



Status of exchange flow and water discharge through the opening of Shahid Kalantari Causeway, Lake Urmia

Mohammadreza Gharibreza^{1*}, Ammar Safaie², Mansour Mahdizadeh³

1. Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research, Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran; Email: mr.gharibreza@areeo.ac.ir

2. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology; Email: asafaie@sharif.edu

3. West-Azərbayjan, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran; Email: mehdizadehmansor@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	Research Topic: The exchange flow between the northern and southern basins of Lake Urmia through the opening of the Shahid Kalantari Causeway is a key issue in the lake management; however, the flow discharge has not been measured in the field to date. This study aimed to determine the flow velocity and discharge through the causeway opening between the northern and southern sections of Lake Urmia.
Article history: Received 31 January 2026 Revised 18 February 2026 Accepted 28 February 2026 Available online 21 March 2026	Methods: Hydrographic surveys were conducted at a scale of 1:200, using a scaled rod with an accuracy of one centimeter. Flow velocity and direction were measured at the center of the 17 spans of the causeway at three depths (0.2, 0.5, and 0.8 meters) using a BFM-001 Valeport current meter during the relatively high-water conditions of spring 2025.
Keywords: Urmia Lake, Exchange flow, Kalantari Causeway, Flow velocity.	Results: The study determined a cross-sectional area of 2383.44 m ² , with maximum exchange flow velocities of 26 cm/s and 29 cm/s recorded on 24 and 25 May 2025, respectively. The maximum exchange flow discharge between the northern and southern sides of the causeway reached 2.691 m ³ /s, equating to a total daily exchange volume of approximately 7.59 million m ³ . The dominant current was observed to flow from the southeast (N165°) and northwest (N298°) directions, often with rotational shifts following changes in wind direction. Additionally, the average current speeds were 24.8 cm/s on the southern side and 22 cm/s on the northern side of the causeway.
	Conclusion: The study concluded that wind was the primary driver of the exchange flow during the study period, outweighing factors such as density and temperature variations.

Cite this article: Gharibreza, M., Safaie, A., Mahdizadeh, M (2026). Status of Exchange flow and water discharge through the opening of Shahid Kalantari Causeway, Lake Urmia. *Journal of Ecohydrology*, 13(1), 1208-1219. <https://doi.org/10.22059/ije.2026.408497.1900>



© Mohammadreza Gharibreza, Amar Safaie, Mansour Mahdizadeh.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ije.2026.408497.1900>

Abstract

Introduction

Lake Urmia is one of the unique lakes, whose limnological, hydrological, hydrodynamic, and physicochemical characteristics are of interest to researchers and decision-makers.

Human interventions in the watersheds and within Lake Urmia have led to dramatic changes in the exchange flow regime between different parts of the lake. One of the major interventions carried out in Lake Urmia was the construction of the Shahid Kalantari Causeway in 2008. Although the causeway provides important transportation and economic benefits, it has also produced several undesirable environmental impacts. Among these effects are an increase in the sedimentation rate and disruption of the lake hydrodynamic regimes, resulting alterations in the exchange flow between the northern and southern basins of the lake. Consequently, understanding the exchange flow through the causeway opening has become an important concern for managers, decision-makers, and researchers seeking scientific insight into the hydrodynamic changes occurring in the lake. Studies have shown a close relationship between river discharges, water level, and the pattern of flow exchanges in Lake Urmia (Gharibreza et al., 2022; Hesari and Zeinalzadeh, 2019). For example, Gharibreza et al. (2022) indicated the relationship between precipitation, Rozechay River flow, and Lake Urmia level from 1983 to 1996, with an emphasis on 1993 and 1997, when the Lake Urmia water level reached its highest level. Further, Sofi et al. (2020) stated there was a significant correlation between the independent variables (temperature, precipitation, river discharge, and water table) and lake water level fluctuations, indicating the high validity and strength of the linear relationship between water level and the degree of influence of these variables on the independent variables. Among the rivers to the west of the lake, the Nazluchai and Shahrchay, with an annual flow of 220 to 250 million cubic meters, play a significant role in supplying the lake with water. The Zarrineh Rud, in the south of the lake, drains 1.5 to 2 billion cubic meters of water into the lake annually. The simulation of wind direction on flow distribution (Dadashzadeh et al. 2019) demonstrated variable flow and salinity conditions in the surface and near-bed layers, the prevailing wind direction over parts of Lake Urmia. The results of the WRF wind field evaluation show that there are generally two dominant directions of wind blowing; consequently, wave occurrence on the surface of the lake. Therefore, the direction is north/northwest to southeast, and also the direction of southeast to northwest. The trends indicate that southeast winds are stronger than northwest winds. Review of literature revealed that measurements of flow discharge have not been carried out at the surface and under the Shahid Kalantari bridge. Therefore, achieving the velocity and water discharge between the north and south of Lake Urmia from the opening of the Shahid Kalantari Bridge span was the goal that this study implemented to reach. The literature review found that, although the topic is important, there has been no research or fieldwork done to directly measure the exchange of currents and the flow of water from the opening section of the Shahid Kalantari Bridge. In other words, while the issue is recognized as significant, it hasn't been investigated through actual studies or measurements. The hyper-saline water, limitations on the use of current meter instruments, and lack of experts in fieldwork contribute to this gap in research on Urmia Lake.

Method

As mentioned, the area of the opening section of the Shahid Kalantari Bridge has not measured through field operations. Therefore, this study innovatively estimated the cross-sectional area where conventional echo sounders are prone to serious errors due to the hypersaline nature of Urmia Lake water. Hydrography of the opening section was carried out in a scale of 1:200 using a scaled rod with an accuracy of one centimeter. Measurements of the velocity and direction of flow were carried out at the center of the 17 spans of the Shahid Kalantari causeway at three levels of 0.2h, 0.5h, and 0.8h depth using a BFM-001 Valeport model device, and in the spring of 1404 to record the flow during relatively high-water conditions of spring 2025.

