

Technical Note**A Review of Hydraulic Principles of River Water Intake: Focusing on Sediment Control without Submerged Vanes****Nasrin Khodamoradi Vatan¹✉, Hojjat Ahmadi²****Corresponding Author:** 1- Ph.D. Student in Water Science and Engineering – Hydraulic Structures, Department of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

2- Professor, Department of Water Science and Engineering – Hydraulic Structures, Department of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

(✉ **Corresponding Author:** n.khodamoradi@urmia.ac.ir)

ARTICLE INFO	HOW TO CITE THIS ARTICLE
Received: 25 April 2026	Khodamoradi Vatan, N., Ahmadi, H., (2026). A review of hydraulic Principles of river water intake: focusing on sediment control without submerged vanes. V.27, No.102, P: 17-44
Revised: 6 June 2026	
Accepted: 2 August 2026	
Available Online: 31 August 2026	https://doi.org/ 10.22092/idser.2026.372544.1646

Extended Abstract**Introduction**

River intakes constitute critical hydraulic infrastructure for sustainable water resource management. A primary challenge in the design and operation of these structures is sediment management, as excessive sedimentation significantly impairs storage capacity and operational efficiency. The intake angle is a pivotal geometric parameter governing flow patterns and sediment transport mechanisms, exerting a substantial influence on the sedimentation process within the river–intake system. The present study provides a systematic literature review covering an 81-year period (1944–2025). We synthesized findings from 132 peer-reviewed articles sourced from reputable domestic and international scientific databases. Following a comprehensive thematic classification, the literature was analyzed using the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) framework. Conceptual synthesis of the reviewed evidence underscores that the intake angle is a fundamental design variable for effective sediment control. These findings offer practical insights for hydraulic engineers and practitioners, facilitating the optimization of intake configurations and enhancing overall water resource management strategies.

Materials and Methods

This study employs a systematic and documentary review to analyze the hydraulic and sediment-control performance of lateral intakes in open channels. Drawing upon 132 national and international publications retrieved from reputable databases between 1944 and 2025, the research synthesizes findings from both laboratory and numerical investigations. The analysis, structured under the PRISMA framework and complemented by a conceptual review approach, identifies the key hydraulic, geometric, and sedimentary parameters affecting intake efficiency. Results indicate that optimized intake angle and position, along with geometric modifications such as sloped walls, submerged vanes, and deflector structures, substantially reduce vortex formation and sediment entry. Numerical modeling using tools such as FLUENT, FLOW-3D, and SSIIM demonstrates high agreement with experimental data, validating its use for design optimization. Moreover, hybrid and multi-component designs integrating vanes, sills, and guide walls achieve sediment reduction rates exceeding 70%. The study concludes that sustainable and efficient water-diversion systems require an integrated design approach balancing hydraulic performance, sediment dynamics, and site-specific topographic conditions, supported by advanced numerical modeling and experimental validation.

Results

The review of eleven studies published between 1944 and 2025 revealed consistent patterns in the hydraulic behavior and sediment-control performance of lateral intakes. Analysis of laboratory and numerical investigations indicated that variations in intake angle, channel curvature, discharge ratio, and intake geometry have the most significant impact on vortex formation, flow separation, and sediment entry. Experimental results showed that reducing the intake angle generally decreases sediment intrusion, while positioning the intake along the outer bend improves flow distribution and minimizes scour depth. Numerical simulations using CFD models such as FLUENT provided strong agreement with experimental findings, confirming the critical role of geometric configuration and shear stress in controlling flow behavior. After multiple comparative evaluations, seven major parameters were identified as the dominant factors governing intake efficiency: intake angle, bend conditions, bed shear stress, relative curvature-to-depth ratio, geometry and dimensions of the intake, discharge ratio, and Froude number. These parameters form a unified analytical framework for optimizing intake design to achieve minimal sediment intrusion and stable hydraulic operation.

Conclusions

A comprehensive review of studies conducted between 1944 and 2025 revealed that the hydraulic performance of lateral intakes in open channels is strongly governed by geometric configuration and flow conditions. The intake angle, discharge ratio, and intake position along the channel bend are among the most influential parameters controlling flow patterns, vortex formation, and sediment entry. Findings from previous research indicate that intake angles of 45° – 60° effectively minimize flow separation, while positioning the intake on the outer bend (at angles of 115° – 135°) enhances flow uniformity and reduces local scour. Both numerical and physical investigations confirm that the geometry of the intake and sidewalls—particularly curved or rounded-corner designs—and regulation of hydrodynamic parameters such as the Froude number play a decisive role in sediment control. The strong agreement between laboratory observations and advanced computational models further supports the reliability of numerical approaches for optimized design.

Overall, achieving stable hydraulic performance in lateral intakes requires an integrated approach that simultaneously considers optimal intake geometry and position, improved hydraulic conditions, and the use of auxiliary structures. Despite significant progress in laboratory and numerical studies, research gaps remain—particularly in field-scale investigations, sediment characterization, and interaction analyses of combined structures under complex flow conditions. Future developments in three-dimensional numerical modeling and large-scale field experiments could substantially enhance understanding of these interactions and lead to more sustainable strategies for sediment management and intake efficiency.

Keywords: Optimization of intake angle; PRISMA methodology; sediment exclusion techniques; submerged vanes; sill structure

Conflict of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest regarding the preparation and publication of the materials and findings presented in this study.

Funding

The authors received no financial support for the research, authorship, or publication of this article.

Data Availability Statements

The datasets generated and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Authors' Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the study, preparation of the original draft, and subsequent revisions

Acknowledgement

The authors wish to express their sincere gratitude to the Editor and the two anonymous reviewers for their insightful comments and constructive feedback, which significantly improved the quality of this manuscript. We also thank the Regional Water Company of Qazvin for providing the necessary data for this research.



