Iranian Hydraulic Association
Journal of Hydraulics

Research Article
https://doi.org/10.30482/JHYD.2021.265438.1499

Study of Hydromorphological Changes of Karaj River due to the Implementation of Water Resources Development and River Engineering Projects

Amir Samadi [1*], Asghar Azizian [1]

1- Assistant Professor, Water Sciences & Engineering Dept., Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

[*] **samadi@eng.ikiu.ac.ir**

Received: 4 January 2021, Accepted: 28 March 2021 J. Hydraul. Homepage: www.jhyd.iha.ir

Abstract

Introduction: One of the most important topics in river engineering is the study of the morphological condition of the river, which deals with the expression of the geometric shape, bed form, longitudinal profile of the canal, cross sections, deformation and displacement of the river over time. In fact, rivers and streams are a completely dynamic system, and their position, shape, and other morphological features are constantly changing over time (Rangzan et al., 2008).

So far, several studies have been conducted to evaluate the effects of river engineering and water resources engineering projects on the hydrodynamic status of the river (e.g., Yamani et al., 2007; Arshad et al., 2008; Vaezipour et al., 2020; Asghari Saraskanroud, 2013; etc.). The aim of this study is to evaluate these changes according to the implementation of various projects in the Karaj River at recent years that have imposed significant morphological changes on the river system and will change its behavior and response in the future.

Methodology: In this study, possible morphological changes in the Karaj riverbed due to Karaj River canalization projects, construction of Alborz recreational lake and artificial recharge have been studied and analyzed. The models used in this research include one and two dimensional HEC-RAS flow models (4.1 & 5), HEC-RAS sediment model and RVR Meander model for morphological simulation. In these modellings, three hydraulic scenarios were performed to analysis the flow status in the initial state (without designs), within the channelization design and within the artificial recharge project, and modeling of bed changes (sediment) and morphology were considered, separately.

Results and discussion: Scenario 1-According to the results obtained from the implementation of the two-dimensional model, the areas located on the right bank of the river, especially the area located in Chamran Park, as well as residential areas located at the beginning of the study reach due to being located in the river area are significantly flooded. One of the main reasons for this is the low altitude of the areas located on the right bank of the river.

Scenario 2 - In this scenario, the hydraulic flow is evaluated during the implementation of the Karaj River channelization and Alborz Lake projects. The results of two-dimensional modeling in the area of the main outlet indicate that the velocity of the current passing through this area is extremely high. According to calculations, the values of velocity along the longitudinal section of the channel vary between 2.5 to 4 meters per second, which is a significant number.

Such velocity values can lead to erosion of the riverbed and destruction of the riverbed at the outlet of the waterway.

Scenario 3- In this scenario, the effect of constructing lakes of artificial recharge plan of Shahriar plain on the flow pattern and sedimentation process of Karaj River has been evaluated. According to the results, the proposed structures increase the water level, reduce the velocity and provide suitable conditions for water infiltration in the riverbed. Turkey nest (dam in the earth) reduce the velocity of the flow and penetrate more and more into the ground, but it is necessary to mention that due to the significant sedimentation of the river and the presence of sand factories upstream, a lot of fine sediments (caused by washing materials in the mines) will enter the lake of each of these structures.

Conclusion: The most important results can be summarized as follows:

- Backflow upstream of Alborz Lake due to insufficient dimensions of the lake intake and the constriction caused by the implementation of the channelization project, will cause significant energy losses at the beginning of the project and this will cause water return and flood spread upstream.
- The occurrence of turbulence and rotational flows due to improper angle of connection between the channel and the freeway bridges in the future will have a significant impact on the hydraulic flow and sediment of the river, especially in the area of the bridges.
- It is necessary to mention that due to the significant sedimentation of the river and the existence of sand mines in the upstream areas, a lot of fine sediments enter the lakes and it will reduce their permeability and their performance.
- Construction of wide structures with only one outflow weir will cause the formation of passive areas in the reservoirs.
- Sediment modeling showed that in a relatively short period of time, relatively large sediments occurred upstream of the Turkey nests. The results show well that the reservoirs are almost full of sediment to overflow crest height, and in practice the discussion of aquifer recharging will face a major challenge.
- Based on the morphological model outputs, the main axis of the river, especially downstream of the Karaj-Tehran freeway bridge, has undergone many changes over time, and this issue poses a major threat to the left bank of the river.
- Based on the future morphological simulation of the Karak River, the presence of the Karaj-Tehran metro bridge in the outer arch of the river will cause the river to flow to the right bank in the long run and this will cause the destruction of the right bank wall and this area will need to be protected.

Keywords: Morphology, River Engineering, Sedimentation, Model, Artificial Recharge, Karaj River.

© 2021 Iranian Hydraulic Association, Tehran, Iran.

This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)

(http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

انجمن هیدرولیک ایران
نشریه هیدرولیک

مقاله پژوهشی
https://doi.org/10.30482/JHYD.2021.265438.1499

بررسی تغییرپذیری‌های هیدرومورفولوژیکی رودخانه کرج بر اثر اجرای طرح‌های توسعه منابع آب و مهندسی رودخانه

امیر صمدی [1*]، اصغر عزیزیان [1]

۱- استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین.

[*] **samadi@eng.ikiu.ac.ir**

دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۵، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۰۸ وب‌گاه نشریه هیدرولیک: www.jhyd.iha.ir

چکیده: سرعت‌سنج با توجه به اجرای طرح‌های مختلف مهندسی رودخانه و تغذیه مصنوعی در سال‌های اخیر در محدوده رودخانه کرج، تغییرپذیری‌های ریخت‌شناسی (مورفولوژیکی) قابل توجهی بر سامانه رودخانه تحمیل شده یا خواهد شد که در نتیجه آنها الگوی طبیعی جریان و رسوب رودخانه کرج تحت‌الشعاع واقع شده و در برخی از بازه‌ها تخریب بستر و دیواره‌های رودخانه تشدید شده است. در این تحقیق تلاش شد با انجام شبیه‌سازی‌های عددی جریان - رسوب و رفتار ریخت‌شناسی رودخانه، برخی اثرگذاری‌های ناشی از اجرای طرح‌های توسعه منابع آب و ساماندهی رودخانه و اثرگذاری‌هایی که بر ریخت‌شناسی رودخانه کرج اعمال خواهند کرد، ارزیابی و تحلیل شود. بدین منظور با انجام بازدیدهای میدانی و گرداوری اطلاعات، گزارش‌ها و نقشه‌های موجود نسبت به توسعه چهار مدل مختلف هیدرولیکی- رسوبی برای ارزیابی تغییرپذیری‌های شرایط جریان، وضعیت انتقال رسوب و همچنین تغییرپذیری‌های محتمل ریخت‌شناسی در بستر رودخانه کرج ناشی از طرح‌های مسیرسازی (کانالیزاسیون) رودخانه کرج، ساخت دریاچه تفریحی البرز و تغذیه مصنوعی اقدام شد. مدل‌های به کار رفته در این تحقیق شامل مدل‌های جریان یک و دوبعدی HEC-RAS، مدل رسوب HEC-RAS و مدل RVR Meander برای شبیه‌سازی ریخت‌شناسی رودخانه بوده‌اند. در این مدلسازی‌ها سه پیش‌فرض (سناریوی) هیدرولیکی برای بررسی وضعیت جریان در حالت پایه (بدون انجام طرح‌ها)، در محدوده طرح مسیرسازی و در محدوده پروژه تغذیه مصنوعی اجرا شد و مدلسازی تغییرپذیری‌های بستر (رسوب) و ریخت‌شناسی نیز به صورت جداگانه انجام شد، که نتیجه آنها بروز مشکلاتی در سامانه رودخانه از نظر هیدرولیکی و رسوبگذاری و فرسایش در نتیجه اجرای طرح‌های در دست اجراست (مانند افزایش تراز بستر و کاهش نفوذپذیری و عقب‌نشینی کناره‌ها). نتایج به دست آمده می‌تواند راهنمای خوبی برای اصلاح و بهینه‌سازی طرح‌های مهندسی رودخانه و توسعه منابع در پایین‌دست رودخانه کرج باشد.

کلید واژگان: ریخت شناسی، مهندسی رودخانه، رسوبگذاری، مدل، تغذیه مصنوعی، رودخانه کرج

۱- مقدمه

بررسی وضعیت ریخت‌شناسی رودخانه که به بیان شکل هندسی، فرم بستر، نیمرخ طولی آبراهه، مقطع‌های عرضی، تغییر شکل‌ها و تغییر مکان رودخانه در طول زمان می‌پردازد از مبحث‌های مهم علم مهندسی رودخانه است. در واقع رودخانه‌ها و آبراهه‌ها سامانه‌های به کل پویا هستند و موقعیت و شکل و دیگر مشخصه‌های ریخت‌شناسی آنها به طور پیوسته در طی زمان در تغییر می‌باشد. به دلیل فرسایش کناری و جابه‌جایی مرزهای رودخانه، هرساله سطح زیادی از اراضی کشاورزی و ناحیه‌های مسکونی و تاسیسات ساحلی در معرض نابودی و تخریب قرار می‌گیرند (Rangzan et al., 2008).

حفاظت از رودخانه‌ها به عنوان سرمایه‌ای ملی و از جمله منابع مهم آبی کشور در زمینه‌های کشاورزی، اقتصادی، صنعتی، ترابری، بهداشتی، شرب و تفریحی یک ضرورت است. اجرای پروژه‌های ساماندهی در مسیر رودخانه‌ها مانند تاسیسات حفاظت، ساحل‌سازی، دیوارهای ساحلی، پل‌ها و بناهای آبی، ایجاب می‌کند که اطلاعات لازم با بررسی‌های پژوهشی و علمی تهیه و با رعایت آن به سرمایه‌گذاری اقدام شود.

تاکنون تحقیقات چندی در زمینه ارزیابی اثرگذاری‌های اجرای طرح‌های مهندسی رودخانه و مهندسی منابع آب بر وضعیت

هیدرودینامیک رودخانه به انجام رسیده است. به عنوان مثال، Yamani et al. (2007) به بررسی هیدرودینامیک رودخانه‌های تالار و بابل و نقش آن در ناپایداری و تغییر ویژگی‌های هندسی آنها پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که با برقراری ارتباط بین متغیرهایی مانند دبی آب و رسوب و ویژگی‌های هندسی رودخانه شامل عرض، عمق، نسبت عرض به عمق، ضریب خمیدگی، زاویه مرکزی و طول موج رودخانه می‌توان تغییرات دوره‌ای ابعاد، شکل و الگوی رودخانه را برآورد کرد. Mozaffari et al. (2007) با بررسی آمار ۳۰ ساله چاهک‌های پیزومتری، امکان تغذیه مصنوعی در بستر رودخانه کرج در حدفاصل بند بیلقان تا معادن شن و ماسه در نزدیکی سرحد آباد را برای افزایش تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی بررسی کردند. بنابر آمار سال های ۱۳۷۱ تا ۱۳۸۲ مشخص شد که به طور میانگین سالانه بیش از ۹۲ میلیون متر مکعب آب از ناحیه مورد نظر می‌گذرد که امکان تغذیه سفره بوسیله آن وجود دارد (روزانه بیش از ۱،۳۳۲،۰۰۰ متر مکعب).