Results

The results showed that the cross-sectional area along the 1220 m length of the surveyed section was 2383.44 square meters. The maximum exchange flow velocity of 17 sections was obtained on 24 and 25 May 2025 as 26 and 29 cm/s, respectively. Accordingly, the maximum exchange flow discharge between the northern and southern sections of the lake was 691.2 m³/s, and the daily potential exchange volume was 59.7 million m³. This study emphasizes that wind is the most important driving force of exchange flow during the study period compared to density and temperature changes. The dominant flows occurred from the southeast (N165°) and northwest (N298°), respectively, during the day and part of the hours following changes in the wind direction, with the flow becoming rotational. The average flow velocities in the southern and northern sides of the Shahid Kalantari causeway were 24.8 and 22 cm/s, respectively. Results indicated that the distribution of submerged saline formations has increased considerably and plays an important role in restricting water circulation in Lake Urmia.

Conclusion

This research revealed that the wind-driven water flow along the southeast-northwest axis of Lake Urmia never ceases; however, the flow pattern undergoes local changes where the water enters from the river mouths. Other driving forces for the occurrence of currents, including differences in water salinity and density, and the effects of flood outflows entering the lake, are of lesser importance during the study period. The conclusion emphasizes the necessity of securing lake's environmental water allocations. Estimates of the water requirement are 3.8 billion cubic meters to compensate for evaporation losses and over four billion cubic meters to restore the lake to its ecological level. This amount of water is about 10 percent of the country's manageable water resources, making it highly challenging to achieve. Therefore, a practical proposal to maintain flow on the lake surface is to create a ring or water belt to connect the river mouths, redistribute water resources in a managed way, and prevent the increasing evaporation during recent drought years.

وضعیت جریان و دبی تبدلی از میان گذر پل شهید کلانتری دریاچه ارومیه

محمد رضا غریب‌رضا^{۱*}، عمار صفایی^۲، منصور مهدی‌زاده^۳

۱. دانشیار رسوب‌شناسی کاربردی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: mr.gharibreza@areeo.ac.ir
۲. استادیار گروه مهندسی آب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف. رایانامه: asafaie@sharif.edu
۳. کارشناس پژوهشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: mehdzadehmansor@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

عنوان پژوهش: دبی جریان تبدلی بین دو سوی پل شهید کلانتری موضوع کلیدی در مدیریت دریاچه ارومیه به شمار می‌رود که تا کنون به روش میدانی اندازه‌گیری نشده است. دستیابی به سرعت و دبی جریان بین شمال و جنوب دریاچه ارومیه هدف این پژوهش بود.

نوع مقاله: پژوهشی

مواد و روش: هیدروگرافی مقطع میان‌گذر با مقیاس ۱:۲۰۰ با استفاده از اشل مدرج با دقت یک سانتی‌متر به‌انجام رسید. اندازه‌گیری سرعت و جهت جریان از میانه ۱۷ دهانه پل شهید کلانتری و در سه تراز ۰/۲، ۰/۵ و ۰/۸ عمق با استفاده از دستگاه BFM-001 مدل Valeport و در بهار ۱۴۰۴ برای ثبت جریان در شرایط پرابی انجام شده است.

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۱۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۱/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/۰۱

نتایج: نتایج نشان داد مساحت نیم‌رخ عمقی ۲۳۸۳/۴۴ مترمربع است. بیشینه سرعت جریان تبدلی در روزهای سوم و چهارم خردادماه به ترتیب ۲۶ و ۲۹ سانتی‌متر در ثانیه به دست آمد. بیشینه دبی جریان تبدلی بین بخش‌های شمالی و جنوبی پل ۶۹۱/۲ مترمکعب در ثانیه و پتانسیل روزانه ۵۹/۷ میلیون مترمکعب است. جریان‌های غالب به ترتیب درصد وقوع از جنوب شرق ($N165^\circ$) و شمال غرب ($N298^\circ$) طی شبانه‌روز و یا پاره‌ای از ساعت‌ها پس از تغییر وزش باد به صورت چرخشی مشاهده شد. به‌علاوه، متوسط سرعت جریان‌ها در سطح جنوب و شمال پل ۲۴/۸ و ۲۲ سانتی‌متر در ثانیه به دست آمده است.

کلیدواژه‌ها:

دریاچه ارومیه،

سرعت جریان،

دبی آب تبدلی،

میان‌گذر پل،

راستای جریان.

نتیجه‌گیری: این پژوهش تأکید دارد که وزش باد نسبت به تغییرات چگالی و دما، مهم‌ترین نیروی پیشران جریان تبدلی در مدت داده‌برداری در این مطالعه به شمار می‌رود. احداث میان‌گذر شهید کلانتری با افزایش طول خط ساحل باعث کاهش سرعت جریان در کرانه‌ها و افزایش تبادل جریان از بازشدگی شده است.

استناد: غریب‌رضا، محمد رضا؛ صفایی، عمار؛ مهدی‌زاده، منصور (۱۴۰۵). وضعیت جریان و دبی تبدلی از میان گذر پل شهید کلانتری دریاچه ارومیه مجله

اکوهیدرولوژی، ۱۳(۱)، ۱۲۰۸ - ۱۲۱۹.

<https://doi.org/10.22059/ije.2026.408497.1900>

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران. © محمد رضا غریب‌رضا، عمار صفایی، منصور مهدی‌زاده.