نوع مقاله: یادداشت فنی

مروری بر اصول هیدرولیکی آبیاری از رودخانه با تاکید بر کنترل رسوب بدون استفاده از صفحات مستغرق

نسرين خدامرادی وطن^۱، حجت احمدی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۰۵ | تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۱۶ | تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۱۱ | تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۶/۰۹

چکیده

آبیگرهای رودخانه‌ای یکی از سازه‌های کلیدی در مدیریت منابع آب هستند. از چالش‌های اصلی در طراحی و استفاده از این سازه‌ها، رسوب‌گذاری است که می‌تواند به کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی و کارایی آبیگرها منجر شود. زاویه آبیگر عاملی است مهم در تعیین الگوی جریان و توزیع رسوبات. این عامل تأثیر قابل توجهی بر فرآیند رسوب‌گذاری در رودخانه دارد. بدین منظور پژوهش حاضر به بررسی مطالعات پیشین می‌پردازد، مطالعاتی که طی ۸۱ سال در بازه زمانی ۱۹۴۴ تا ۲۰۲۵ در زمینه سازه‌های آبیگر در مجلات دارای نمایه علمی و پژوهشی منتشر شده‌اند و در بانک اطلاعات داخلی معتبر و خارجی دیده می‌شوند. در این راستا ۱۳۲ مقاله بررسی شد، این مقالات به بخش‌های مختلفی تفکیک و در هر بخش مقالات مرتبط تفکیک و تقسیم بندی شدند و سپس تجزیه و تحلیل گردیدند. مرور مفهومی مقالات و استفاده از دیاگرام پریسما و بررسی همه جانبه نشان داد که زاویه آبیگر از موارد مهم و اصلی برای کنترل رسوب است. نتایج این بررسی می‌تواند به مهندسان و طراحان در بهینه‌سازی طراحی آبیگرها و مدیریت مؤثر منابع آبی کمک کند.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی زاویه آبیگر، تکنیک‌های حذف رسوب، جریان ثانویه، روش شناسی پریسما، صفحات مستغرق و آستانه، ناحیه جداسازی، نسبت دبی انحرافی

مقدمه

افزایش هزینه‌های نگهداری و لایروبی است، زیرا تجمع رسوبات باعث کاهش ظرفیت آبیگرها و تغییر الگوی جریان می‌شود. طراحی بهینه زاویه و محل آبیگری نقش مهمی در به حداقل رساندن ورود رسوبات به سیستم دارد. از این‌رو، طراحی بهینه آبیگرها با هدف کاهش ورود رسوب و افزایش راندمان برداشت آب، همواره مورد توجه مهندسان هیدرولیک بوده است. جریان در انشعاب آبیگری به طور ذاتی یک جریان سه بعدی است و پیچیدگی‌های زیادی دارد (Neary & Odgaard, 1993). الگوی جریان در محدوده دهانه آبیگر تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله هندسه

آبیگرهای احداث شده روی رودخانه‌ها از سازه‌های کلیدی در مدیریت منابع آب هستند و نقش مهمی در تأمین آب برای مصارف کشاورزی، صنعتی، شرب و تولید انرژی دارند. با توجه به ماهیت آبرفتی بسیاری از رودخانه‌ها، یکی از چالش‌های اساسی در طراحی و بهره‌برداری از این سازه‌ها، کنترل رسوبات ورودی به سامانه‌های انتقال آب است. ورود رسوب می‌تواند منجر به کاهش ظرفیت انتقال، انسداد مجاری، افزایش هزینه‌های نگهداری و افت عملکرد کل سیستم شود. یکی از مشکلات اصلی، کاهش راندمان و

^۱ دانشجوی دکتری رشته علوم و مهندسی آب گرایش سازه‌های آبی، گروه کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
([✉] نویسنده مسئول: Email: n.khodamoradi@urmia.ac.ir)

^۲ استاد گروه رشته علوم و مهندسی آب گرایش سازه‌های آبی، گروه کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

شناسایی عوامل تاثیرگذار و گردآوری نظرهای محققان به صورت منسجم موثر باشد. در مطالعه مروری قصد آن است تحقیقات صورت گرفته در زمینه آبیگری بررسی شوند و با جمع بندی مناسب و جامع از نتایج تحقیقات پیشین اطلاعات منسجم و طبقه بندی شده را در اختیار محققان قرار دهد. بدین منظور ۱۳۲ مقاله با کلید واژه های مرتبط با آبیگری و کاهش رسوب و نتایج مربوط به آن انتخاب و بررسی شده است. این مقاله مروری جامع در بازه زمانی مشخص از مقالات و پایان نامه های فارسی و لاتین، به منظور ارائه تحلیل جامعی از مطالعات در مورد آبیگری های جانبی می پردازد که به کاهش رسوب اشاره دارد. با تلفیق دانش موجود، این مقاله به شناسایی راهبردهای موثر، برجسته سازی شکاف های موجود در دانش فعلی و پیشنهاد جهت های آینده برای تحقیق و عمل می پردازد.

روش پژوهش

روش جمع آوری داده ها در این تحقیق مبتنی بر اطلاعات اسنادی است. در تحقیق حاضر جامعه آماری؛ کلیه پژوهش های منتشر شده در پایگاه های اطلاعاتی علمی معتبر داخلی و خارجی هستند که براساس کلید واژه های تعریف شده و به منظور دستیابی به نمونه ای که اشباع نظری را موجب شود پیمایش شدند. برای جست و جوی کلیدواژه ها محدوده زمانی ۱۹۴۴-۲۰۲۵ در نظر گرفته شد. در زمینه نمونه گیری، مرتبط ترین مطالعات با استفاده از رویکردی هدفمند انتخاب شدند. مرور نظام مند گونه ای از مرور پیشینه ها است که در اکثر رشته ها به کار می رود. هدف از مرور نظام مند، گردآوری و خلاصه سازی همه پژوهش های مرتبط با یک پرسش برای ارائه پاسخ نهایی به آن پرسش است (Chalmers et al., 2002) در مرور نظام مند، با شناسایی دقیق و منظم و برنامه ریزی شده همه مطالعات مرتبط می توان نقد عینی تری کرد و در مواردی که مطالعات اصلی، مرورهای کلاسیک سنتی و نظر نویسندگان با هم اختلاف دارند می تواند به حل مسئله کمک کند (Egger et al., 2001). مزیت اصلی مرور نظام مند آن است که وزن

