basin Management*. 20 (1), 1-34. DOI: 10.1080/15715124.2020.1809435.

Janes, V.J.J. et al (2017). Analysis of fundamental physical factors influencing channel bank erosion: results for contrasting catchments in England and Wales. *Environmental Earth Science*. 76 (307), 1-18. DOI: 10.1007/s12665-017-6593-x.

Kondolf, G.M. et al (2016). Geomorphic classification of rivers and streams. Chapter 7. *Tools in Fluvial Geomorphology*. London: Wiley. 169-202. DOI: 10.1002/9781118648551.ch7.

Bravard J.P. & Petit, F. (2009). Geomorphology of streams and rivers. *Encyclopedia of Inland Waters*. 387-95. United States: Academic Press. DOI: 10.1016/B978-012370626-3.00043-0.

Khoshnavan, H. et al (2020). Effects of the Caspian Sea water level change on Boujagh National Park. southwest the Caspian sea. *Caspian J. Environ, Sci*. 19 (2), 99-110.

Chen, J.L. et al (2017). Long-term Caspian Sea level change. *Geophysical Research Letters*. 44 (13), 6993-7001. DOI: 10.1002/2017GL073958.

Zhang, F. et al (2015). Spatio-temporal patterns of land use/cover changes over the past 20 years in the middle reaches of the Tarim River, Xinjiang, China. *Land Degradation and Development*. 26 (3), 284- 299.

Sang, L. et al (2011). Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA-Markov model. *Mathematical and Computer Modelling*. 54 (3-4), 883-848. DOI: 10.1016/j.mcm.2010.12.002.

Shumona, A.; Kutub Uddin, E. & Shakibul, I. (2023). Predicting spatiotemporal changes of channel morphology in the reach of Teesta River. Bangladesh using GIS and ARIMA modeling. *Quaternary International*. 513 (1), 80-94.

Langat, P.K.; Kumar, L. & Koech, R. (2019). Monitoring river channel dynamics using remote sensing and GIS techniques. *Geomorphology*. 325 (1-3), 92-102.

نحوه ارجاع به مقاله:

مددی، عقیل؛ بابایی اولم، طیب؛ قدرتی، علیرضا (۱۴۰۲)، پیش‌بینی تغییرات مورفولوژی رودخانه سفید رود با استفاده از Arc GIS، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، ۱۲ (۴۸)، ۳۳-۲۰. Doi: 10.71740/ges.2024.979226

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