مقدمه

دریاچه ارومیه به عنوان دومین دریاچه فوق شور جهان شناخته می‌شود که در یک فرورفتگی زمین‌ساختی در شمال غرب ایران قرار دارد. حوضه آبخیز دریاچه ارومیه برابر ۵۲ هزار کیلومتر مربع مساحت دارد و ۱۳ رودخانه دائمی و موقت به آن زهکش می‌شود. سطح آب این دریاچه بین سال‌های ۱۳۶۱ و ۱۳۷۴ تغییرات شدیدی را تجربه کرد و بالاترین سطح آن در سال ۱۳۷۴ به میزان ۱۲۷۷/۹۴ متر و کمترین تراز آن در سال‌های اخیر به مرز خشکی رسیده است (غریب‌رضا و همکاران، ۲۰۲۲). همچنین، مطالعات جغرافیای دیرینه نشان از بیشینه وسعت این دریاچه در دوره کواترنر و برابر ۱۳۹۰۰ کیلومتر مربع داشته که نسبت به سال ۱۳۹۰ حدود ۱۰ هزار کیلومتر مربع بیشتر بوده است (یمانی و همکاران، ۲۰۱۵). تداخلات انسانی در حوضه‌های آبخیز و در سطح دریاچه ارومیه تغییرات شگرفی در رژیم جریان‌های تبدلی بین بخش‌های مختلف دریاچه ارومیه ایجاد کرده است. یکی از تداخلات مهم انجام‌شده در دریاچه ارومیه، ساخت و راه‌اندازی پل شهید کلانتری در سال ۱۳۸۷ بوده است. کارکردهای بی‌شمار این پل به‌ویژه در شرایط کنونی بر کسی پوشیده نیست، ولی اثرات نامطلوب در محل زیادی برای این پل برشمرده‌اند. از جمله این اثرات افزایش نرخ رسوب‌گذاری و اخلاص در چرخه هیدرولوژیکی جریان تبدلی بین شمال و جنوب پل است. این موضوع هم دغدغه مدیران و تصمیم‌سازان و هم محققان و دانشمندان کشور است که به سؤال و مشکل پرچالش پیش‌آمده پاسخ علمی داده شود. از این‌رو، این پژوهش با هدف‌گذاری دستیابی به این پاسخ طراحی شده است.

پیشینه پژوهش

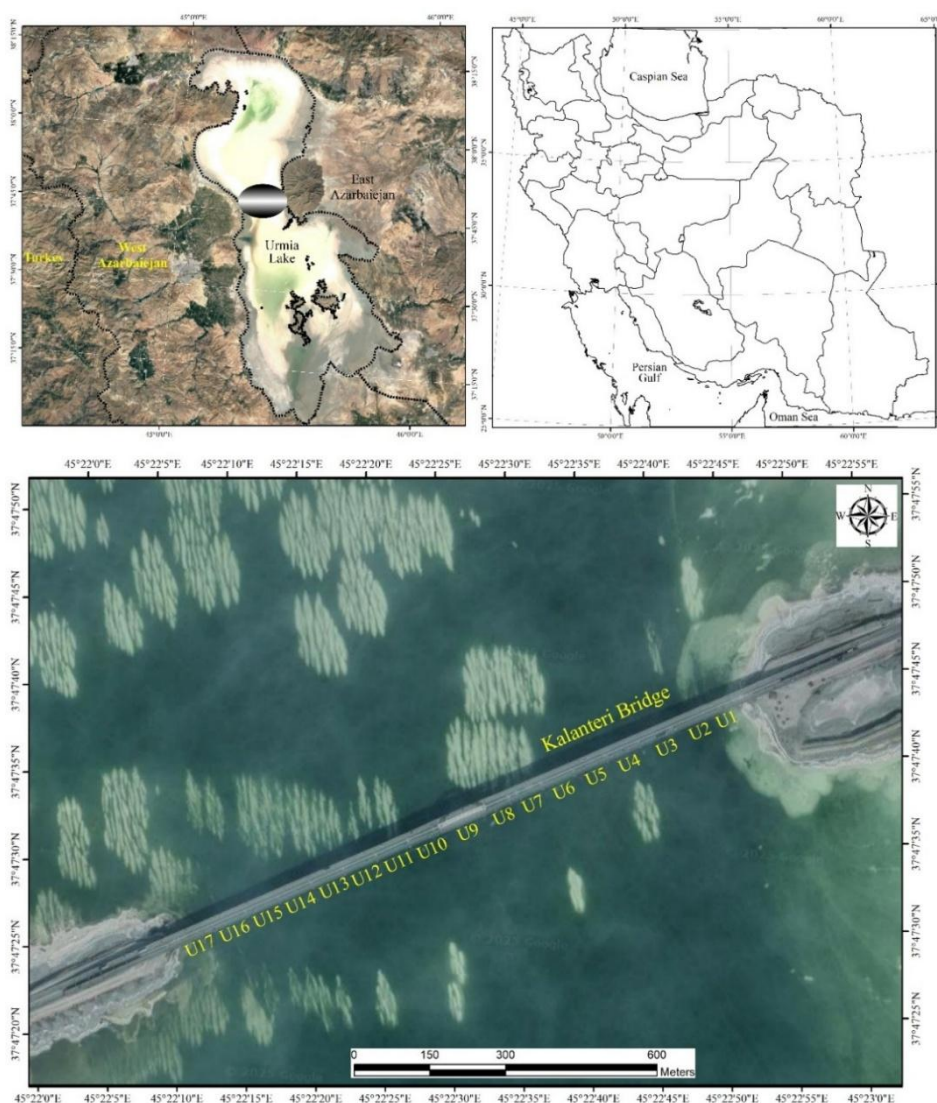
تحقیقات انجام‌شده نشان از ارتباط تنگاتنگ بین آورد رودخانه‌ها و سطح و جریان آب در دریاچه ارومیه و الگوی تبادلات جریان‌های درون آن دارد (غریب‌رضا و همکاران، ۲۰۲۲ و حساری و زینالزاده، ۱۳۹۸). به طور مثال، غریب‌رضا و همکاران (۲۰۲۲) به‌خوبی رابطه بین میزان بارش، جریان رودخانه روضه‌چای و سطح دریاچه ارومیه را بین سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۵ ثابت کرده‌اند. این رابطه به‌ویژه بین سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۷۶ و طی بیشینه بالا آمدن تراز دریاچه ارومیه برقرار بوده است. این مهم در مطالعه صوفی و همکاران (۲۰۲۰) نیز تأکید شده است که در آن بین متغیرهای مستقل (دما، بارش، دبی رودخانه و سطح ایستابی) و نوسان‌های سطح آب دریاچه، همبستگی معناداری (در سطح ۰/۰۵) بوده و نشان‌دهنده اعتبار و قدرت بالای رابطه خطی بین تراز آب و میزان تأثیرپذیری این متغیر از متغیرهای مستقل است. از بین رودخانه‌های غرب این دریاچه، نازلوچای و شهرچای با جریان سالانه ۲۲۰ تا ۲۵۰ میلیون مترمکعب، نقش قابل توجهی در تأمین آب دریاچه دارند. زرينه‌رود در جنوب دریاچه، سالانه ۱/۵ تا ۲ میلیارد مترمکعب آب را به درون دریاچه زهکش می‌کند. از طرفی، تأمین حقابه کامل دریاچه ارومیه در تعارض با حقابه سایر کاربری‌ها است که به موجب آن، نیاز به کاهش حدود ۲۰ تا ۲۵ درصدی حقابه بخش زراعت آبی در استان‌های آذربایجان غربی و شرقی است. این در حالی است که در دهه ۱۳۹۰ سطح زیر کشت و تبدیل زراعت به باغ افزایش یافته است (مقدسی و همکاران، ۲۰۱۹). بر اساس تحقیقات معماریان‌سرخابی و کردپور (۲۰۲۴) در اواخر سال ۲۰۱۵، به دلیل کاهش میزان آب ورودی به دریاچه ناشی از بهره‌برداری ۳۴ سد، دریاچه ارومیه به کمترین مساحت خود یعنی ۱۹۶۲ کیلومتر مربع رسیده است. نتایج تحقیق ایشان نشان داده سطح کشاورزی بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۱ افزایش چشمگیری یافته است. تغییرات ذخیره آب زیرزمینی حوضه آبخیز ارومیه با استفاده از ماهواره‌های بازتابی گرانشی و آزمایش آب و هوا و همچنین، مدل هیدرولوژیکی محاسبه شد که روند کاهش ۰/۴۳ را در سال نشان داد. در تحقیق همتی و همکاران (۲۰۲۰) عنوان شده که سرعت و جهت باد از پارامترهای مهمی است که نقش اساسی را در الگوهای چرخشی جریان به‌ویژه در لایه سطحی آب و توزیع شوری دریاچه در هر دو حالت بدون میان‌گذر و با آن دارد. همچنین، شبیه‌سازی الگوی باد و جریان نشان داد به دلیل جهت باد و وجود میان‌گذر، جهت جریان و توزیع شوری در لایه‌های سطحی و نزدیک بستر متفاوت خواهد بود. در مطالعه و مدل‌سازی‌ای که توسط داداش‌زاده و همکاران (۱۳۹۹)، گلباد حاکم بر نقاط مختلف دریاچه ارومیه ارائه شده است، نتایج ارزیابی میدان باد WRF نشان می‌دهد عموماً دو جهت غالب برای وزش باد و به موجب آن وقوع موج در سطح دریاچه وجود دارد که شامل جهت شمال/شمال‌غرب به جنوب شرق و نیز جهت جنوب شرق به شمال غرب است. روندها نشان از قوی‌تر بودن بادهای جنوب شرقی نسبت به بادهای شمال غربی دارند. در جمع‌بندی مرور بر