کانال، زاویه انحراف، محل نصب آبیگر و نسبت دبی آبیگر به دبی رودخانه قرار دارد. به ویژه در خم های رودخانه، جریان های ثانویه و گردابی می توانند موجب تشدید رسوب گذاری در دهانه آبیگر شوند. عوامل متعددی بر شرایط جریان ورودی و میزان رسوب وارد شده به آبیگر تاثیر دارند مانند: نوع کانال (مستقیم یا قوسی)، محل و زاویه آبیگری، نسبت دبی کانال اصلی به فرعی، شرایط هیدرولیکی جریان، نوع و دانه بندی رسوبات، عمق جریان و وجود سازه هایی مانند آستانه، صفحات مستغرق یا آبیگرهای بالادست. با وجود پژوهش های مختلف در زمینه کنترل رسوب در آبیگرها، به دلیل پیچیدگی انتقال جریان و رسوب در محدوده دهانه آبیگر، تاثیر رسوبات ورودی بر شرایط جریان در دهانه آبیگر و تغییر در ریخت شناسی بستر در کانال اصلی و کانال آبیگر در پی رسوب گذاری از عواملی هست که هم چنان پژوهش ها در این زمینه ادامه دارد. مشکلات آبیگری در آبیگرها را می توان به ترتیب زیر عنوان کرد: جداشدگی جریان در دهانه بالادست آبیگر که موجب ایجاد جریان های ثانویه و کاهش دبی آبیگری و در نتیجه رسوب گذاری در دهانه آبیگر می شود. جریان های گردابی عمودی در جلو آبیگر که موجب فرسایش مواد بستر در جلو دهانه آبیگر و ایجاد چاله آبستگی در زیر دهانه آبیگر و ایجاد ناحیه راکد جریان در دهانه پایین دست کانال آبیگر می شود (Barkdoll, 1997). در سال های اخیر با هدف بهینه سازی طراحی آبیگرها و کاهش اثر رسوب گذاری مطالعات متعددی شده است که استفاده از روش های کنترل فعال و غیرفعال از جمله آنهاست. با این حال، به دلیل پیچیدگی رفتار جریان و حمل رسوب، نیاز به بررسی های دقیق آزمایشگاهی و عددی همچنان وجود دارد. با توجه به موارد اشاره شده و اهمیت موضوع و بررسی و جستجو در پایگاه های علمی، مطالعه مروری برای بررسی این پدیده یافت نشد؛ با توجه به اهمیت آبیگری از رودخانه با هدف های گفته شده، به اطلاعات جامع، جزئی و دقیق و به کارگیری آنها نیاز خواهد بود تا میزان رسوب به حداقل برسد، نتایج این پژوهش می تواند برای

جریان و رسوب‌گذاری در آبگیرهای جانبی مورد توجه گسترده قرار گرفته است. استفاده از نرم‌افزارهایی مانند FLUENT، SSIIM، CCHE2D و FLOW3D امکان شبیه‌سازی دقیق الگوهای جریان، ناحیه جداسازی، و مسیر انتقال رسوب را فراهم ساخته و در بسیاری از مطالعات تطابق قابل‌قبولی با داده‌های آزمایشگاهی گزارش شده است. این تطابق اعتبار روش‌های عددی را در ارزیابی عملکرد هیدرولیکی و رسوبی آبگیرها تقویت کرده و زمینه‌ساز توسعه راهکارهای طراحی بهینه شده است. مطالعات شاملو و پیرزاده (Shamloo & Pirzadeh, 2007) نشان دادند که مدل فلوئنت می‌تواند ابعاد ناحیه گردابی را با دقت مناسبی بازسازی کند، هرچند بازسازی کامل ناحیه جداسازی به دلیل ماهیت سه‌بعدی جریان همچنان چالش‌برانگیز باقی مانده است. درخشان (Derakhshan, 2015) نیز با استفاده از همین نرم‌افزار، زاویه ۳۰ درجه را به‌عنوان زاویه بهینه آبگیری معرفی می‌کند که با نتایج تجربی همخوانی کامل دارد. جلیلی و همکاران (Jalili et al., 2011) با بهره‌گیری از مدل SSIIM 2.0 نشان دادند که طراحی دهانه آبگیر با قوس ترکیبی در ناحیه بالادست، ضمن جلوگیری از جداسازی جریان، موجب افزایش کارایی هیدرولیکی سیستم می‌شود. مطالعات صفرزاده (Safarzadeh, 2004) و صفرزاده گندشمین (Safarzadeh Gandeshemin, 2009) نقش جریان‌های ثانویه را در انتقال رسوب برجسته می‌کنند و تأکید کردند که زاویه ۹۰ درجه آبگیر موجب تشکیل جریان چرخشی بزرگ و تجمع رسوبات در دهانه می‌شود. رستم‌آبادی و همکاران (Rostamabadi et al., 2009) نیز نشان دادند که استقرار صفحات مستغرق در پایین‌دست آبگیر می‌تواند از تشکیل ناحیه جداسازی جریان جلوگیری کند و مسیر جریان‌های پرسوب را منحرف سازد. امیدبیگی و همکاران (Omid Beigi et al., 2011) با استفاده از مدل‌های $k-\epsilon$ و RSM دریافتند که کاهش سرعت در لبه

داده‌ها مانع اعمال نظر شخصی و پیش‌داوری مولف می‌شود و در واقع به کمک راهبردهایی با حداقل خطای سیستماتیک به جمع‌بندی نتایج چند مطالعه اصلی می‌پردازد (Phillips et al., 2009). این مقاله مروری با هدف تحلیل و دسته‌بندی یافته‌های ۱۳۲ پژوهش به بررسی عوامل مختلف در آبگیر به‌منظور کنترل رسوب می‌پردازد. مطالعات مرتبط به‌صورت نقل‌قولی و با ذکر نویسنده و سال پژوهش در دو بخش مطالعات آزمایشگاهی و عددی به صورت جداگانه مرور می‌شوند. در این مقاله، روش‌شناسی به‌گونه‌ای طراحی شده است که تأکیدی بر ارزیابی سوگیری مطالعات ورودی و همچنین متاآنالیز نیست و گزارش مستقلی برای دلایل حذف هر مقاله وجود ندارد. بنابراین می‌تواند در دسته مطالعات مرور دامنه^۱ با ساختار شبه‌نظام‌مند نیز قرار گیرد.

مطالعات آزمایشگاهی در زمینه آبگیر

سیدیان و همکاران (Seidian et al., 2013) با استفاده از فلوم دیواره متحرک نشان دادند که شیب‌دار کردن دیواره کانال اصلی موجب کاهش عرض جریان در لایه‌های عمقی و در نتیجه کاهش ورود رسوب به آبگیر می‌شود. لاما و همکاران (Lama et al., 2002) و وسکیویز (Vasquez, 2005) تأکید کرده‌اند که گرادیان فشار و مؤلفه‌های مومنوم در زاویه‌های مختلف می‌توانند بر ضریب انقباض جریان و ناحیه گردابی تأثیرگذار باشند. در مجموع، یافته‌های مرور شده نشان می‌دهند که انتخاب زاویه و موقعیت مناسب آبگیر در قوس رودخانه، همراه با اصلاح هندسه دیواره‌ها و در نظر گرفتن نسبت دبی انحرافی، می‌تواند به‌طور مؤثری الگوی جریان را بهینه کند، ناحیه گردابی را کاهش دهد و ورود رسوبات به آبگیر را کنترل کند. این پارامترها باید به‌صورت تلفیقی و متناسب با شرایط هیدرولیکی و توپوگرافی محل طراحی شوند تا عملکرد پایدار و مؤثری در سامانه‌های انتقال آب فراهم گردد. مدل‌سازی عددی در دهه‌های اخیر به‌عنوان ابزاری قدرتمند در تحلیل رفتار