Arshad et al. (2008) به بررسی روند تغییرپذیری‌های ریخت‌شناسی رودخانه کارون با استفاده از سنجش از دور پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که ویژگی‌های قوس‌های رودخانه از محل سد گتوند تا فرسیات در حال تغییر بوده و میزان جابه‌جایی عرضی قوس‌ها در برخی از منطقه‌ها تا ۱۹۵۰ متر در طی ۱۳ سال نیز بوده است. همچنین تراکم و اندازه انحنای قوس‌ها به سمت پایین‌دست رودخانه نیز دستخوش تغییرپذیری‌هایی شده است. Vaezipour et al. (2010) به بررسی تغییرپذیری‌های ریخت‌شناسی رودخانه سیستان پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که این رودخانه به عنوان یکی از انشعاب‌های رود هیرمند به علت شیب بسیار کم منطقه و احداث تاسیسات آبی متعدد و سرعت کم جریان، تغییرپذیری‌های ریخت‌شناسی عمده‌ای را در طول زمان تجربه نموده است. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی و شاخص‌های ریخت‌شناسی، تغییر در ریخت‌شناسی این رودخانه بررسی و ارزیابی و مشخص شد که عامل‌های اصلی در ایجاد تغییر ریخت‌شناسی رودخانه شامل عامل‌های طبیعی و عامل‌های ناشی از دخالت انسان است. Masoomi et al. (2011) به بررسی ریخت‌شناسی و الگوی پیچانرودی رودخانه زهره در جلگه ساحلی هندیجان در استان خوزستان پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که از سال ۱۹۶۷ تا ۲۰۰۹ میلادی دو مورد میان‌بر در مجرای اصلی رودخانه رخ داده و شمار پیچش‌ها نیز افزایش یافته است. ضریب خمیدگی کاهش یافته و شعاع انحنای رودخانه و طول موج پیچش‌ها افزایش یافته است و برمبنای اندازه زاویه مرکزی به دست آمده، این رودخانه از نوع رودخانه‌های پیچانرودی بیش از حد توسعه یافته می‌باشد.

Ghadampoor and Talebbidokhti (2011) به محاسبه بعد فراکتالی در رودخانه‌های پیچانرودی پرداخته و به این نتیجه دست یافته‌اند که بُعد فراکتالی می‌تواند شاخص مناسبی برای بیان تغییرپذیری‌های رودخانه‌های پیچانرودی در پلان بوده و می‌تواند به عنوان فراسنجه هندسی جدید وارد مدل‌های ریخت‌شناسی رودخانه‌های پیچانرودی شود. Yamani and Sharafi (2012) به بررسی زمین‌ریخت‌شناسی (ژئومورفولوژی) و عامل‌های موثر در فرسایش کناری رودخانه هُررود در استان لرستان پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که برخلاف معمول، تغییرپذیری‌های ریخت‌شناسی و فرسایش کناری رودخانه از بالادست به سمت پایین‌دست کاهش یافته است و ساختمان زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی (لیتولوژی) بستر و کناره‌های رودخانه از مهمترین عوامل تغییر پایداری بستر رودخانه به شمار می‌روند. Shayan and Dehestani (2013) به تحلیل عوامل تاثیرگذار در تغییرپذیری‌های الگوی هندسی و ریخت‌شناسی رود کشکان در شهرستان خرم‌آباد استان لرستان پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که استقرار و تمرکز سه معدن برداشت شن و ماسه در یک بازه کوتاه موجب تغییرپذیری‌های عمده‌ای در بستر و کناره‌های رود و همچنین فراسنجه‌های هندسی رود شده است. البته عوامل دیگری مانند پویایی رود و احداث پل و بند انحرافی در طول مسیر رود از جمله عامل‌های دیگر تغییرپذیری‌های رود مورد بررسی می‌باشند.

Rezaei Moaghaddam et al. (2012) به بررسی تغییرپذیری‌های شکل رودخانه قزل اوزن با تاکید بر عامل‌های زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی پرداخته و به این نتیجه دست یافته‌اند که طول زیاد رودخانه و عبور از تشکیلات مارنی و فرسایش‌پذیر باعث شده است که هندسه رودخانه در بازه دشت به شدت تحت تاثیر سنگ‌شناسی بستر قرار گرفته و فرسایش کناری و توان رودخانه نقش بنیادین در پیچانرودی رودخانه داشته باشد. در بازه کوهستان مسئله‌های زمین‌ساختی

موثر بوده و هندسه رودخانه و الگوی مسیر آن تحت تاثیر عامل‌های مذکور می‌باشد. Asghari Saraskanroud (2013) به بررسی و تحلیل الگوهای متفاوت رودخانه شهرچای ارومیه پرداخته و به این نتیجه رسیده است که برای بررسی دلایل پیچانرودی یک رودخانه باید ریخت‌شناسی منطقه بررسی شود زیرا چگونگی شکل‌گیری پیچانرودها در بازه‌های کوهستانی و دشت رودخانه با هم متفاوت است. همچنین آزادی عمل رودخانه در بازه دشت بیشتر بوده و در بازه کوهستان رودخانه آزادی عمل محدوده داشته و توسط دره محاط می‌شود. Yousefi et al. (2013) به بررسی تغییرپذیری‌های درجه میان‌بری و شکل پیچانرود در قسمتی از رودخانه کارون با استفاده از سنجش از دور پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که در صورت تغییر در درجه میان‌بری، تغییرپذیری‌های دامنه پیچ و خم نیز به صورت کاهشی است و تغییرپذیری‌ها در فراسنجه‌های درجه میان‌بری و شکل پیچانرود به شدت به یکدیگر وابسته‌اند. Piri et al. (2015) به بررسی تغییر ریخت‌شناسی بستر رودخانه اهرچای در استان آذربایجان شرقی پیش و پس از احداث سد ستارخان اهر پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق گویای کاهش میزان رسوب حمل شده پس از احداث سد، کاهش میزان دبی و ثبات تقریبی آن است، که به دلیل هدایت جریان آب به درون شبکه‌های آبرسانی برای کشاورزی و کاربردهای آشامیدنی بوده و پایداری تقریبی بستر رودخانه به دلیل جلوگیری از جریان یافتن سیلاب‌های بزرگ توسط سد و نیز جریان یافتن دبی تقریبی ثابت طی سال‌ها بوده است.

با توجه به اجرای طرح‌های مختلف در سال‌های اخیر در محدوده رودخانه کرج که تغییرپذیری‌های ریخت‌شناختی قابل توجهی بر سامانه رودخانه تحمیل کرده و در آینده نیز باعث تغییر رفتار و پاسخ آن خواهد شد، ارزیابی این تغییرپذیری‌ها از هدف‌های اصلی این پژوهش می‌باشد. این تغییرپذیری‌ها موجب بر هم خوردن الگوی طبیعی جریان و رسوب رودخانه کرج شده و در برخی از بازه‌ها موجب تخریب بستر و دیواره‌های رودخانه خواهد شد. در این تحقیق تلاش شد برخی اثرگذاری‌های ناشی از اجرای طرح‌ها که بر ریخت‌شناسی رودخانه کرج اعمال خواهند کرد، ارزیابی و تحلیل شود. بدین منظور از مدل‌های مختلف شبیه‌سازی ریخت‌شناسی، جریان و رسوب یک‌بعدی و دوبعدی استفاده شده و نسبت به ارزیابی تغییرپذیری‌های شرایط جریان، وضعیت انتقال رسوب و همچنین تغییرپذیری‌های محتمل ریخت‌شناسی در بستر رودخانه کرج ناشی از طرح‌های مسیرسازی رودخانه کرج، ساخت دریاچه البرز و تغذیه مصنوعی اقدام شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آشنایی با محل پژوهش

یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های شهرستان کرج، رودخانه کرج است که با توجه به احداث سد امیرکبیر کرج و عبور آن از محدوده شهری، دارای اهمیت بسیار بالایی می‌باشد. محدوده مورد بررسی در این پژوهش محدود به بازه‌ای از رودخانه کرج واقع در استان البرز (در حد فاصل بین پل شاه عباسی تا محدوده انتهایی حوضچه‌های تغذیه مصنوعی واقع در پائین‌دست رودخانه) است (شکل ۱).

۲-۲- معرفی پروژه‌های مهندسی رودخانه و توسعه منابع آب در مسیر رودخانه کرج

الف- دریاچه البرز و مسیرسازی رودخانه کرج

این پروژه عظیم با هدف بهسازی و اصلاح مسیر رودخانه کرج و ایجاد تفرج‌گاه در بالادست پل فردیس توسط معاونت فنی و عمرانی شهرداری کرج تعریف شده و مشاوران مختلفی در انجام مطالعات و اجرای آن مشارکت داشته اند. از جمله نکته‌های قابل توجه طرح، مسیرسازی رودخانه کرج در بالادست پل فردیس و همچنین تخلیه یکی از خطوط اصلی گرداوری آبهای سطحی به رودخانه کرج در منتهی‌الیه جنوبی پارک چمران خواهد بود. در مطالعات نهایی طرح دریاچه البرز، گستره آن حدود ۲۵/۱۲ هکتار و حجم آن به بیش از ۶۰۰ هزار مترمکعب و عمق آن بین ۲ تا ۷/۵ متر در نظر گرفته شده است.

اجزای این پروژه شامل آبراهه (کانال) تخلیهٔ سیلاب با دیوارهای حائل وزنی به طول ۱/۲ کیلومتر، احداث یک سازه آبگیر در مجاورت رودخانه کرج به ظرفیت ۱ متر مکعب بر ثانیه، رسوب‌گیر، سامانه انتقال از طریق لوله GRP، دایک خاکی پیرامون دریاچه سد، تخلیه کننده تحتانی و سامانه آب‌بندی دریاچه البرز است. هدف‌های اصلی این طرح عبارت‌اند از: ساماندهی مسیر اصلی رودخانه کرج در محدودهٔ آزادراه تهران از پل شاه عباسی تا پل آزادراه، احداث آبراهه با ظرفیت کافی

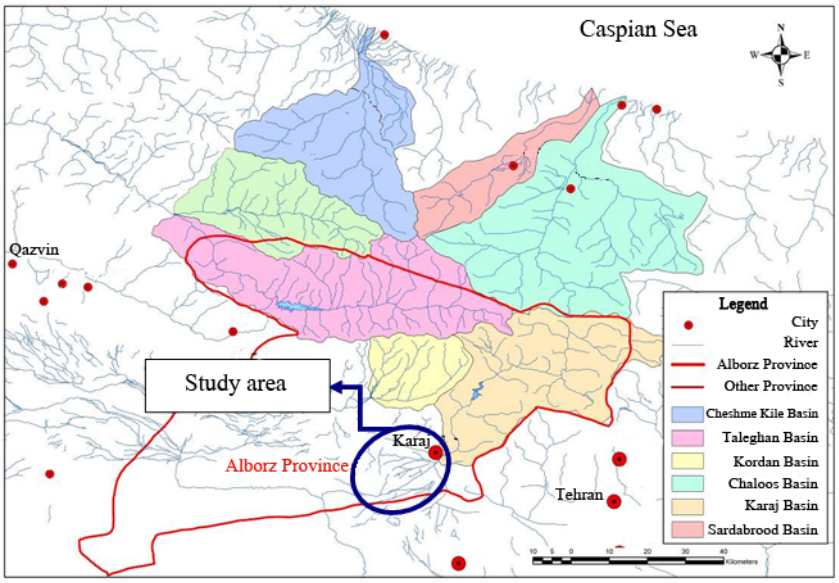

Fig. 1 Geographical location of this research.