منابع می‌توان مدعی شد که در سطح و زیر پل میان گذر شهید کلانتری تا کنون جریان سنجی و دبی جریان انجام نشده و این پژوهش با هدف پاسخ به این خلأ در علم و اطلاعات پایه دریاچه ارومیه انجام شده است.

روش‌شناسی پژوهش

معرفی منطقه مطالعه شده

پل شهید کلانتری روی دریاچه ارومیه واقع شده و قسمتی از آزادراه تبریز - ارومیه است. این پل ۱۷۰۹ متر طول دارد که ۱۲۷۶ متر آن در داخل دریاچه ارومیه اجرا شده و حدود ۳۸۵ متر آن در دو طرف پل قرار دارد. طول این پل با احتساب کوله‌های متصل‌کننده آن به خاکریز معادل ۲ کیلومتر است. شیب طولی پل به علت عبور راه‌آهن به ۱/۲ درصد محدود شده و ارتفاع آزاد در زیر دهانه وسط، جهت عبور شناورها، در پرآب‌ترین وضعیت دریاچه حدود ۱۰ متر است. این پل دارای ۱۲ دهانه ۷۰ متری و ۶ دهانه ۵۰ متری است (شکل ۱) که در این پژوهش از شرق به غرب به نام U1 تا U17 نام‌گذاری شدند.



شکل ۱. موقعیت دهانه‌های ۱۷ گانه بازشدگی میان گذر پل شهید کلانتری

هیدروگرافی بازشدگی میان گذر

همان گونه که اشاره شد، تا کنون مساحت مقطع بازشدگی زیر پل شهید کلانتری از طریق عملیات میدانی محاسبه نشده است. از این رو، این پژوهش به طور نوآورانه سنجش مقطع را مورد بررسی قرار داد، چرا که به دلیل غلظت بالای آب، استفاده از اکوساندرهای عمق یاب با خطای جدی روبه‌رو است. در این پژوهش، عملیات هیدروگرافی در شرایط آرامش و بدون تلاطم آب انتخاب و در راستای دهانه‌های ۱۷ گانه پل میان گذر با فواصل متوسط ۲۰ متر و به تعبیری به مقیاس ۱:۲۰۰ با استفاده از اشل مدرج با دقت یک سانتی‌متر انجام شد. هم‌زمان، مختصات نقاط عمق‌سنجی ثبت و پروفیل‌برداری در نقاطی مواجه شده با جزایر مغروق تکرار شده است. شایان یادآوری است که اشل نصب‌شده در زیر پل به دلیل خوردگی شدید، غیرخوانا و قابل استناد تشخیص داده نشد. لذا، تراز عمقی‌سنجی به طور محلی و فقط برای تعیین و ترسیم نیم‌رخ مقطع زیر پل مورد استفاده قرار گرفته است.