دهانه آبیگر و دیواره‌های کانال موجب تغییر در توزیع سرعت، کاهش ناحیه جداشدگی جریان و هدایت مؤثر جریان‌های پرسوب از دهانه آبیگر می‌شود. جلیلی و همکاران (Jalili *et al.*, 2011) در بررسی آزمایشگاهی تأکید کردند که اصلاح شکل هندسی آبیگر می‌تواند منجر به کاهش ۳۳ تا ۵۸ درصد در ورود رسوب در نسبت‌های دبی مختلف شود. کرمی‌مقدم و همکاران (Karami Moghaddam *et al.*, 2011) نیز نشان دادند در آبیگر منشعب از کانال دوزنقه‌ای، عرض ناحیه جدایی در سطح افزایش و در بستر کاهش می‌یابد؛ این ویژگی، با توجه به تمرکز رسوبات در لایه‌های نزدیک بستر نقش مهمی در کاهش ورود رسوب خواهد داشت. طراحی دیواره‌های شیب‌دار در این مطالعات موجب کاهش ۲۰ تا ۳۰ درصد در رسوبات ورودی شده است. سیدیان و شفاعی‌بجستان (Seidian & Shafaei Bejestan, 2010) با بررسی تأثیر تغییر زاویه دیواره کانال اصلی از حالت قائم به ۴۵ درجه، دریافتند که این اصلاح هندسی با بهبود الگوی هیدرودینامیکی جریان، کاهش ۳۰ تا ۴۰ درصد رسوب ورودی را به همراه دارد. این اثر به‌ویژه در جریان‌های کم‌عمق و عدد فرود پایین (۰.۳۷) مشهود است و زبری بستر نیز در کاهش جریان‌های چرخشی مؤثر گزارش شده است. جریان‌های ثانویه و گردابی از مؤلفه‌های کلیدی در فرآیند انتقال رسوبات از بستر رودخانه به دهانه آبیگرهای جانبی محسوب می‌شوند. این جریان‌ها تحت تأثیر هندسه قوس، زاویه آبیگر و شرایط هیدرولیکی شکل می‌گیرند و می‌توانند بسته به شدت و جهت‌گیری، موجب تشدید یا کاهش ورود رسوب شوند. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که تغییرات در دبی جریان و عدد فرود، به‌طور مستقیم بر قدرت جریان‌های ثانویه و الگوی گردابی تأثیر می‌گذارند. پیرستانی و همکاران (Pirestani *et al.*, 2008) گزارش کردند که با افزایش دبی و عدد فرود، قدرت جریان‌های ثانویه افزایش و مومنتوم جریان عرضی کاهش می‌یابد؛ این تغییرات موجب شکل‌گیری جریان عرضی یک‌طرفه به سمت آبیگر و تشکیل جریان چرخشی کامل در ورودی کانال می‌شود. ابوالقاسمی

پایین‌دست دهانه آبیگر زمینه‌ساز تجمع رسوب است، در حالی که افزایش دبی انحرافی موجب تقویت جریان‌های ثانویه در لایه‌های تحتانی می‌شود. مطالعات آل‌زبیدی و هیلو (Al-Zubaidy & Hilo, 2022) نیز نشان می‌دهد اصلاح زاویه انشعاب و شکل ورودی جانبی در محدوده ۳۰ تا ۴۵ درجه می‌تواند فرسایش و رسوب‌گذاری را به‌طور مؤثری کاهش دهد. در مطالعات کرمی‌مقدم و همکاران، معروفی‌نیا و همکاران (Karami-Moghaddam Maroufinia *et al.*, 2016)؛ (et al., 2018)، استفاده از نرم‌افزارهای عددی مانند Fluent و CCHE2D امکان تحلیل دقیق رفتار جریان و رسوب را فراهم کرده است. مدل‌سازی فیزیکی در مطالعات شریعتی و همکاران، حقیقی‌آبی و امام‌قلی‌زاده (Shariati *et al.*, 2018)؛ (Haghighi Aby & Emamgholizadeh, 2015) منجر به ارائه روابط تجربی قابل‌اعتماد برای طراحی بهینه آبیگرها شده است. مدل‌های عددی پیشرفته مانند K-W، RANS و FLOW3D نیز در مطالعات بین‌المللی از جمله در مطالعات رامامورتی و همکاران (Ramamurthy *et al.*, 2007)؛ (Oliveira & Lima, 2024) برای بررسی رفتار جریان و آشفتگی در کف مخزن به‌کار گرفته شده‌اند و تطابق بالایی با داده‌های آزمایشگاهی داشته‌اند. در مجموع، این مطالعات نشان می‌دهند که مدل‌سازی عددی نه‌تنها در بازسازی دقیق رفتار جریان و رسوب‌گذاری مؤثر است، بلکه با تطابق بالا با داده‌های تجربی، به‌عنوان ابزاری قابل اعتماد در تصمیم‌گیری‌های طراحی و بهینه‌سازی آبیگرهای جانبی قابل استفاده خواهد بود. این روش‌ها با کاهش هزینه‌های آزمایشگاهی، افزایش دقت تحلیل، و امکان بررسی سناریوهای متنوع نقش مهمی در توسعه پایدار سامانه‌های انتقال آب دارد. هندسه کانال و شکل دهانه آبیگر از عوامل کلیدی در تعیین الگوی جریان، ناحیه جداشدن و میزان ورود رسوبات به آبیگرهای جانبی به‌شمار می‌روند. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که اصلاح هندسی این اجزا می‌تواند به‌طور قابل توجهی راندمان آبیگری را افزایش و چالش‌های مرتبط با رسوب‌گذاری را کاهش دهد. به‌طور خاص، طراحی بهینه