شکل ۱ موقعیت جغرافیایی بازه مورد بررسی در این پژوهش.

Fig. 2 General view of Alborz Lake.

شکل ۲ طرح نمای کلی دریاچه البرز.

برای عبور مطمئن سیلاب با دوره بازگشت مناسب، آزاد سازی اراضی واقع در بستر و حریم اولیه رودخانه، برطرف کردن مسئله‌های ناشی از آلودگی شدید و بوی تعفن در تابستان، جانمائی تفرجگاه و احداث مخزن و دریاچهٔ مصنوعی. در شکل‌های ۲ و ۳، طرح نمای کلی (شماتیک) دریاچه و وضعیت بازه مسیرسازی شده رودخانه کرج نشان داده شده است.

ب- تغذیه مصنوعی آبخوان کرج

یکی دیگر از طرح‌های مهم عمرانی محدوده پایین‌دست رودخانه کرج پس از آزادراه، طرح تغذیه مصنوعی آبخوان کرج است. تا پیش از اجرای سد امیرکبیر، دشت تهران-کرج دارای منابع آب سطحی و زیرزمینی قابل ملاحظه‌ای بوده به طوری که چشمه‌سارهای پرشمار و قنات‌های پر آبی در منطقه جریان داشته و این دشت به عنوان یک دشت باتلاقی معرفی می‌شد. پس از بهره‌برداری از سد مخزنی امیرکبیر و انتقال آب آن به شهر تهران، حقابه کشاورزان این دشت از رودخانه کرج کاهش یافته و سیلاب‌های ورودی به دشت تهران-کرج کم و بیش از بین رفته و در پی آن، آبخوان دشت مهم‌ترین منبع تأمین نیاز آبی منطقه شده است. با کاهش منابع آب سطحی قابل دسترس و همچنین منبع‌های تغذیه آبخوان دشت، تأمین نیازهای منطقه با مخاطره‌های جدی روبه‌رو شده (هیدروگراف‌های واحد دشت شهریار نشان‌دهنده افتی بیش از یک متر در سال در ناحیه شمالی و مرکزی دشت می‌باشد) و برای بهبود تغذیه آن و جلوگیری از روند رو به رشد فرونشست، بررسی‌هایی با هدف تغذیه مصنوعی انجام شده است (Yekom Consulting Engineers, 2011).

در این راستا برای حفظ تعادل آبخوان دشت تهران- کرج، همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده، چندین مخزن حوضچه‌های تغذیه مصنوعی با ساخت بندهای خاکی (تورکینست) بر روی رودخانه کرج ایجاد شده است.

با عملیاتی شدن این طرح، جریان‌های سیلابی که امکان بهره‌برداری آن در اراضی پایین‌دست وجود ندارد، به طرح‌های تغذیه مصنوعی آبخوان تخصیص خواهد یافت. در این طرح با

Fig. 3 The intersection of the constructed section of the Karaj River to the Tehran-Karaj freeway

شکل ۳ محل تلاقی بازه مسیرسازی شده رودخانه کرج به پل‌های آزادراه تهران- کرج.

Fig. 4 Artificial feeding ponds and spillways between Turkinests

شکل ۴ حوضچه‌های تغذیه مصنوعی و سرریزهای ارتباطی بین تورکینست‌ها.

جلوگیری از پیامدهای سوء جریان‌های سیلابی در پایین‌دست، شرایط مناسب‌تری جهت بهره‌برداری از جریان به‌هنگام رودخانه فراهم خواهد آمد. بدین منظور، شماری خاکریز هلالی شکل (تورکینس) متوالی در همه عرض رودخانه در بازه مورد بررسی، همراه با تعبیه سرریزهای بتنی بر روی آن‌ها برای تخلیه جریان‌های سیلابی رودخانه احداث شده و بخشی از سیلاب متناسب با ظرفیت نفوذپذیری بستر و حجم ذخیره بین خاکریزها، در رودخانه تغذیه خواهد شد.

۲-۳- معرفی مدل‌های عددی مورد استفاده برای مدلسازی جریان و رسوب و ریخت‌شناسی

در این پژوهش از چهار مدل مختلف بهره‌برداری شده است. به منظور بررسی وضعیت هیدرولیک جریان رودخانه در اثر اجرای طرح مسیرسازی و دریاچه البرز در بالادست آزادراه، از مدل دو بعدی HEC-RAS 5 (Azizian et al., 2020)، برای بررسی تغییرپذیری‌های ریخت‌شناسی و وضعیت رسوبی رودخانه از سه مدل HEC-RAS 4.1 یک بعدی (جریان و رسوب) (Azizian and Samadi, 2020) و River Meander استفاده شده است. از مدل دوبعدی برای شبیه‌سازی جریان ورودی به دریاچه البرز، الگوی جریان خروجی از آن، شبیه‌سازی الگوی جریان در محدوده پایه‌های پل آزادراه تهران- قزوین و بررسی عملکرد تورکینست‌های واقع در انتهای بازه مورد بررسی استفاده شد. برای مدلسازی هیدرولیکی جریان با مدل یک بعدی و دوبعدی HEC-RAS از شرایط مرزی مختلف می‌توان استفاده که در این پژوهش از دو شرط مرزی هیدروگراف سیلاب با دوره بازگشت ۲ تا ۵ ساله (به عنوان دبی غالب) در بالادست بازه مورد بررسی و عمق نرمال در پائین‌دست استفاده شد. برای اجرای هرچه بهتر نیز هر دو مدل هیدرولیکی با داغاب‌های موجود در ساحل‌های رودخانه واسنجی و هماهنگ شدند.

با توجه به اینکه پیش‌نیاز مدلسازی رسوبی HEC-RAS مدلسازی جریان یک بعدی می‌باشد، در آغاز مدلسازی هیدرولیکی با مدل یک بعدی انجام و آن‌گاه مدلسازی رسوبی برای بررسی اثرگذاری‌های ناشی از اجرای طرح تغذیه مصنوعی بر تراز بستر رودخانه انجام شد. یعنی مدلسازی رسوبی برای ارزیابی تغییرپذیری‌های طولی و عرضی بستر رودخانه در نتیجه احداث سازه‌های یاد شده با مدل HEC-RAS یک بعدی و

بررسی تغییرپذیری‌های عرضی و جابه‌جایی‌های مسیر رودخانه در نتیجه این طرح‌ها با مدل River Meander انجام شد. برای مدلسازی رسوب با مدل HEC-RAS نیز در آغاز وضعیت دانه‌بندی، شیب رودخانه و ویژگی‌های جریان برای بازه مورد بررسی تعیین و بر مبنای آنها بهترین روش انتقال رسوب انتخاب گردید. در این پژوهش ویژگی‌های رسوبی و هیدرولیکی رودخانه کرج تا حدود زیادی همانند با شرایط موجود در توسعه روش میر-پیتر و مولر می‌باشد و به همین منظور از این روش برای شبیه‌سازی تغییرپذیری‌های نیمرخ طولی رودخانه استفاده شد. در این حالت شرط مرزی بالادست هیدروگراف بلند مدت رودخانه کرج و شرط مرزی پائین‌دست نیز عمق نرمال در نظر گرفته شد. همچنین برای مدل River Meander نیز از داده‌های جریان شبیه‌سازی شده توسط مدل HEC-RAS و نرخ کف کنی به دست آمده از مدل رسوبی HEC-RAS استفاده شد تا بتوان تغییرپذیری‌های عرضی رودخانه را با دقت قابل قبولی پیش‌بینی نمود.

در شکل ۵ مدل رقومی تهیه شده برای انجام مدلسازی‌ها نشان داده شده است. در این مدلسازی‌ها سه پیش‌فرض (سناریوی) هیدرولیکی برای بررسی وضعیت جریان در حالت پایه (بدون انجام طرح‌ها)، بررسی وضعیت جریان در محدوده طرح مسیرسازی، و بررسی وضعیت جریان در محدوده پروژه تغذیه مصنوعی اجرا شد و شبیه‌سازی تغییرپذیری‌های بستر و ریخت‌شناسی در بازه مورد بررسی با مدل‌های Hec-RAS یک‌بعدی و River Meander به سرانجام رسید.

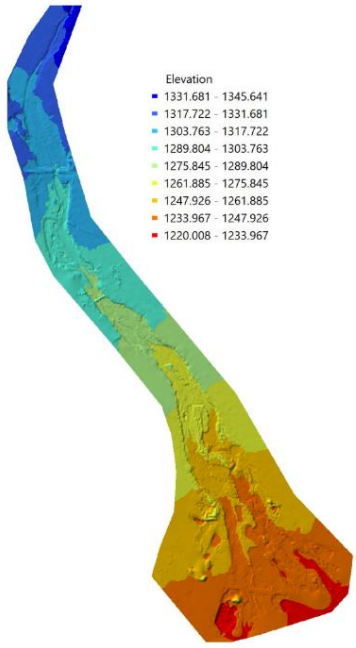

Fig. 5 Digital elevation model of the study area.

شکل ۵ مدل رقومی ارتفاعی محدوده مورد بررسی.

۳- نتایج

۳-۱- نتایج مدلسازی دوبعدی جریان در رودخانه

پیش‌فرض ۱- در این پیش‌فرض به ارزیابی هیدرولیک جریان در حالت پایه و بدون در نظر گرفتن همه طرح‌های پیشنهادی و در حال اجرا پرداخته شده است. برابر نتایج به‌دست آمده از اجرای مدل دوبعدی، منطقه‌های واقع در ساحل راست رودخانه به ویژه محدوده واقع در پارک چمران و نیز منطقه‌های مسکونی واقع در ابتدای بازه مورد بررسی به علت واقع شدن در حریم رودخانه دچار سیل گرفتگی قابل توجهی می‌شوند. یکی از علت‌های اصلی این امر، ارتفاع کم منطقه‌های واقع در ساحل راست رودخانه می‌باشد. هر چند هم‌اکنون بخش‌هایی از رودخانه با احداث دیواره‌هایی از خطر سیلاب تا حدودی در امان هستند اما ورود سیلاب در بخش‌های ابتدایی بازه مورد بررسی موجب گسترش و حرکت آن در این منطقه‌ها می‌شود. در شکل ۶ نمائی از پهنه سیلاب و چگونگی پخشیدگی آن در منطقه‌های یاد شده نشان داده شده است.