جریان‌سنجی

این عملیات پس از انجام هیدروگرافی و تعیین شدن وضعیت عمقی در هر یک از ۱۷ دهانه میان گذر پل، با استفاده از جریان‌سنج BFM-001 (مدل Valeport) و در میانه هر دهانه و سه عمق 0.2h, 0.5h, 0.8h به انجام رسید. برای انجام این مهم، قایق ابتدا لنگر شده و پس از چرخش و قرارگیری نوک قایق در مقابل جریان در اعماق یادشده، سرعت‌سنجی انجام شده است. از طرفی، عمق کم مقاطع نمونه‌برداری اجازه داد که دستگاه سرعت‌سنج به طور دستی و مطابق اشل یا لوله مدرج آن به درستی در عمق مد نظر قرار گیرد. همچنین، برای صحت انجام عملیات جریان‌سنجی و عدم نفوذ نمک در پروانه دستگاه و ایجاد اختلال در ثبت جریان‌های با سرعت کم، پس از هر جریان‌سنجی، دستگاه با استفاده از یک آب‌پاش دستی به طور کامل شست‌وشو شد (شکل ۳). شایان یادآوری است، عملیات جریان‌سنجی روزانه دو بار به صورت رفت و برگشت در دهانه‌های ۱۷ گانه انجام شده است که در آن هم تغییرات سرعت و جهت جریان طی روز مورد تدقیق قرار گیرد.

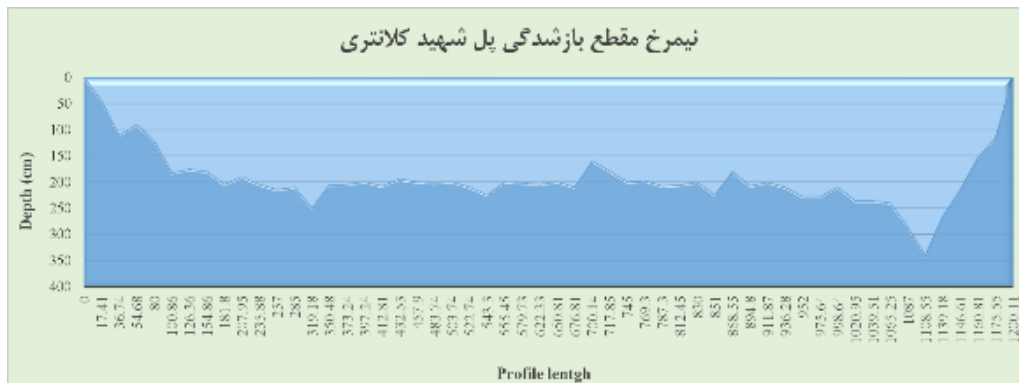


شکل ۲. به کارگیری دستگاه جریان‌سنج BFM-001 در سنجش سرعت جریان در دهانه‌های ۱۷ گانه میان گذر پل شهید کلانتری

یافته‌های پژوهش

مساحت مقطع بازشدگی پل شهید کلانتری

یکی از نتایج مهم این پژوهش که برای اولین بار در پژوهش‌های دریاچه ارومیه به دست آمده، دستیابی به مساحت دقیق مقطع بازشدگی پل شهید کلانتری در فصل پرآبی (خرداد ۱۴۰۴) بوده است. به این ترتیب، مساحت نیم‌رخ مورد بررسی ۲۳۸۳/۴۴ مترمربع به دست آمد (شکل ۳).



شکل ۳. نیمرخ هیدروگرافی مقطع بازسنگی پل میان گذر شهید کلانتری

سرعت و دبی جریان تبدلی

نتایج عملیات میدانی در بهار ۱۴۰۴ نشان داد بادهای پیشران در دو راستای $N289^\circ$ و $N165^\circ$ به ترتیب از شمال غرب و جنوب شرق جریان تبدلی از میان گذر پل شهید کلانتری ایجاد کرده‌اند. نتایج نشان داد بیشینه و متوسط سرعت جریان‌های تبدلی (سطحی تا عمقی) از میان گذر پل شهید کلانتری در بهار ۱۴۰۴، ۲۹ و ۱۰ سانتی‌متر در ثانیه بوده است. با احتساب مساحت $2383/44$ مترمربعی مقطع میان‌گذر، دبی بیشینه و متوسط تبدلی برابر $691/2$ مترمکعب در ثانیه و $250/26$ مترمکعب در ثانیه رقم می‌خورد. بر این اساس، پتانسیل جریان تبدلی روزانه‌ای برای بیشینه و متوسط سرعت جریان‌ها برابر $59/7$ و $21/62$ میلیون مترمکعب متصور است.

در این پژوهش علاوه بر جریان تبدلی زیر پل، وضعیت جریان بخش‌های شمالی و جنوبی پل در شعاعی که امکان ناوبری قایق وجود داشت، مورد بررسی قرار گرفت. به همین ترتیب، متوسط، بیشینه و کمینه سرعت جریان‌ها در جنوب میان گذر پل شهید کلانتری دریاچه ارومیه در بهار ۱۴۰۴ به ترتیب ۸، $2/48$ و یک سانتی‌متر در ثانیه و متوسط، بیشینه و کمینه سرعت جریان‌ها در سطح شمال میان گذر پل به ترتیب $13/2$ ، ۲۲ و $8/8$ سانتی‌متر در ثانیه رقم خورده است. نتایج نشان از وجود جریان‌های با سرعت بیشتر در شمال پل نسبت به جنوب پل دارد (شکل ۴).