زاویه، موقعیت یا هندسه آبگیر، به‌سوی استفاده از راهکارهای ترکیبی و چندمؤلفه‌ای سوق یافته است. این رویکرد نوآورانه با هدف ارتقای عملکرد هیدرولیکی و کاهش ورود رسوبات، بر تلفیق سازه‌ها و تنظیم هم‌زمان پارامترهای طراحی تمرکز دارد. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که استفاده از ترکیب سازه‌های کنترلی، در مقایسه با راهکارهای منفرد، می‌تواند به‌طور چشمگیری راندمان سیستم‌های آبگیری را افزایش دهد. مهتابی و حسین‌زاده دلیر (Mehtabi & Hosseinzadeh Dalir, 2012) با معرفی یک سیستم ترکیبی شامل دیوار انحراف‌دهنده جریان و آستانه، نشان دادند که تنظیم دقیق پارامترهایی مانند عرض کانال‌های اولیه و ثانویه، ارتفاع آستانه و زاویه نصب دیوار ثانویه (۶۳ درجه)، نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش ورود رسوب دارد. این طراحی در نسبت آبگیری ۰.۴ عملکرد بسیار مطلوبی از خود نشان داد. به‌طور مشابه، وارما و همکاران (Varma et al., 1989) می‌گویند احداث آستانه در دهانه آبگیر، نصب صفحات منحنی و طراحی تونل‌های رسوب‌گیر می‌تواند میزان رسوب ورودی را تا ۵۰-۴۰ درصد کاهش دهد. این راهکارها به‌عنوان اجزای مکمل در بهینه‌سازی عملکرد آبگیرها معرفی شده‌اند. رادکیوی (Raudkivi, 1993) نیز مجموعه‌ای از راهکارهای ترکیبی را برای هدایت جریان و کاهش رسوب‌گذاری ارائه داد که شامل آبگیری از قوس خارجی رودخانه، آرام‌سازی جریان در دهانه آبگیر، احداث آبشکن جاذب در ضلع مقابل، ایجاد جزایر مصنوعی در بالادست و استفاده از صفحات مستغرق منحنی‌شکل می‌شود. این اقدامات با هدف اصلاح الگوی جریان و کاهش ناحیه جداشدگی طراحی شده‌اند و در شرایط متنوع هیدرولیکی قابل اجرا هستند. در مطالعه‌ای جدید، فاضل نجف‌آبادی و ایوب‌زاده (Fazel Najafabadi & Ayyoubzadeh, 2024) با استفاده از پره‌های زیرآبی، موفق به دستیابی به کاهش رسوب تا ۹۴ درصد در شرایط آزمایشگاهی شدند. نتایج میدانی این پژوهش نیز اثربخشی این سازه‌ها را در مقیاس واقعی تأیید کرده است که نشان‌دهنده پتانسیل بالای این راهکار در

(Abolghasemi, 2012) نیز در بررسی کانال‌های سینوسی نشان داد که در نسبت‌های پایین آبگیری، تقویت جریان‌های حلزونی در قوس خارجی موجب دورسازی رسوبات از ناحیه آبگیر می‌شود، اما با افزایش نسبت آبگیری، فروپاشی جریان‌های ثانویه منجر به رشد نمایی رسوب ورودی خواهد شد. مطالعات نظری و برجستان (Nazari & Bajestan, 2010) روی قوس‌های همگرا نشان داد که تمرکز سرعت تا انتهای قوس در مجاورت دیواره داخلی باقی می‌ماند، که این ویژگی با توزیع ناهمگون سرعت عمودی ناشی از جریان‌های ثانویه، از تجمع رسوبات در نواحی داخلی جلوگیری می‌کند. فضلی و قدسیان (Fazli & Ghodsian, 2010) نیز با بررسی آبشکن‌های نصب‌شده در قوس‌های رودخانه‌ای تأکید کردند که هم‌کنشی قدرت گرداب‌ها و جریان‌های ثانویه عامل اصلی در فرآیند آب‌شستگی اطراف این سازه‌هاست. این محققان نشان دادند که نصب آبشکن با ایجاد جریان‌های چرخشی افقی و حرکات قائم صعودی و نزولی در بالادست، موجب تقویت قابل‌توجه قدرت گرداب‌های کل می‌شود. امیدبیگی و همکاران (Omid Beigi et al., 2011) با بررسی ساختار جریان سه‌بعدی در آبگیر جانبی با زاویه ۱۶ درجه دریافتند که افزایش دبی انحرافی موجب کاهش عرض ناحیه جداشدگی جریان و افزایش جریان‌های ثانویه در لایه‌های تحتانی می‌شود؛ این جریان‌ها نقش مؤثری در انتقال رسوب به آبگیر دارند و می‌توانند الگوی رسوب‌گذاری را به‌طور چشمگیری تغییر دهند. در مجموع، یافته‌های مرور شده نشان می‌دهند که جریان‌های ثانویه و گردابی، به‌ویژه در قوس‌های با انحنای زیاد یا هندسه پیچیده، نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری ناحیه جداشدگی، مسیر انتقال رسوب و میزان ورود آن به آبگیرهای جانبی دارند. طراحی بهینه این سازه‌ها مستلزم مدل‌سازی دقیق این جریان‌ها و کنترل مؤثر آن‌ها از طریق اصلاح هندسه، تنظیم زاویه آبگیر و بهره‌گیری از سازه‌های هیدرولیکی مکمل مانند آبشکن‌ها و دیوارهای هدایت‌کننده است. در سال‌های اخیر، رویکرد طراحی آبگیرهای جانبی از اصلاح پارامترهای منفرد مانند

پروژه‌های اجرایی است. در مجموع، یافته‌های مرور شده نشان می‌دهند که طراحی‌های ترکیبی و چندمؤلفه‌ای، از طریق هم‌افزایی عملکرد سازه‌های مختلف و تنظیم دقیق پارامترهای هندسی و هیدرولیکی می‌توانند به‌طور مؤثری ورود رسوبات به آبیگرهای جانبی را کاهش دهند و پایداری عملکرد سیستم‌های انحرافی را در شرایط متغیر تضمین کنند. این رویکرد، افق جدیدی در طراحی پایدار و کارآمد سامانه‌های انتقال آب فراهم می‌سازد. مطالعات آشاور و یاسی (Ashnavar & Yasi, 2022, 2023) و دستورانی و همکاران (Dastourani *et al.*, 2019) نشان دادند که موقعیت آبیگر در پیچ خارجی با زاویه ۶۰ درجه عملکرد بهتری دارد. در مقابل، آبیگر داخلی موجب تجمع بیشتر رسوبات می‌شود. صدیقی هرسینی و قبادیان (Sedighi & Hersini, 2024) نیز وابستگی الگوی جریان به هندسه قوس را تأیید کرده‌اند. حبیبی و همکاران (Habibi *et al.*, 2019) نشان دادند که افزایش زاویه صفحات موجب رشد طول گردابه و کاهش عرض آن می‌شود. منتصری و همکاران (Montasseri *et al.*, 2020) نیز تأکید کردند که افزایش زاویه کنگره به ۶۷.۵ درجه، کاهش عمق آبشستگی را به میزان ۷۰ درصد به همراه دارد. رستم‌آبادی (Rostamabadi, 2021) با بررسی آرایش صفحات، ضریب پادرسوبی را تا ۴۶ درصد افزایش داد. زبری بستر یکی از عوامل کلیدی در تغییر مسیر جریان، افزایش پیچیدگی الگوی جریان و شکل‌گیری نواحی تمرکز رسوب در آبیگرهای جانبی به‌شمار می‌رود. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که زبری کف کانال، به‌ویژه در بسترهای متحرک، موجب تغییر در خطوط جریان، توزیع تنش برشی و جهت‌گیری جریان‌های نزدیک بستر می‌شود که این امر به‌طور مستقیم بر میزان محل ورود رسوبات به آبیگر تأثیرگذار است. نیری و همکاران (Neary *et al.*, 1994) نشان دادند که شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای در بستر رودخانه تابعی از زبری بستر، نسبت دبی انحرافی و زاویه آبیگر است. نیری (Neary, 1995) با بررسی تغییرات فشار در دهانه آبیگر گزارش کرد که افت فشار در