همچنین در شکل ۷ نیز نیمرخ عرضی سطح آب در چهار مقطع مختلف نشان داده شده است. بر خلاف منطقه‌های یاد شده، بخش‌های پائین‌دست رودخانه مسئله خاصی را از منظر پخشیدگی سیلاب تجربه نمی‌نمایند. تنها نکته قابل توجه تمرکز جریان در میان برخی از پایه‌های پل آزادراه واقع در محدوده مدلسازی است که منجربه تخریب بستر رودخانه در پایاب خواهد شد.

پیش‌فرض ۲- در این پیش‌فرض به ارزیابی هیدرولیک جریان در حالت اجرای طرح مسیرسازی رودخانه کرج و دریاچه البرز (در حد فاصل ابتدای بازه مدلسازی تا پل آزادراه تهران-قزوین) پرداخته شده است. ابعاد پیشنهادی برای اجرای طرح مسیرسازی رودخانه به شرح جدول ۱ می‌باشد. همچنین ویژگی‌های هندسی و مکانی دریاچه البرز نیز در جدول ۱ و شکل‌های ۸ تا ۱۰ ارائه شده است. مدل هندسی مورد استفاده در این پیش‌فرض طوری ایجاد گردید که به طور همزمان شامل طرح مسیرسازی و همچنین مخزن دریاچه البرز شود.

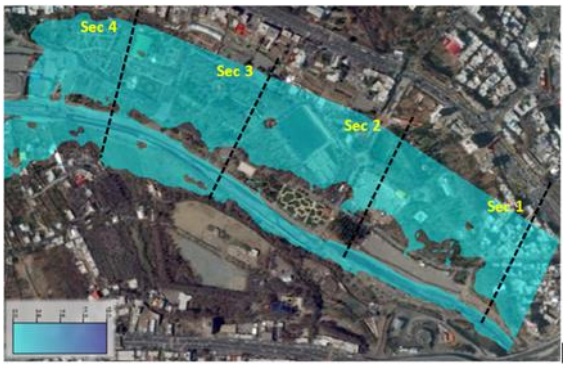

Fig. 6 Floodplain surfaces on the right bank of the river (from the beginning of the interval to Shahid Chamran Park)

شکل ۶ سطح‌های سیلگیر در حاشیه راست رودخانه (حد فاصل ابتدای بازه تا پارک شهید چمران).

نتایج به‌دست آمده از مدلسازی دوبعدی جریان در محدوده مجرای اصلی گویای آن است که سرعت جریان عبوری از این ناحیه به شدت بالا می‌باشد. برابر محاسبات، میزان سرعت‌ها در راستای مقطع طولی مجرا بین ۲/۵ تا ۴ متر بر ثانیه متغیر می‌باشد که عددی قابل توجه است. چنین میزان سرعتی می‌تواند منجر به فرسایش بستر رودخانه و تخریب بستر رودخانه در خروجی آبراه شود. هم‌اکنون خروجی آبراهه به دو پل (پل‌های واقع بر روی آزادراه تهران-قزوین) در پائین‌دست منتهی می‌شوند.

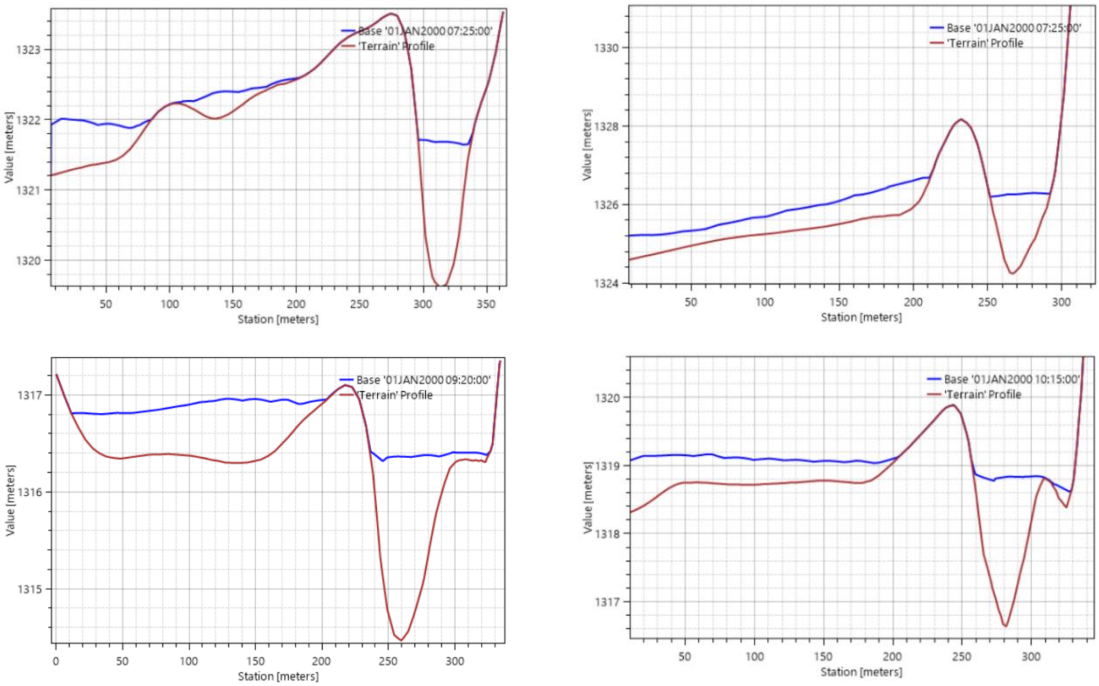

Fig. 7 Status of Karaj River floodplain in cross sections 1 to 4.

شکل ۷ وضعیت پهنه سیلگیر رودخانه کرج در مقطع‌های عرضی ۱ تا ۴.

جدول ۱ ویژگی‌های هندسی طرح مسیرسازی (کانالیزاسیون) رودخانه کرج و دریاچه البرز.

Table 1 Geometric features of channelization in karaj river and Alborz lake.

Return period	Discharge (m^3/s)	Bed Width (m)	Manning coefficient	Longitudinal bed slope (m/m)	Normal depth (m)
200	276	20	0.025	0.005	2.87
200	276	15	0.025	0.005	3.60

Lake bed slope (%)	Lake Length (m)	US Lake Depth (m)	DS Lake Depth (m)	Lake Area (ha)	Lake volume at normal level (m^3)
0.8-1.0	1200	2	7.5	12.25	620,000

Fig. 8 Location of Alborz Lake and construction project in the distance between Chamran Park and Tehran-Qazvin freeway.

شکل ۸ موقعیت طرح مسیرسازی و احداث دریاچه البرز در حد فاصل بین پارک چمران و آزادراه تهران-قزوین

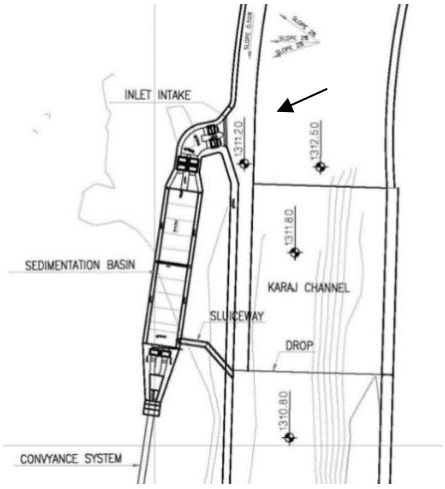

Fig. 10 Lake entrance location.

شکل ۱۰ موقعیت ورودی دریاچه

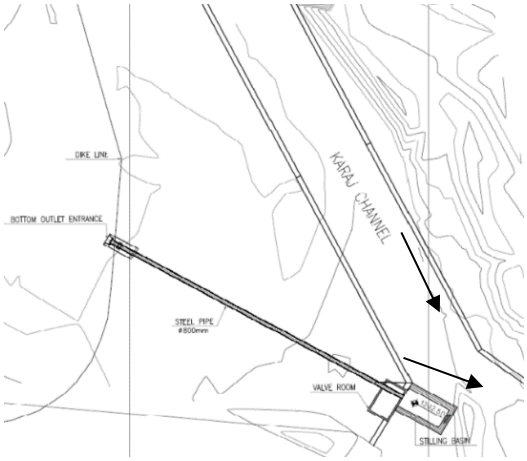

Fig. 9 Lake outlet location.