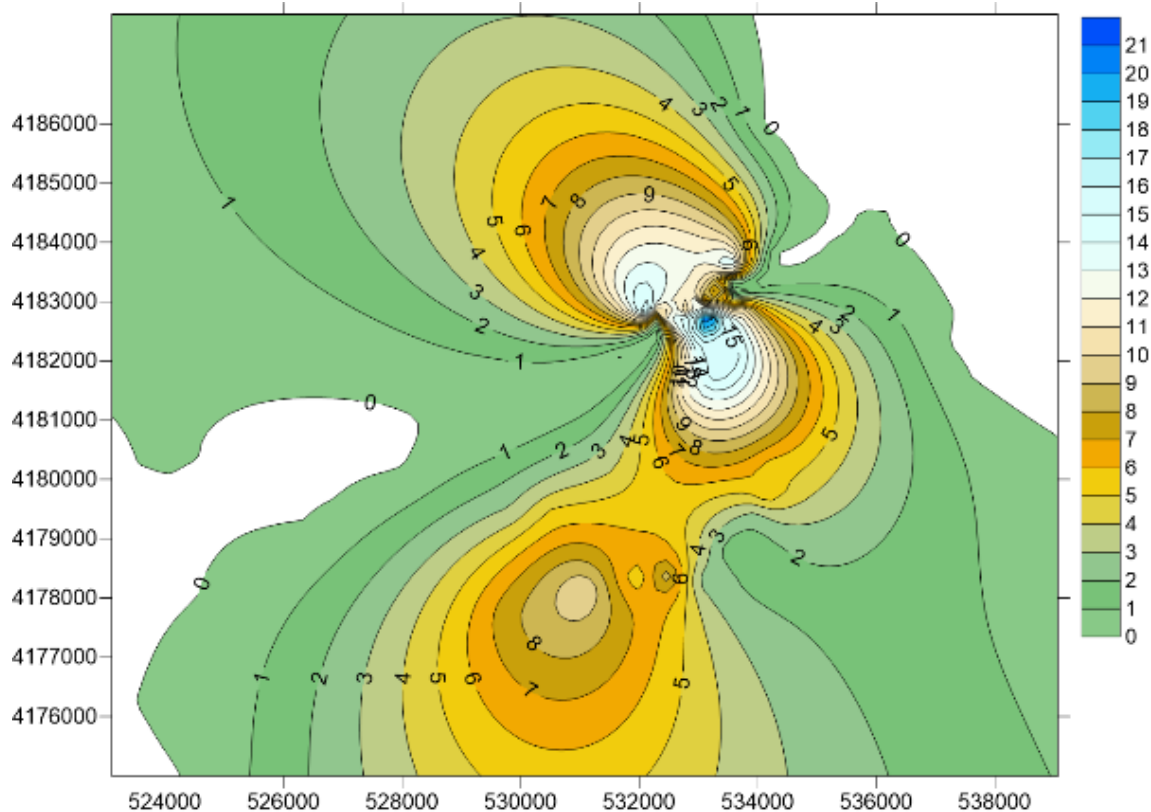
نتایج نشان داد روند کاهنده سرعت جریان از سطح به عمق ستون آب در غالب دهانه‌های ۱۷ گانه برقرار بوده است (شکل‌های ۵ و ۶). از جمله دستاوردهای این پژوهش، شناسایی جریان‌های عمقی پرسرعت نسبت به جریان‌های سطحی است. اندازه‌گیری‌ها نشان داد سرعت جریان عبوری در برخی دهانه‌ها به خلاف انتظار روند کاهنده سرعت به سمت عمق، برقرار نبوده و سرعت جریان از راستای کانال‌های مغروق بین جزایر نمکی بستر پیروی می‌کند و با همگرا شدن جریان در اعماق، جریان پرسرعتی شکل می‌گیرد. این شرایط در دور رفت اندازه‌گیری سوم خرداد در دهانه‌های U4, U5, U7, U9 و در دور برگشت اندازه‌گیری در دهانه U8 مشاهده و در روز چهارم خرداد این شرایط برقرار نبود. از طرفی در روز سوم خرداد، بیشینه سرعت جریان در لایه میانی ستون آب در دهانه‌های U13, U14, U17 و در روز چهارم خرداد در دهانه‌های U4, U15, U16, U17 به ثبت رسید.

بحث

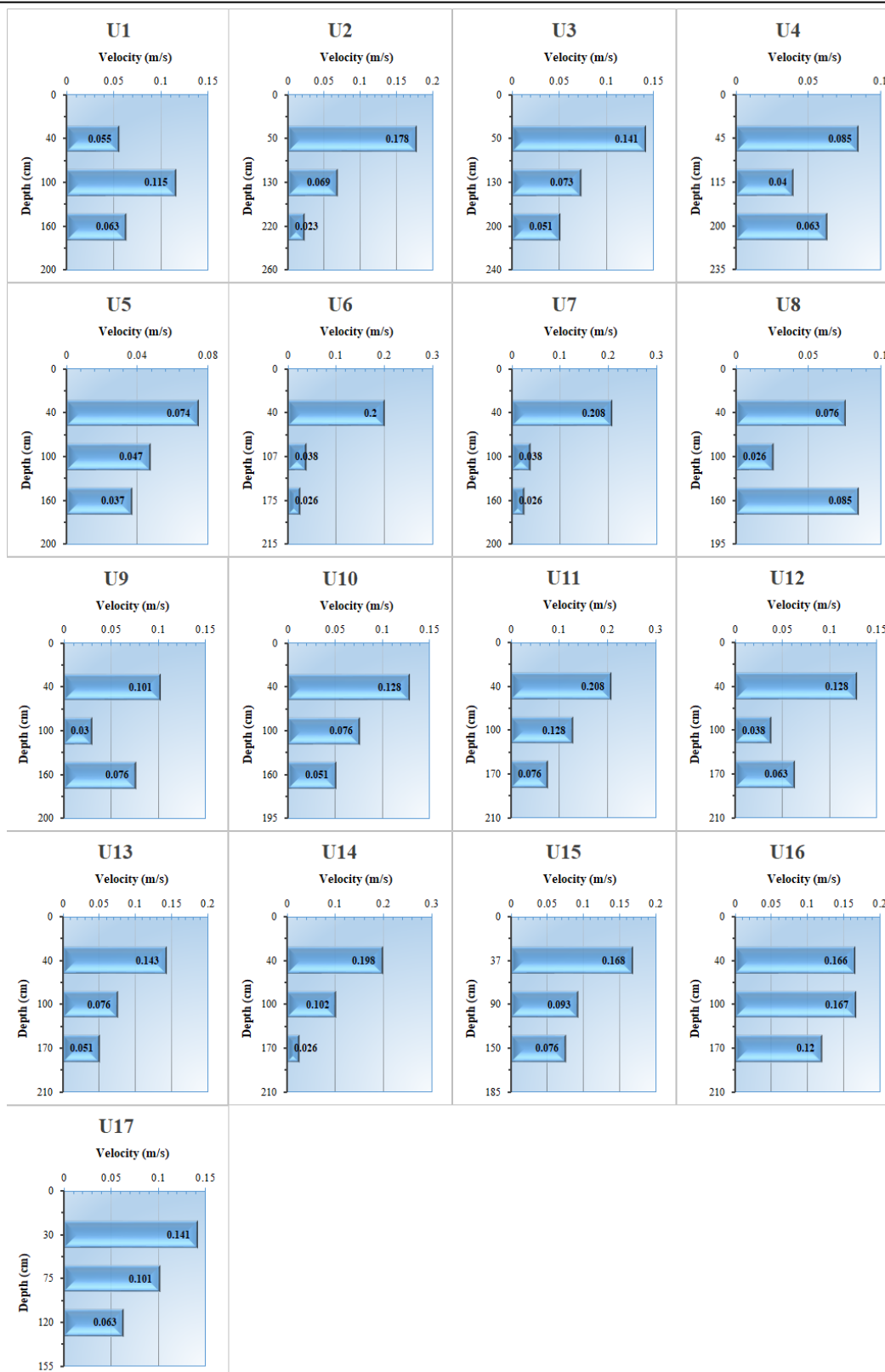
بررسی منابع (بیاتی و دانش یزدی، ۲۰۲۱؛ شریفی و همکاران، ۲۰۱۸؛ آذرافزا و مختاری، ۲۰۱۳؛ حسنی و همکاران، ۲۰۱۸) نشان داد تا کنون جریان‌سنجی مشابهی از منظر تراکم و تدقیق وضعیت جریان تبدلی در سه عمق نیمرخ جریان از زیر پل شهید کلانتری و سطح دریاچه انجام نشده است. به تعبیری، از منظر جریان‌سنجی، پژوهش حاضر اولین عملیات میدانی کامل به شمار می‌رود که در آن جریان در سه عمق و در ۱۷ دهانه پل انجام شده است. بر اساس نتایج به دست آمده و مشاهدات میدانی، مهم‌ترین نیروی پیشران وقوع جریان‌های تبدلی بین شمال و جنوب پل شهید کلانتری طی سال جهت و سرعت وزش باد است که با نتایج پژوهش داداش‌زاده و همکاران (۱۳۹۹) در تطابق کامل است. همچنین، سایر نیروهای پیشران وقوع جریان از جمله اختلاف میزان شوری و چگالی آب و اثرات خروج جریان‌های سیلابی رودخانه‌های منتهی به دریاچه در درجه بعدی اهمیت قرار دارند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