دهانه داخلی و افزایش آن در دهانه خارجی، موجب تغییر در سطح آب و الگوی جریان می‌شود؛ این پدیده می‌تواند مسیر جریان را به‌گونه‌ای تغییر دهد که تمرکز رسوبات در نواحی خاصی از دهانه افزایش یابد. نیری و سوتیروپولو (Neary & Sotiropoulos, 1996) تأکید کردند که زبری کف موجب تغییر در توزیع تنش برشی و انحراف جریان‌های نزدیک بستر به سمت آبیگر می‌شود، به‌ویژه در شرایطی که بستر متحرک باشد. مطالعات آناستاسیا و همکاران (Anastasia *et al.*, 1986) نشان می‌دهد افزایش دبی انحرافی موجب مکش بیشتر در لایه‌های پایین جریان و در نتیجه تجمع رسوب در دیواره داخلی آبیگر می‌شود. این محققان می‌گویند استفاده از کانال‌های قوسی جمع‌شونده می‌تواند با کاهش سرعت جریان، از شدت رسوب‌گذاری در دهانه آبیگر بکاهد. در همین راستا، نیری و همکاران (Neary *et al.*, 1999) تأکید کردند که طراحی مؤثر آبیگرهای جانبی در کانال‌های منحنی نیازمند درک دقیق از زبری بستر، نسبت دبی انحرافی و دینامیک نقاط بحرانی جریان است زیرا این عوامل به‌صورت هم‌افزا بر الگوی جریان و انتقال رسوب تأثیر می‌گذارند. در مجموع، یافته‌های مرور شده نشان می‌دهند که زبری بستر، به‌ویژه در بسترهای متحرک، همراه با تغییرات فشار و هندسه کانال، نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری جریان‌های نزدیک بستر، ناحیه مکش و تمرکز رسوبات دارد. طراحی بهینه آبیگرهای جانبی مستلزم مدل‌سازی دقیق این عوامل و در نظر گرفتن اثرهای متقابل آن‌ها بر رفتار هیدرولیکی سیستم است. چنین رویکردی می‌تواند به کاهش رسوب‌گذاری، افزایش پایداری عملکرد و بهبود بهره‌وری سامانه‌های انتقال آب منجر شود. مطالعات عطارزاده و باباخانی (Attarzadeh & Babakhani, 2022) و آشاور و یاسی (Ashnavar & Yasi, 2023) نشان دادند که آبیگر داخلی پیچ مستعد رسوب‌گذاری بیشتر است. استفاده از آستانه و مجرای تخلیه در این موقعیت‌ها ضروری است. همچنین، دیوارهای انحرافی موجب کاهش حجم رسوب ورودی تا ۲.۵ درصد شده‌اند (Zhao *et al.*, 2022). آتما و

پروژه‌های اجرایی است. در مجموع، یافته‌های مرور شده نشان می‌دهند که طراحی‌های ترکیبی و چندمؤلفه‌ای، از طریق هم‌افزایی عملکرد سازه‌های مختلف و تنظیم دقیق پارامترهای هندسی و هیدرولیکی می‌توانند به‌طور مؤثری ورود رسوبات به آبیگرهای جانبی را کاهش دهند و پایداری عملکرد سیستم‌های انحرافی را در شرایط متغیر تضمین کنند. این رویکرد، افق جدیدی در طراحی پایدار و کارآمد سامانه‌های انتقال آب فراهم می‌سازد. مطالعات آشاور و یاسی (Ashnavar & Yasi, 2022, 2023) و دستورانی و همکاران (Dastourani *et al.*, 2019) نشان دادند که موقعیت آبیگر در پیچ خارجی با زاویه ۶۰ درجه عملکرد بهتری دارد. در مقابل، آبیگر داخلی موجب تجمع بیشتر رسوبات می‌شود. صدیقی هرسینی و قبادیان (Sedighi & Hersini, 2024) نیز وابستگی الگوی جریان به هندسه قوس را تأیید کرده‌اند. حبیبی و همکاران (Habibi *et al.*, 2019) نشان دادند که افزایش زاویه صفحات موجب رشد طول گردابه و کاهش عرض آن می‌شود. منتصری و همکاران (Montasseri *et al.*, 2020) نیز تأکید کردند که افزایش زاویه کنگره به ۶۷.۵ درجه، کاهش عمق آبشستگی را به میزان ۷۰ درصد به همراه دارد. رستم‌آبادی (Rostamabadi, 2021) با بررسی آرایش صفحات، ضریب پادرسوبی را تا ۴۶ درصد افزایش داد. زبری بستر یکی از عوامل کلیدی در تغییر مسیر جریان، افزایش پیچیدگی الگوی جریان و شکل‌گیری نواحی تمرکز رسوب در آبیگرهای جانبی به‌شمار می‌رود. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که زبری کف کانال، به‌ویژه در بسترهای متحرک، موجب تغییر در خطوط جریان، توزیع تنش برشی و جهت‌گیری جریان‌های نزدیک بستر می‌شود که این امر به‌طور مستقیم بر میزان محل ورود رسوبات به آبیگر تأثیرگذار است. نیری و همکاران (Neary *et al.*, 1994) نشان دادند که شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای در بستر رودخانه تابعی از زبری بستر، نسبت دبی انحرافی و زاویه آبیگر است. نیری (Neary, 1995) با بررسی تغییرات فشار در دهانه آبیگر گزارش کرد که افت فشار در