شکل ۹ موقعیت خروجی دریاچه

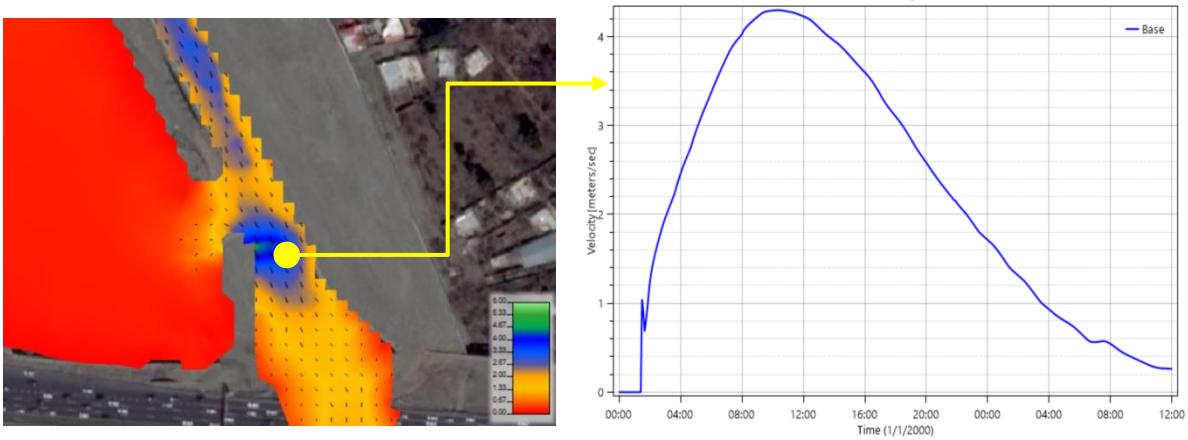

Fig. 11 Temporal distribution of velocity at the lake outlet

شکل ۱۱ پراکنش زمانی سرعت در محل خروجی دریاچه

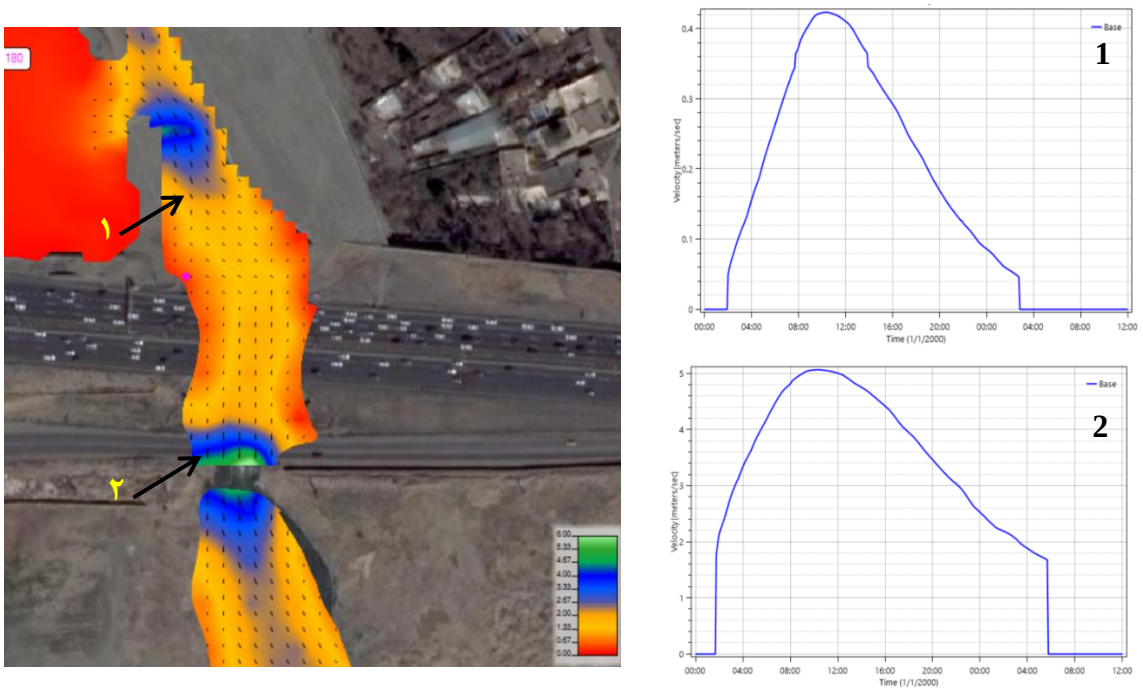

Fig. 12 Temporal distribution of velocity at the right entrance of Tehran-Qazvin freeway bridge (1) and downstream of freeway bridge (2)

شکل ۱۲ پراکنش زمانی سرعت در دهانه سمت راست پل آزادراه تهران-قزوین (۱) و پائین‌دست پل آزادراه (۲)

نتایج ارائه شده در شکل ۱۱ حاکی از آن است که عدم حفاظت پایه‌های پل در پائین‌دست می‌تواند در بلندمدت علاوه‌بر تخریب پایه‌های پل، بستر رودخانه و سواحل آن در پائین‌دست را نیز دستخوش تغییر و تخریب قرار دهد.

جریان خروجی از دریاچه با توجه به حجم قابل توجه آن موجب تغییر الگوی جریان خروجی از آبراهه شده و عمده جریان را به سمت دهانه سمت چپ هدایت می‌کند و همین مسئله موجب شکل‌گیری جریان چرخشی با سرعت بسیار کم در سمت پایه‌های واقع در دهانه سمت راست پل می‌شوند. لذا با توجه به رسوب‌های خروجی از دریاچه و آبراهه، امکان رسوبگذاری در دهانه سمت راست به شدت افزایش می‌یابد و در بلندمدت در عمل دهانه سمت راست از حیض انتفاع خارج خواهد شد. عدم طراحی مناسب خروجی آبراهه در محل تلاقی با پل و نیز خروجی دریاچه از جمله عواملی است که در آینده‌ای نه چندان دور تاثیر قابل توجهی بر هیدرولیک جریان و رسوب رودخانه به ویژه در محدوده پایه‌های پل و پایاب رودخانه خواهد گذاشت.

در شکل ۱۲ نرخ‌های سرعت جریان در پائین‌دست پل و در لحظه عبور سیلابی با سرعت حدود ۵ متر بر ثانیه نشان داده شده است که با چنین سرعتی، تخریب و فرسایش بستر رودخانه و نیز کناره‌های آن محتمل است. از آنجائی که ارتفاع ساحل چپ رودخانه در پائین‌دست پل بسیار بالا (در حدود ۷ تا ۱۰ متر) می‌باشد، تمرکز جریان در بستر و به ویژه در سمت چپ رودخانه می‌تواند پایداری دیواره کناره‌ها را با مشکل روبه‌رو سازد. یکی دیگر از مشکلات پیش روی احداث دریاچه البرز در حاشیه سمت راست رودخانه، پس زدگی جریان در بالادست دریاچه می‌باشد. یکی از علت‌های اصلی این امر، عدم کفایت آبگیر ورودی به دریاچه و همچنین تنگ شدگی ناشی از اجرای طرح مسیرسازی می‌باشد. ورودی دریاچه طوری در نظر گرفته شده که دبی بیشینه ۱۶ مترمکعب بر ثانیه را از خود عبور می‌دهد و همین مسئله بازدارنده هدایت جریان‌های بالا به درون دریاچه خواهد شد. کاهش عرض رودخانه از حدود ۱۰۰ متر به ۲۰ متر و همچنین ظرفیت کم آبگیر دریاچه موجب ایجاد آشفتگی و هدر رفت انرژی قابل توجهی در آغاز طرح آبراه‌سازی شده و همین مسئله موجب برگشت آب و پخش سیلاب در بالادست خواهد شد. در شکل ۱۳ نمایی از محدوده‌های سیلگیر نشده داده شده است.

پیش‌فرض ۳- در این پیش‌فرض به ارزیابی تاثیر احداث دریاچه‌های طرح تعذیه مصنوعی آبخوان کرج (واقع در پایین‌دست مترو تهران- کرج) بر الگوی جریان و نیز فرآیند رسوبگذاری رودخانه کرج پرداخته شده است. با عملیاتی شدن

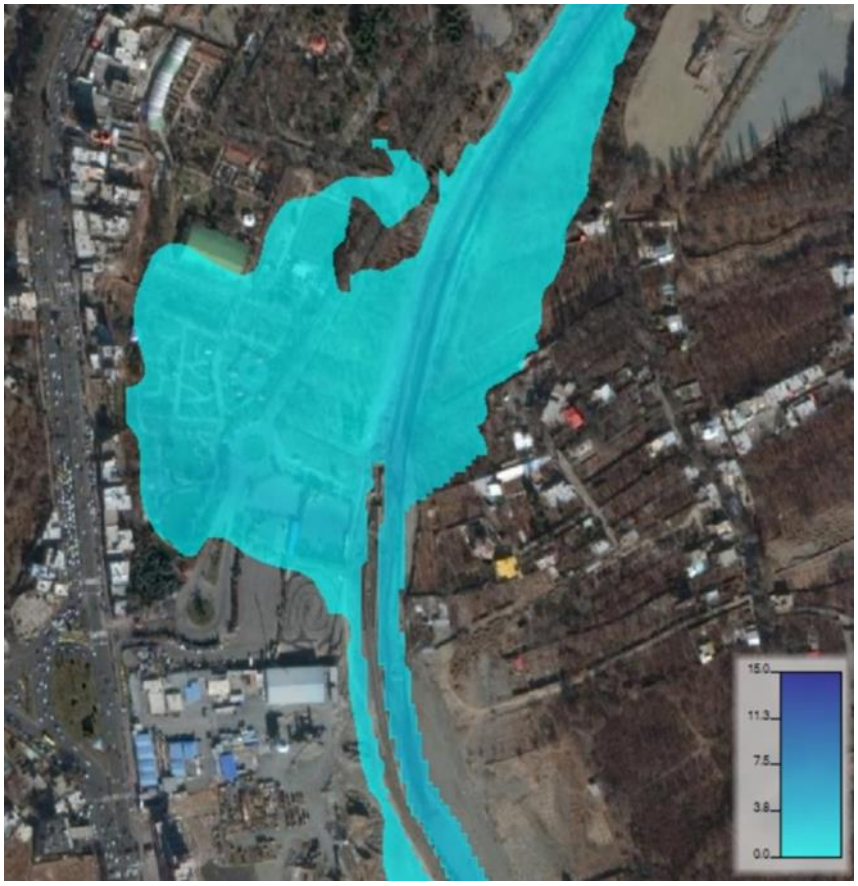

Fig. 13 Floodpain surface in the lake upstream and channel.
شکل ۱۳ پهنه سیلاب در بالادست دریاچه و طرح مسیرسازی

این طرح، جریان‌های سیلابی که امکان بهره‌برداری آن در اراضی پایین‌دست وجود ندارد، به طرح‌های تغذیه مصنوعی آبخوان تخصیص خواهد یافت. طراحی و تعیین شمار خاکریزها (تورکینست‌ها یا بندها)، نه تنها بر مبنای حجم قابل تغذیه، بلکه بر مبنای محدودیت‌های مکانی پروژه در نظر گرفته شده است. با توجه به عبور رودخانه از درون محدوده شهری و به منظور رعایت اصول ایمنی، و توجه به پیامدهای اجتماعی، عمق آب پشت سازه‌ها بیش از ۳ متر نمی‌تواند باشد. همچنین با توجه به اختلاف شیب زیاد در بازه مورد بررسی که در حدود ۳۰ متر می‌باشد، احداث تنها یک الی دو سازه با ارتفاع بلند، به دلیل ایمنی، امکان‌پذیر نخواهد بود. بر این مبنا بهتر است از سازه‌های با ارتفاع کوتاه استفاده شود، که در نتیجه آن شمار سازه‌های مورد نیاز افزایش خواهد یافت. در این طرح، یک سرریز بتنی برای هر خاکریز اجرا شده، به جز خاکریز انتهایی که به منظور تقسیم آب در رودخانه‌های کرج و شادچای دو عدد سریز برای آن در نظر گرفته شده است. عرض سرریزها برابر با ۲۵ متر انتخاب شده است.

با توجه به آنچه بیان شد، مدل رقومی ارتفاعی سطح زمین با در نظر گرفتن همه سازه‌های پیشنهادی تهیه شد که در شکل ۵ نشان داده شد. با در نظر گرفتن مدل رقومی ارتفاعی یاد شده که حاوی موقعیت و ابعاد هندسی سازه‌های تورکینست نیز می‌باشد، مدل جریان دو بعدی اجرا شد. بنابر نتایج به دست آمده، سازه‌های پیشنهادی به خوبی موجبات افزایش تراز سطح آب، کاهش سرعت و فراهم آمدن شرایط مناسب برای نفوذ آب در بستر رودخانه را فراهم می‌کنند. در شکل ۱۴ و ۱۵ نقشه تغییرپذیری‌های مکانی عمق جریان (در لحظه عبور سیلاب بیشینه) و سرعت جریان در محدوده سازه‌های یادشده نشان داده شده است.