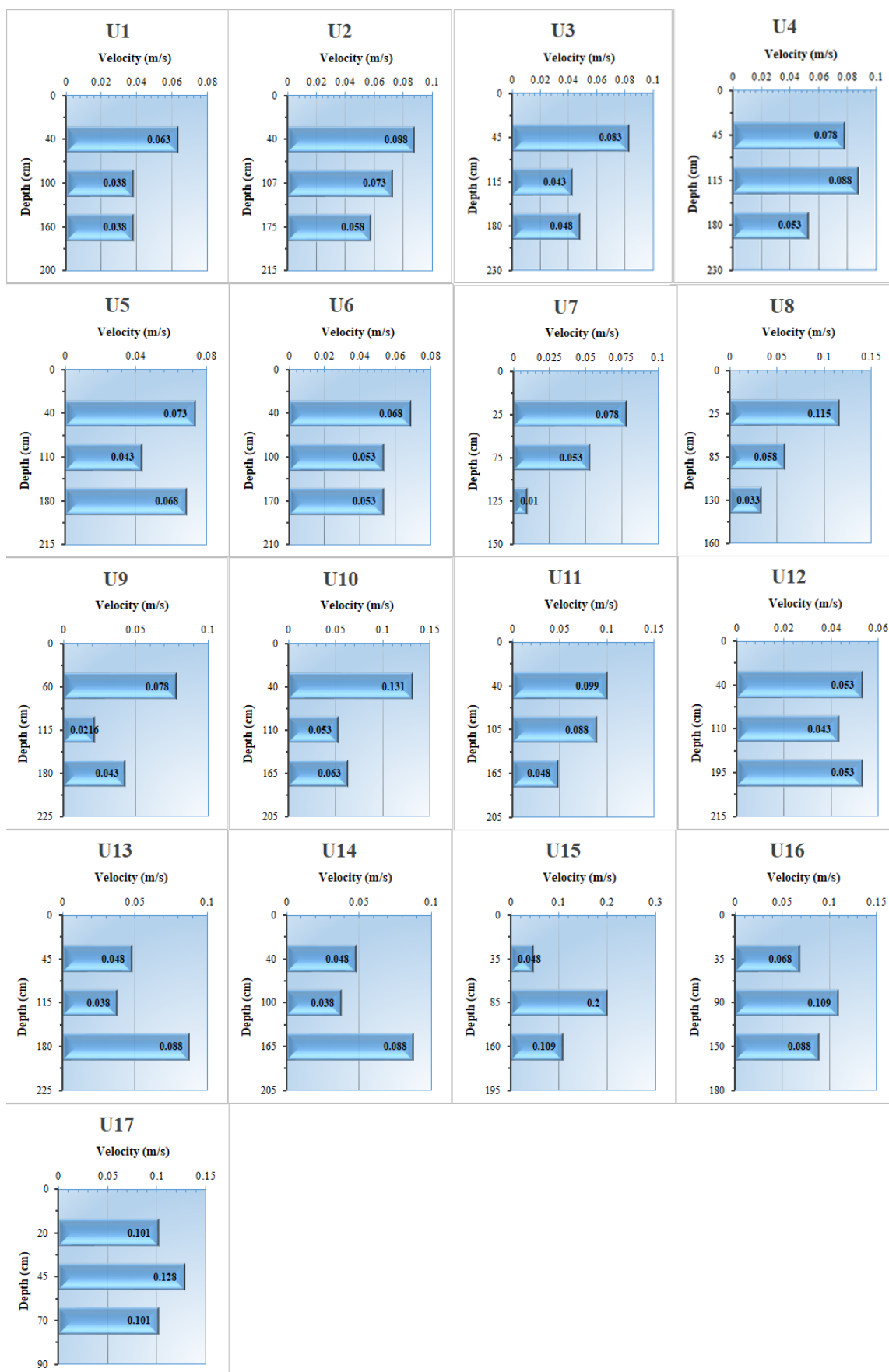
شواهد مورفولوژیکی بستر و راستای جزایر نمکی ($N165^\circ$) موجود در دریاچه ارومیه نشان می‌دهد تبادل جریان در راستای شمال غرب - جنوب شرق همیشه برقرار است و عوارضی مانند احداث پل شهید کلاتری مانع عدم وقوع آن نبوده، بلکه موجب کاهش سرعت جریان و ایجاد شرایط ترسیب رسوب و بار محلول (هالیت و سایر نمک‌ها) می‌کنند. سرعت جریان‌ها در دو سوی پل بیانگر وجود حداقل سرعت جریان‌ها به میزان یک سانتی‌متر بر ثانیه است و به دلیل مقیاس و ابعاد دریاچه ارومیه هیچ‌گاه شرایط یک مرداب را نخواهد داشت. از طرفی، در چاله‌های توپوگرافیکی موجود در سطح آن وضعیت آرامش کامل در فصل کم‌آبی امکان‌پذیر است. آنچه مسلم است و از مرحله پیشنهاد به ضرورت تغییر کرده است، رهاسازی حقابه زیست‌محیطی دریاچه است. برآوردها از نیاز آبی $3/8$ میلیارد مترمکعب به منظور فائق آمدن بر میزان تبخیر و حدود چهار میلیارد مترمکعب آب برای بازگشت دریاچه به تراز اکولوژیک است. این مقدار آب حدود ۱۰ درصد آب قابل مدیریت کشور بوده و دستیابی به آن بسیار دشوار است. لذا پیشنهاد عملی برای برقراری جریان در سطح دریاچه، ایجاد حلقه یا کمربند آبی برای ارتباط مصب رودخانه‌ها و بازتوزیع منابع آب با روش مدیریت شده و جلوگیری از تبخیر فزاینده سال‌های خشکسالی اخیر است.