صفحات با هدایت جریان، کاهش ناحیه جدادگی و ایجاد جریان‌های ثانویه هم‌راستا با جریان اصلی، می‌توانند راندمان کنترل رسوب را تا بیش از ۷۰ درصد افزایش دهند. برای مثال، ساجدی سابق و حبیبی (Sajedi Sabegh & Habibi, 2005) کاهش ۷۵ درصد ورود رسوب و داوودی و شفاعی بجستان (Davoudi & Shafaei Bajestan, 2011) کاهش ۳۱ درصد ورود رسوب را گزارش کرده‌اند. آرایش موازی در زاویه ۳۰ درجه (Karami-Moghadam *et al.*, 2018) و فاصله‌گذاری طولی $3H$ تا $6H$ (Younesi, 2002) از جمله پیکربندی‌های مؤثر معرفی شده‌اند. از منظر هیدرودینامیکی، صفحات مستغرق با توسعه ناحیه جدادگی در لبه داخلی قوس، از تشکیل جریان‌های بازگشتی و سکون در دهانه آبگیر جلوگیری می‌کنند (Rostamabadi *et al.*, 2009). منتصری و همکاران (Montasseri *et al.*, 2009) نیز نشان دادند که این صفحات با تقویت جریان‌های ثانویه در قوس موجب کاهش ورود رسوبات بستر می‌شوند. در کنار طراحی منفرد صفحات، استفاده از سازه‌های ترکیبی مانند آستانه، آبشکن و دیوارهای انحراف‌دهنده نیز اثربخشی قابل‌توجهی در کنترل رسوب داشته‌اند. مهتابی و حسین‌زاده دلیر (Mehtabi & Hosseinzadeh Dalir, 2012) با معرفی سیستم ترکیبی دیوار انحراف‌دهنده و آستانه، کاهش چشمگیر رسوب را در نسبت آبگیری ۰.۴ گزارش کردند. عطارزاده و همکاران (Attarzadeh *et al.*, 2015) و عباسی و ملک‌نژاد یزدی (Abbasi & Maleknejad Yazdi, 2014) نیز نشان دادند که ترکیب سه‌گانه این سازه‌ها می‌تواند راندمان حذف رسوب را تا ۱۰۰ درصد افزایش دهد. به‌ویژه، ترکیب دیوار جداکننده با آبشکن در زاویه‌های ۱۰ تا ۱۸ درجه موجب کاهش بیش از ۸۰ درصد رسوب ورودی شده است. مطالعات بین‌المللی نیز این یافته‌ها را تأیید کرده‌اند. ناکاتو و همکاران (Nakato *et al.*, 1990)، وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 1996)، و هو و همکاران (Ho *et al.*, 2004) طراحی بهینه صفحات را شامل ارتفاعی معادل ۰.۲ تا ۰.۳ برابر عمق جریان، طولی تا

همکاران (Ettema *et al.*, 2006) با بررسی ورود قطعات یخ و ذرات جامد به آبگیرهای جانبی نشان دادند خط جدایی جریان در سطح آب نسبت به جریان نزدیک بستر به دیواره آبگیر نزدیک‌تر است و دیوار جداکننده عملکرد بهتری در عبور قطعات شناور به پایین‌دست دارد. هگر (Hage, 1992) رابطه‌ای برای ضریب افت انرژی در جریان‌های انحرافی ارائه داد که به عدد فرود در بالادست کانال اصلی و نسبت دبی بین بخش‌های بالادست و پایین‌دست آبگیر وابسته است. نیری و ادگارد (Neary & Odgaard, 1993) نیز نشان دادند که جریان در کانال انحرافی عمدتاً از لایه‌های نزدیک به بستر تأمین می‌شود، این لایه‌ها معمولاً دارای غلظت بالای رسوب هستند. این یافته‌ها بر اهمیت شناخت ساختار جریان در طراحی آبگیرهای جانبی تأکید دارند.

مطالعات مرور شده نشان می‌دهند که کنترل رسوب در آبگیرهای جانبی مسئله‌ای است چندبعدی که بستگی دارد به تعامل میان هندسه آبگیر، شرایط جریان، موقعیت در قوس رودخانه و سازه‌های کنترلی. صفحات مستغرق، آبشکن‌ها و آستانه‌ها در صورت طراحی هدفمند و ترکیبی می‌توانند راندمان حذف رسوب را تا بیش از ۷۰ درصد افزایش دهند. زاویه‌های ۳۰ تا ۶۰ درجه در موقعیت‌های ۱۱۵ تا ۱۳۵ درجه قوس، به‌عنوان پیکربندی‌های بهینه برای کاهش ناحیه گردابی و افزایش دبی انحرافی شناخته شده‌اند. شرایط متغیر رسوبی و نوسان‌های دبی جریان تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد آبگیرها دارند و باید در طراحی لحاظ شوند. در مجموع، اتخاذ رویکردی تلفیقی در طراحی آبگیرهای جانبی می‌تواند موجب افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌های نگهداری و ارتقای پایداری سامانه‌های انتقال آب شود.

مطالعات عددی در زمینه آبگیر

مطالعات گسترده در حوزه آبگیرهای جانبی نشان می‌دهند که صفحات مستغرق، به‌ویژه در صورت طراحی هدفمند و آرایش بهینه، نقش مؤثری در کاهش ورود رسوبات دارند. یافته‌های تجربی و عددی حاکی از آن‌اند که این

سه برابر ارتفاع، و زاویه نصب ۲۰ تا ۳۰ درجه معرفی کرده‌اند. همچنین، استفاده از آرایش‌های موازی و زیگزاگی (Ingle & Mahankal, 1990) و صفحات منحنی شکل (Raudkivi, 1993) به عنوان راهکارهای مؤثر در کاهش فرسایش و هدایت جریان پیشنهاد شده‌اند. از منظر رفتار جریان، مطالعات نشان داده‌اند که حضور صفحات مستغرق و آستانه‌ها موجب کاهش مؤلفه عرضی سرعت، محدودسازی ناحیه گردابی و بهبود یکنواختی جریان در دهانه آبیگر می‌شود (Abbasi, 2003; Keshavarzi & Kazemzadeh Parsi, 2006; Pirestani *et al.*, 2006). همچنین، جریان‌های ثانویه در قوس داخلی تحت تأثیر مکش و هندسه کانال تغییر می‌کنند و در مقاطع خاصی مانند زاویه ۴۵ درجه به اوج می‌رسند (Montasseri *et al.*, 2009). این جریان‌ها در تعامل با صفحات مستغرق، موجب انحراف جریان‌های پرسوب از دهانه آبیگر و کاهش تجمع رسوبات می‌شوند (Safarzadeh Gandeshemin, 2009; Rostamabadi *et al.*, 2009). در مجموع، یافته‌های مرور شده نشان می‌دهند که کنترل مؤثر رسوب در آبیگرهای جانبی نیازمند رویکردی تلفیقی است که در آن طراحی دقیق صفحات مستغرق، استفاده از سازه‌های ترکیبی، و درک عمیق از رفتار جریان و هندسه کانال به صورت هم‌زمان مدنظر قرار گیرد. چنین رویکردی می‌تواند منجر به افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌های نگهداری و بالارفتن پایداری سامانه‌های انتقال آب در شرایط متغیر هیدرولیکی شود. شواهد تجربی و عددی حاصل از مطالعات متعدد نشان می‌دهند که موقعیت و زاویه آبیگر در قوس رودخانه از عوامل تعیین‌کننده در میزان ورود رسوبات به آبیگرهای جانبی هستند. این پارامترها با تأثیرگذاری بر الگوی جریان، ناحیه جداسازی و شدت جریان‌های ثانویه نقش مهمی در شکل‌گیری نواحی تمرکز رسوب خواهند داشت. مطالعات ایزدپناه و صالحی نیشابوری (Izadpanah & Salehi, 2003) و منتظری و همکاران (Montasseri *et al.*, 2009) موقعیت‌های ۷۵ و ۱۱۵ درجه را به عنوان نقاط بحرانی در رسوب‌گذاری معرفی کرده‌اند، در حالی که