برابر محاسبات صورت گرفته، سازه‌های تورکینست موجب کاهش سرعت جریان عبوری و نفوذ هرچه بیشتر جریان به درون زمین می‌شوند، اما یادآوری این نکته نیز ضروی است که با توجه به آورد رسوبی قابل توجه رودخانه و همچنین وجود کارگاه‌های شن و ماسه در بالادست، رسوب‌های ریزدانه زیادی (که ناشی از شستشوی مصالح می‌باشند) وارد دریاچه هر کدام از این سازه‌ها

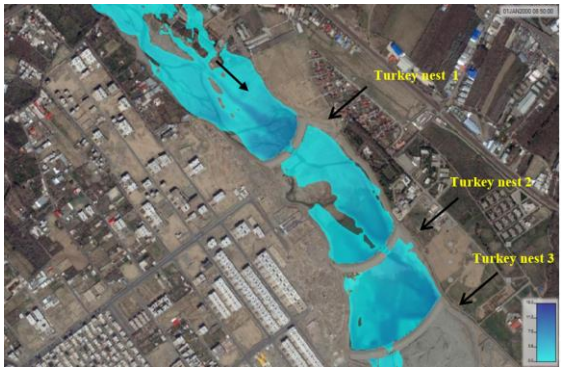

Fig. 14 Spatial variability of depth of flow at the site of Turkinst structures

شکل ۱۴ تغییرپذیری‌های مکانی عمق جریان در محل احداث سازه‌های تورکینست

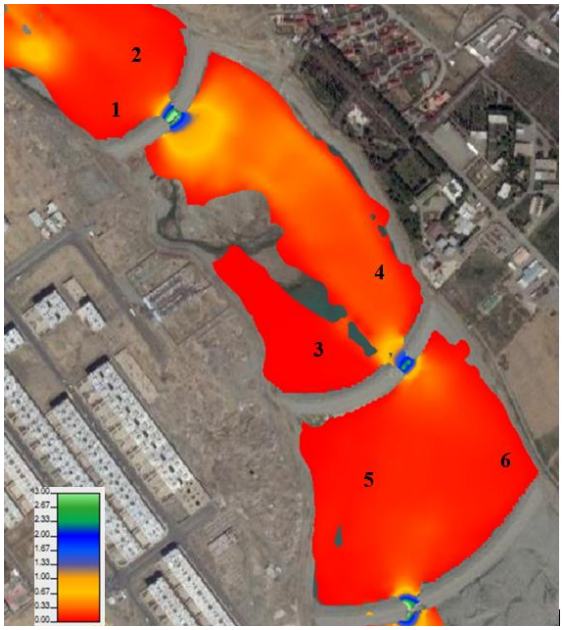

Fig. 15 Spatial variability of flow velocity within Turkinst structures

شکل ۱۵ تغییرپذیری‌های مکانی سرعت جریان در محدوده سازه‌های تورکینست

خواهد شد. هم‌اکنون عمده مصالح بستر رودخانه به ویژه در محدوده سازه‌های پیشنهادی از نوع درشت دانه بوده و جریان آب به آسانی به درون زمین نفوذ کرده و شرایط را برای افزایش تراز سطح آب زیرزمینی (سطح آبخوان) فراهم می‌سازد. ورود رسوب‌های ریزدانه یاد شده، موجب کاهش نفوذپذیری بستر رودخانه شده و در عمل به نظر می‌رسد هدف اصلی پروژه تغذیه مصنوعی را با چالشی بنیادین روبه‌رو کند. افزون بر این، احداث سازه‌های عریض با تنها در نظر گرفتن یک سرریز خروجی برای آن موجب شکل‌گیری مناطق غیرفعال در مخزن هر کدام از سازه‌ها خواهد شد. وجود چنین منطقه‌هایی افزون‌بر فراهم کردن شرایط مناسب برای رسوبگذاری موجب ایجاد حالت ماندابی نیز خواهد شد. با توجه به ورود پساب‌های صنعتی و خانگی به درون رودخانه در بالادست، وجود این منطقه‌های غیرفعال افزون‌بر انباشته شدن آلاینده‌های صنعتی شرایط لازم برای رشد و توسعه جلبک‌ها را نیز فراهم خواهد آورد. بازدیدهای میدانی به عمل آمده از تورکیسنت‌های در حال بهره‌برداری گویای وجود منطقه‌هایی است که در آنها آلاینده‌های صنعتی به حدی تجمع پیدا کرده‌اند که بوی تعفن ناشی از آن بسیاری از ساکنان واقع در شهرک‌های اطراف را آزار می‌دهد. به عنوان مثال ساکنان واقع در حاشیه سمت راست تورکیسنت شماره ۳ از بوی ناشی از این آلودگی‌ها و مانداب‌ها ناراضی می‌باشند.

۳-۲- نتایج تغییرپذیری‌های تراز بستر رودخانه با مدل رسوبی

پس از اجرای مدل HEC-RAS یک بعدی (جریان و رسوب)، میزان تغییرپذیری‌های تراز بستر رودخانه، دوره زمانی مربوط به هر کدام از مقطع‌های عرضی، پلان تغییرپذیری‌های تراز بستر و میزان تغییرپذیری‌های تراز بستر در هر کدام از مقطع‌های عرضی بدست آمد (شکل ۱۶). بنابر نتایج به‌دست آمده در محدوده کیلومتر ۲/۶ (انتهای بازه مسیرسازی و دریاچه مصنوعی البرز) به علت سرعت بالای جریان خروجی، بستر رودخانه دچار فرسایش قابل توجهی شده و این فرسایش به علت تمرکز جریان در بستر و ساحل چپ رودخانه است که احتمال تخریب ساحل‌ها را به شدت افزایش خواهد داد. بر خلاف بازه بالا، در بازه بین پل راه آهن کرج- تهران تا انتهای بازه مورد بررسی به علت احداث ۴ عدد سازه تورکینست برای تغذیه مصنوعی آبخوان دشت تهران-کرج، وضعیت رسوبی در بالادست هر کدام از سازه‌های یاد شده تغییرهای قابل توجهی رخ داده است. همان‌طور که در شکل ۱۷ نشان داده شده است، در یک بازه زمانی به نسبت کوتاه (در حدود ۲ سال با توجه به استفاده از دبی ۲ ساله رودخانه) رسوبگذاری به نسبت زیادی در بالادست تورکینست‌ها رخ داده است. نتایج به‌دست آمده به خوبی نشان می‌دهد که مخزن‌های در نظر گرفته شده تا چند سال آینده تا رقوم سرریزهای خروجی تاحدودی پر از رسوب شده و در عمل بحث تغذیه آبخوان با چالشی بنیادین روبه‌رو خواهد شد. چنانچه

فرآیند لایروبی این سازه‌ها در بازه‌های زمانی یکساله انجام شود می‌توان تاثیرگذاری آنها را بر تراز سطح ایستابی آبخوان تا حدود زیادی افزایش داد. هر چند لازم به یادآوری است که انجام فرآیند لایروبی خود هزینه‌های بسیار زیادی را افزون‌بر هزینه‌های نگهداری بر پروژه تغذیه مصنوعی خواهد افزود و ممکن است در بازه‌های زمانی موردنیاز هزینه‌های لایروبی تامین نشده و با نشست رسوب‌های ریزدانه، میزان نفوذ پذیری بستر رودخانه به شدت کاهش یابد. برابر شکل ۱۷، میزان تغییرپذیری‌های در راستای مقطع‌های عرضی هر کدام از مخزن‌های موجود بسیار قابل توجه بوده و نیاز به لایروبی را بیش از پیش نمایان می‌کند. منشا این رسوب‌ها، رسوب‌های ورودی از بازه‌های بالادست می‌باشد. در مورد کیفیت مصالح رسوبی ورودی از بالادست نیز بایستی عنوان کرد که عمده این رسوب‌ها درشت‌دانه هستند و امکان ته‌نشینی آنها نیز بسیار بالا می‌باشد. از سوی دیگر تخلیه رسوب‌های ریزدانه خروجی از کارگاه‌های شن و ماسه (حاصل شستشوی مصالح) که در بالادست تورکینست‌ها قرار دارند و کاهش سرعت ناشی از وجود سازه‌های یادشده موجب نشست این مصالح ریزدانه در بستر و کاهش نفوذپذیری بستر رودخانه می‌شود. به عبارت بهتر با گذر زمان از نفوذپذیری بستر رودخانه کاسته شده و کارائی طرح تغذیه مصنوعی کاهش خواهد یافت. هرچند هم‌اکنون امکان مدلسازی آن با توجه به نبود داده‌های مشاهده‌ای امکان‌پذیر نمی‌باشد و تنها با توجه کیفیت مصالح ورودی و نیز مشخصات سازه‌ها می توان چنین فرآیندی را انتظار داشت. حوضچه‌های موجود دارای ابعاد چندان بزرگی نمی‌باشند که بتوان برای آنها عمر مفیدی متصور شد. این حوضچه‌ها با توجه به آورد رسوب‌ها از بازه‌های بالادست تا حدودی هر ساله پر از رسوب شده و کارائی آنها (برای تغذیه مصنوعی) کاهش می‌یابد. از سوی دیگر افزایش حجم نشست رسوب‌ها در بستر موجب کاهش نفوذپذیری آن و نیز کاهش میزان آب نفوذی به درون سفره آب زیرزمینی خواهد بود. این مسئله بیشتر منجربه انتقال جریان‌های سیلابی به پائین‌دست شده و در عمل طرح تغذیه مصنوعی از حیض انتفاع خارج خواهد شد. لذا توصیه می‌شود برای حفظ عملکرد این حوضچه‌ها، عملیات لایروبی سالانه در بالادست این سازه‌ها در دستور کار قرار گیرد. رسوب‌های نهشته شده در بالادست این سازه‌ها را می‌توان برای کاربرد جاده‌سازی، ساختمانی و . . . استفاده کرده و از سویی آسیب‌های ناشی از برداشت‌های شن و ماسه غیراصولی بر رودخانه را نیز کاهش داد.