شکل ۴. نقشه سرعت‌سنجی (سانتی‌متر در ثانیه) به‌دست‌آمده از شمال، جنوب و زیر پل شهید کلاتری در اندازه‌گیری‌های بهار ۱۴۰۴



شکل ۵. نمودار عمقی جریان سنجی در مقاطع ۱۷ گانه میان‌گذر پل شهید کلاتنری در سوم خرداد ۱۴۰۴، دور برگشت



شکل ۶ نمودار عمقی جریان سنجی مقاطع ۱۷ گانه میان گذر پل شهید کلاتری در چهارم خرداد ۱۴۰۴، دور رفت

- 1 Azarafza, M., Mokhtari, M. (2013). "Assessment of Salinity Changes in Lake Urmia Due to Drought Using Remote Sensing." *Dry Region*, 3(2), 1-14. [In Persian].
- 2 Hasanlu, M., Jamshidi, M., Sattari, M. (2018). "Preparation of Salinity Map of Lake Urmia Using Support Vector Regression and Landsat-8 Images." *Hydrogeomorphology*, 5(14), 43-65. [In Persian].
- 3 Hossari, B., Zeinalzadeh, K. (2019). "The Role of Changes in the Average Discharge of Rivers in the Lake Urmia Catchment Area in the Decline of the Lake's Water Level." *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(2), 437-447. doi:10.22059/ijswr.2018.257124.667905. [In Persian].
- 4 Soufi, M., Alijani, B., Borna, R., Asadi, F. (2020). "Hydro-Climatic Modeling of Lake Urmia Water Level Fluctuations." *Iranian Water Resources Research*, 16(1), 380-393. [In Persian].
- 5 Moghaddasi, M., Morid, S., Delavar, M., Hosseini Safa, H. (2019). "Challenges and Conflicts between Agricultural Water Supply and Environmental Water Rights in the Lake Urmia Catchment Area." *Iranian Water Resources Research*, 15(2), 26-38. [In Persian].
- 6 Hemmati, M., Ahmadi, H., Hamidi, S. (2020). "Three-Dimensional Numerical Simulation of the Effect of Wind Direction on Circulation Patterns and Salinity of Flow in Lake Urmia." *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering*, 10(3), 22-33. doi:10.22125/iwe.2020.107016. [In Persian].
- 7 Yamani, M., Moghimi, E., Lak, R., Jafarbigloo, M., Salehipour Milani, A. (2015). "Reconstruction of Paleo-Levels of Lake Urmia during the Quaternary by Studying Lake Terraces." *Physical Geography Research*, 47(1), 1-19. doi:10.22059/jphgr.2015.53675. [In Persian].
- 8 Dadashzadeh, M., Parsa, J., Mojtahedi, A. (2020). "Study of the Interaction between Lake Urmia Wave Patterns and the Causeway Using Meteorological and Computational Fluid Dynamics Models." *Oceanography*, 11, 49-61. [In Persian].
- 9 Bayati, M., & Danesh-Yazdi, M. (2021). Mapping the spatiotemporal variability of salinity in the hypersaline Lake Urmia using Sentinel-2 and Landsat-8 imagery. *Journal of Hydrology*, 595, 126032. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126032
- 10 Gharibreza, M., Mehdizadeh, M., Masoumi, H., Dashte-Bozorg, N. A., & Lotfinasabasl, S. (2022). Ecological risk assessment of the riverine and deltaic environments (Rozechai River, Urmia Lake, Iran), using sediment quality indices. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(6), 447. doi:10.1007/s10661-022-10124-6
- 11 Memarian Sorkhabi, O., & Kurdpour, I. (2024). Assessing the impact of dams and unsustainable agricultural development on Lake Urmia drying up using multi satellite sensor and deep learning. *Sustainable Water Resources Management*, 10(6), 195. doi:10.1007/s40899-024-01165-5
- 12 Sharifi, A., Shah-Hosseini, M., Pourmand, A., Esfahaninejad, M., & Haeri-Ardakani, O. (2018). *The Vanishing of Urmia Lake: A Geolimnological Perspective on the Hydrological Imbalance of the World's Second Largest Hypersaline Lake* (pp. 1-38). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.