۳-۳- نتایج مدلسازی ریخت‌شناسی مسیر رودخانه

در این بخش به بررسی تغییرپذیری‌های مسیر اصلی رودخانه کرج در حد فاصل پل آزادراه تا بالادست نخستین سازه تورکینست احداث شده در پائین‌دست راه آهن کرج-تهران پرداخته شده است. علت انتخاب بازه یادشده برای مدلسازی این است که با توجه به مسیرسازی مسیر رودخانه در حد فاصل پل شاه عباسی تا آزادراه کرج- تهران، در عمل تغییرپذیری‌های عرضی رودخانه در این بازه، امکان پذیر نمی‌باشد. از سوی دیگر، وجود سازه‌های تورکینست پرشمار در پائین‌دست بازه مورد بررسی بازدارنده جابه‌جایی عرضی رودخانه می‌باشد. لذا با توجه به آنچه در بالا بیان شد، تنها بخشی از مسیر رودخانه کرج

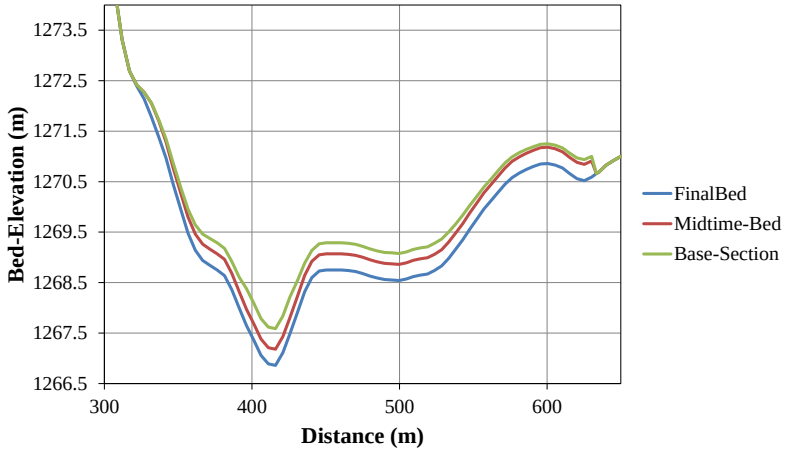

Fig. 16 Variability of Karaj riverbed in one of the cross sections located downstream of Alborz channel and artificial lake

شکل ۱۶ تغییرپذیری‌های بستر رودخانه کرج در یکی از مقطع‌های عرضی واقع در پائین‌دست مسیرسازی و دریاچه مصنوعی البرز

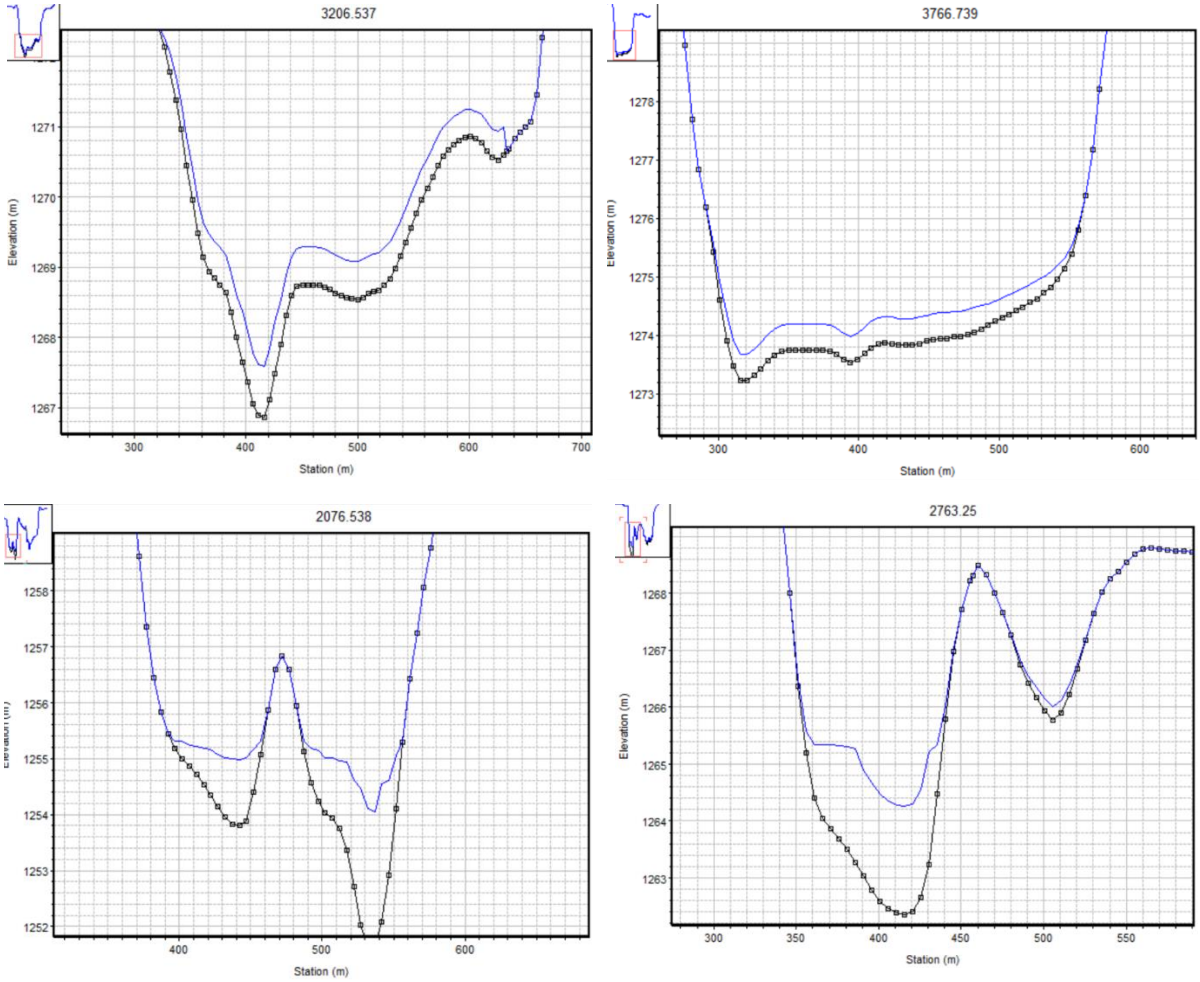

Fig. 17 Variables of river bed level in Turkinst reservoirs 1 to 4

شکل ۱۷ تغییرپذیری‌های تراز بستر رودخانه در مخزن تورکینست‌های ۱ تا ۴

(محدوده کیلومتر ۱۰ تا ۲۰) به عنوان ورودی مدل RVR Meander در نظر گرفته شده است. برای اجرای مدل یادشده بایستی مرحله‌های زیر به ترتیب تنظیم شود تا بتوان تغییرپذیری‌های عرضی مسیر اصلی رودخانه در سال‌های آینده را پیش‌بینی کرد. پس از وارد کردن همه داده‌های موردنیاز مدل یاد شده، فرآیند پیش‌بینی محور اصلی رودخانه در بازه‌های زمانی ۵، ۱۰ و ۲۰ ساله اجرا شد که نتایج آن به ترتیب با رنگ‌های آبی، قرمز و سبز در شکل ۱۸ نشان داده شده است. خط مشکی نیز خط‌القعر رودخانه در شرایط کنونی را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با گذر زمان محور (آبراهه) اصلی رودخانه به ویژه در پائین‌دست پل آزادراه دارای تغییرپذیری‌های زیادی می‌شود و همین مسئله دیواره ساحل چپ رودخانه را با تهدیدی بنیادین روبه‌رو می‌سازد. نبود زمینه حفاظت ساحل چپ رودخانه در پائین‌دست پل آزادراه می‌تواند منجربه ریزش کناره‌ها و تخریب اراضی قابل توجهی شود. لذا لزوم ساماندهی ساحل چپ رودخانه و حفاظت کناره‌ها در این بازه بایستی در دستور کار قرار گیرد. واقع شدن پل مترو کرج- تهران بر یک قوس خارجی نیز موجب می‌شود که در بلند مدت جریان رودخانه به سمت ساحل راست متمایل شود و همین مسئله موجب تخریب دیواره ساحل راست خواهد شد. با توجه به توضیح‌های بالا، ساماندهی مسیر رودخانه، حفاظت کناره‌ها و جلوگیری از بهم‌ریختگی‌های بستر می‌توان روند تغییرپذیری‌های عرضی رودخانه را تا حد زیادی کاهش دهد. هرچند یادآوری این نکته نیز ضروری است که تثبیت بستر و جلوگیری از کاهش تراز بستر رودخانه نیز بایستی مدنظر قرار گیرد. همچنین وضعیت رودخانه در پائین‌دست پل راه آهن کرج- تهران نیز موجب تغییرپذیری‌هایی در شرایط جریان شده و در پی آن تغییرپذیری‌های عرضی رودخانه تشدید خواهد شد.

هرچند لازم به یادآوری است که اجرای سازه‌های تورکینست واقع در انتهای بازه مورد بررسی خود می‌تواند به عنوان یک عامل کنترل کننده به شمار آید و بازدارنده جابه‌جایی‌های عرضی رودخانه در سال‌های آینده شود.

بنابر نتایج به‌دست آمده می‌توان هشدار داد که رودخانه کرج پس از خروج از محدوده مسیرسازی شده، قابلیت جابه‌جایی داشته و پس از عبور از پل راه‌آهن و پیش از ورود به محدوده طرح تغذیه مصنوعی نیز امکان جابه‌جایی در خط القعر آن وجود خواهد داشت که می‌تواند باعث بروز تخریب‌هایی در کناره‌های رودخانه شود.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به اجرای طرح‌های مختلف در سال‌های اخیر در محدوده پایین‌دست رودخانه کرج، تغییرپذیری‌های ریخت‌شناسی قابل توجهی بر سامانه رودخانه تحمیل شده و خواهد شد. این تغییرها موجب بر هم خوردن الگوی طبیعی جریان و رسوب رودخانه کرج شده و در برخی از بازه‌ها موجب تخریب بستر و دیواره‌های رودخانه شده است. این پژوهش با هدف ارزیابی اثرگذاری‌های ناشی از اجرای طرح‌های مهندسی بر وضعیت هیدرولیکی و رسوبی رودخانه کرج به انجام رسیده است. برای بررسی هرچه بهتر تاثیر هر کدام از طرح‌های موجود، مدل دوبعدی HEC-RAS 5.0.3 برای شبیه‌سازی جریان و مدل یک‌بعدی HEC-RAS 4.1 برای شبیه‌سازی رسوب و مدل RVR Meander برای تغییرپذیری‌های ریخت‌شناختی استفاده گردیدند. مهم‌ترین نتایج به دست آمده را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

- پسزدگی جریان در بالادست دریاچه البرز به علت کافی نبودن ابعاد آبگیر ورودی به دریاچه و تنگ‌شدگی ناشی از اجرای طرح مسیرسازی، هدررفت انرژی قابل توجهی در ابتدای طرح ایجاد می‌کند و همین مسئله موجب برگشت آب و پخش سیلاب در بالادست خواهد شد.
- بروز آشفتگی و جریان‌های چرخشی به علت زاویه نامناسب اتصال بازه مسیرسازی با پل‌های آزادراه در آینده‌ای نه چندان دور تاثیر قابل توجهی بر هیدرولیک جریان و رسوب رودخانه به ویژه در محدوده پل‌های یادشده خواهند گذاشت.
- سازه‌های تورکینست موجب کاهش سرعت جریان عبوری و نفوذ هرچه بیشتر جریان به داخل زمین می‌گردند، اما یادآوری این نکته ضروی است که با توجه به آورد رسوبی قابل توجه رودخانه و همچنین وجود کارگاه‌های شن و ماسه در بازه‌های بالادست، رسوب‌های ریزدانه زیادی وارد دریاچه هر کدام از این سازه‌ها خواهد شد. هم‌اکنون عمده مصالح بستر رودخانه به ویژه در محدوده سازه‌های پیشنهادی از نوع درشت دانه بوده و جریان آب به آسانی به درون زمین نفوذ کرده و شرایط را برای افزایش تراز سطح آب زیرزمینی (سطح آبخوان) فراهم می‌سازد. اما ورود رسوب‌های ریزدانه یادشده، موجب کاهش نفوذپذیری بستر رودخانه شده و در عمل به نظر می‌رسد هدف اصلی پروژه تغذیه مصنوعی را با چالشی بنیادین روبه‌رو کند.
- احداث سازه‌های عریض با تنها در نظر گرفتن یک سرریز خروجی برای آن موجب شکل‌گیری منطقه‌های غیرفعال در مخزن هر کدام از سازه‌ها خواهد شد. وجود چنین منطقه‌هایی افزون بر فراهم کردن شرایط مناسب برای رسوبگذاری موجب ایجاد حالت ماندابی نیز خواهد شد. با توجه به ورود پساب‌های صنعتی و خانگی به درون رودخانه در بالادست، وجود این مناطق غیرفعال افزون بر انباشته شدن آلاینده‌های صنعتی شرایط لازم برای رشد و توسعه جلبک‌ها را نیز فراهم خواهد آورد.
- به علت سرعت بالای جریان خروجی از دریاچه، بستر رودخانه دچار فرسایش قابل توجهی شده و این فرسایش به‌علت تمرکز جریان در بستر و ساحل چپ رودخانه بوده و احتمال تخریب کناره‌ها را به شدت افزایش خواهد داد.
- مدلسازی رسوبی نشان داد که در یک بازه زمانی به نسبت کوتاه رسوبگذاری به نسبت زیادی در بالادست تورکینست‌ها رخ داده است. نتایج بدست آمده به خوبی نشان می‌دهد که مخزن‌های در نظر گرفته شده تا چند سال آینده تا رقوم سرریزهای خروجی تاحدودی پر از رسوب شده و در عمل بحث تغذیه آبخوان با چالشی بنیادین روبه‌رو خواهد شد.
- برمبنای خروجی مدل ریخت شناسی، با گذر زمان محور

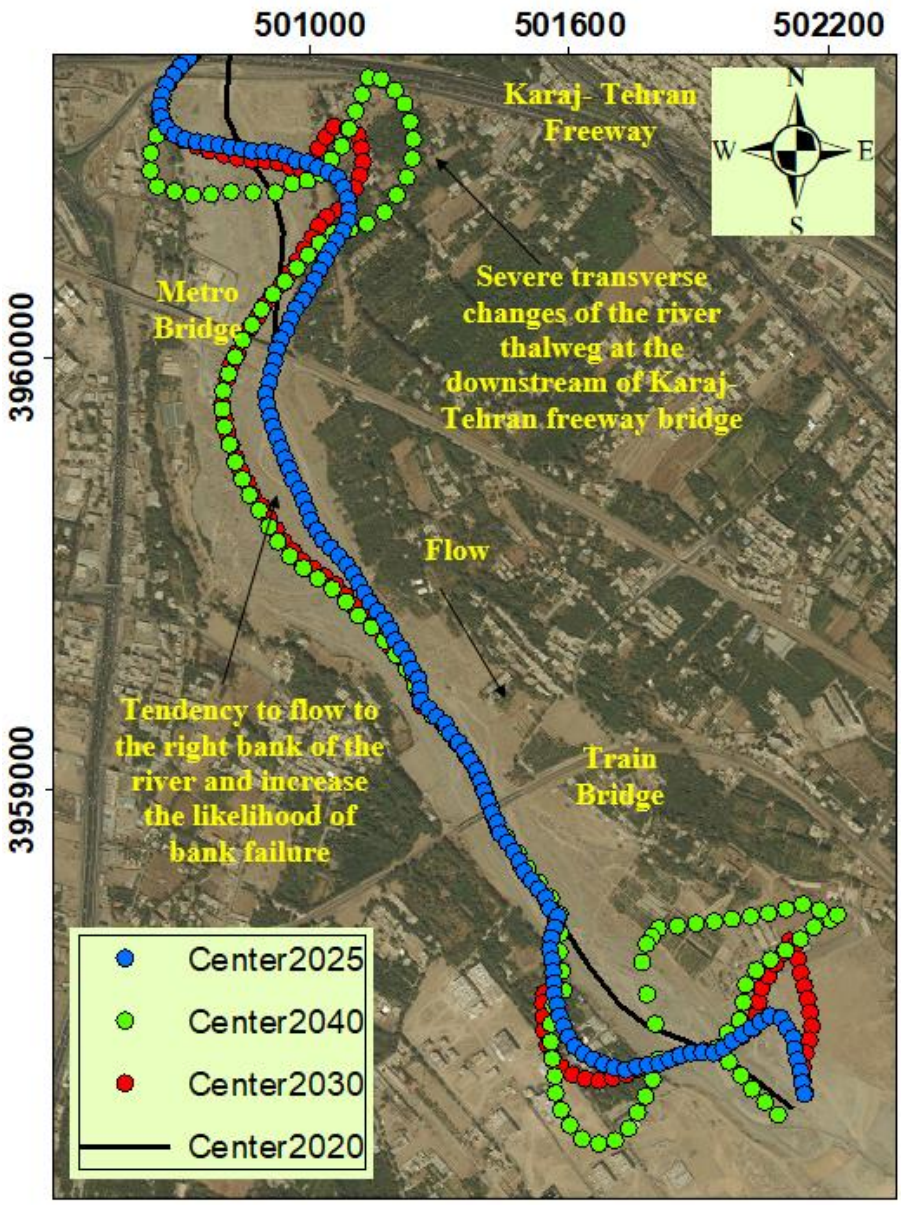

Fig. 18 Transverse variables of the bottom line of Karaj river in the period 2020 to 2040

شکل ۱۸ تغییرپذیری‌های عرضی خط القعر رودخانه کرج در بازه‌های زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰

- اصلی رودخانه به ویژه در پائین‌دست پل آزادراه کرج- تهران دارای تغییرپذیری‌های زیادی می‌شود و همین مسئله دیواره ساحل چپ رودخانه را با تهدیدی بنیادین روبه‌رو می‌نماید. لذا لزوم ساماندهی ساحل چپ رودخانه و حفاظت کناره‌ها در این بازه قابل توصیه می‌باشد.
- برمبنای شبیه‌سازی ریخت‌شناسی آینده رودخانه، وجود پل مترو کرج- تهران در قوس خارجی رودخانه موجب می‌شود که در بلند مدت، جریان رودخانه به سمت ساحل راست متمایل شود و همین مسئله موجب تخریب دیواره ساحل راست خواهد شد و این محدوده نیازمند ساماندهی خواهد بود. همچنین وضعیت رودخانه در پائین‌دست پل راه آهن موجب تغییرپذیری‌هایی در شرایط جریان شده و در پی آن تغییرپذیری‌های عرضی رودخانه تشدید خواهد شد.

۵- سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی با عنوان «بررسی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه کرج و اثرات زیست محیطی ناشی از طرح‌های توسعه منابع آب، مهندسی رودخانه و برداشت شن و ماسه» است که با حمایت مالی شرکت سهامی آب منطقه‌ای

البرز تحت قرارداد شماره ۹۳/۲۲۱۴/۱۰۱ مورخ ۹۳/۰۴/۲۴ و با کد ALE-93010 به انجام رسیده است. بدین‌وسیله از کمیته تحقیقات شرکت آب منطقه‌ای البرز قدردانی می‌شود.

۶- منبع‌ها

Arshad, S., Morid, S. and Mir Abolghasemi, H. (2008). Assessing the trend of morphologic changes of rivers using remote Sensing: (Case study: Karun river between Gotvand and Farsiat). J. Agric. Sci. Natur. Resour., 14(6), 180-194.

Asghari Saraskanroud, S. (2013). Investigation and analysis of different river patterns in the Shahrchai River of Urmia. Applied Geomorphology of Iran, 1(1), 75-88.

Piri, Z., Rezaie Moghadam, M.H., Ashouri M. (2015). Assessment of The Effect of Dam Construction River Pattern and Pass changes Using GIS & RS (Case Study: Ahar Chai River). Geography and Environmental Planning, 25(4), 57-68.

Rezaei Moghaddam, M.H., Sarvati, M.R. and Asghari Sareskanrood, S. (2012). Investigation of geometric alterations of Gezel Ozan River considering Geomorphologic and Geologic parameters. Geography and Environmental Planning, 23(2), 1-14.

Shayan, N. and Dehestani, H. (2013). Calculations of Geometric Parameters and Investigations of its Geomorphological Changes Pattern in Kashkan River. Environmental Erosion Research Journal, 2(8), 21-34.

Azizian, A., Samadi, A. and Aghaz, M. (2020). Practical Guide to Flow and Sediment Modeling in HEC-RAS, Noavar Publication, 3rd Ed., 272 p.

Azizian, A. and Samadi, A. (2020). 2D Flood Simulation using HEC-RAS 5 Numerical Model, Parsia Publication, 216 p.

Ghadampour, Z. and Talebbeydokhti, N. (2011). Calculation of fractal dimension in meandering rivers using box counting method, 6th National Congress of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

Masoomi, H.R., Gharibreza, M.R. and Motamed, A. (2011). Investigation of Meandering and Morphology Pattern of Hendijan River in Delta Plain Area. Watershed Engineering and Management, 3(2), 102-112.

Mozafari, J., Omid, M.H and Rahimi, H. (2007). Artificial Recharge on the River Beds in Urban Areas (Case Study: Karaj River). Journal of the Iranian Natural Res., 60(1), 53-66.

Yekom Consulting Engineers. (2011). Supplementary studies of the first and second phases of artificial Recharge plan of Shahriar plain, Artificial recharge plan using flood flows of Karaj river, Technical Report, Tehran Regional Water Company.

Vaezipour, H.A., Azhdari Moghaddam, M. and Talebbeydokhti, N. (2010). Investigation of morphological changes in Sistan river, The Second National Conference on Comprehensive Water Resources Management, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman.

Yamani, M., Hosseinzadeh M.M. and Nohegar A. (2007). Hydrodynamics of Talar and Babol rivers and its role in instability and change of their geometric characteristics. Geographical Research Quarterly, 55, 15-33.

Yamani, M. and Sharafi, S. (2012). Geomorphology and effective factors on lateral erosion in Hor Rood River, Lorestan province. Geography and Environmental Planning, 23(1), 15-32.

Yousefi, S., Vafakhah, M., Mirzaei, S. and Tavangar, S. (2013). Sealing degree and meander shape changes in a part of Karoon river using Remote sensing techniques. Iranian Water Researches Journal, 7(13), 79-87.

Rangzan, K., Salehim, B. and Salahshouri, P. (2008). Investigation of changes in the downstream area of Karkheh Dam before and after the construction of the dam using multi-time Landsat images, Geomatic Conference, National Cartographic Center, Tehran.