پیرستانی (Pirestani, 2004) زاویه ۶۰ درجه در موقعیت ۱۱۵ درجه را به عنوان پیکربندی بهینه با بیشترین دبی انحرافی پیشنهاد داده است. یافته‌های دهقانی و همکاران (Dehghani *et al.*, 2006) نیز نشان می‌دهد که در موقعیت ۱۳۵ درجه، کاهش مؤلفه عرضی سرعت موجب کاهش انتقال رسوب می‌شود. در مقابل، زاویه ۹۰ درجه در مطالعات صفرزاده (Safarzadeh, 2004)، ابوالقاسمی (Abolghasemi, 2013) و گوهری و ایوب‌زاده (Gohari & Ayoubzadeh, 2009) با تشکیل جریان چرخشی و افزایش مؤلفه عرضی موجب تجمع رسوبات در دهانه آبیگر شده است، هرچند این اثر در دبی‌های بالاتر تا حدی تعدیل می‌گردد. بر اساس نتایج مطالعات مختلف، زاویه‌های ۵۵ تا ۶۰ درجه در موقعیت‌های ۱۱۵ تا ۱۳۵ درجه از قوس، به عنوان پیکربندی‌های بهینه برای کاهش ورود رسوبات پیشنهاد شده‌اند. درخشان (Derakhshan, 2015)، زاویه ۳۰ درجه را به عنوان زاویه بهینه معرفی کرده‌است که با نتایج تجربی همخوانی دارد. این یافته‌ها با مطالعات کلاسیک مانند وارما و همکاران (Varma *et al.*, 1989)، ونونی (Vanoni, 1977) و رادکیوی (Raudkivi, 1993) نیز هم‌راستا هستند که زاویه‌های بین ۲۵ تا ۴۵ درجه را برای کاهش ناحیه گردابی و افت انرژی مناسب دانسته‌اند. مطالعاتی مانند مطالعات عباسی و همکاران (Abbasi *et al.*, 2003)، کشاورزی و حبیبی (Keshavarzi & Habibi, 2005) و عباسی و ملک‌نژاد یزدی (Abbasi & Maleknejad Yazdi, 2014) نشان داده‌اند که کاهش زاویه آبیگر از ۹۰ به ۴۵ یا ۵۵ درجه موجب کاهش ابعاد ناحیه گردابی و بهبود عملکرد آبیگر می‌شود. شاملو و پیرزاده (Shamloo & Pirzadeh, 2007) گزارش کردند که افزایش نسبت دبی آبیگری موجب کاهش ابعاد ناحیه گردابی می‌شود و در دبی‌های کم، این ناحیه تا بیش از ۱۵ درصد عرض کانال آبیگر را اشغال می‌کند. در برخی مطالعات، تضاد میان کارایی هیدرولیکی و کنترل رسوب در زاویه‌های مختلف بررسی شده است. برای مثال، زاویه ۵۲ درجه با وجود افزایش ظرفیت آگذری، در

موجب توسعه عرضی فرم‌های بستری و افزایش ورود رسوب به آبگیر شود (Badri *et al.*, 2016; Moradinejad *et al.*, 2018). جریان‌های ثانویه در قوس‌ها نیز نقش مهمی در هدایت یا دفع رسوبات دارند و رفتار آن‌ها تحت تأثیر زاویه آبگیر، عمق جریان و ویژگی‌های هندسی کانال تغییر می‌کند (Abolghasemi, 2012; Karami Moghaddam & Seyedian, 2016). شرایط رسوبی متغیر از جمله دانه‌بندی، غلظت، اندازه ذرات و نوسان‌های دبی جریان نیز تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد آبگیرها دارند. مطالعات احمد و همکاران (Ahmed *et al.*, 2025) و اسمعیلی ورکی و همکاران (Esmaeili Varki *et al.*, 2010) نشان داده‌اند که افزایش دبی جریان و اندازه ذرات رسوب، موجب افزایش عمق فرسایش و تشدید ورود رسوبات حتی در دبی‌های ثابت آبگیری می‌شود. این یافته‌ها بر اهمیت طراحی هم‌زمان سیستم‌های کنترل دبی و مدیریت رسوب تأکید دارند. در بررسی‌های آزمایشگاهی، کریمی و همکاران (Karami *et al.*, 2010) دریافتند که کاهش عمق جریان موجب کاهش توان جریان‌های ثانویه و در نتیجه کاهش ورود رسوب به آبگیر می‌شود. همچنین، در محدوده عدد فرود ۰.۳۵ تا ۰.۴، میزان رسوب ورودی به حداقل مقدار کاهش می‌یابد. داوودی و شفاعی‌بجستان (Davoodi & Shafaei Bajestan, 2011) نیز نشان دادند که صفحات مستغرق در کانال‌های دوزنقه‌ای در شرایط جریان پرانرژی عملکرد بهتری دارند و در فاصله‌گذاری بهینه (۸ برابر ارتفاع)، کاهش ۳۱ درصد رسوب را به همراه دارند. در مجموع، یافته‌های مرور شده نشان می‌دهند که طراحی بهینه آبگیرهای جانبی باید با در نظر گرفتن هم‌زمان پارامترهای هیدرولیکی (عدد فرود، دبی جریان، زاویه آبگیر) و ویژگی‌های رسوبی (اندازه ذرات، غلظت، دبی تخلیه) باشد. استفاده از مدل‌های ترکیبی، آزمایش‌های میدانی و شبیه‌سازی‌های عددی در شرایط واقعی می‌تواند به درک بهتر این تعاملات پیچیده کمک کند و زمینه‌ساز توسعه راهکارهای پایدار در مدیریت رسوب و افزایش راندمان آبگیری گردد. مطالعات کریمی و همکاران

نسبت‌های پایین به دلیل ضعف جریان‌های ثانویه، رسوب بیشتری را منتقل می‌کند (Abolghasemi, 2013). در مقابل، آشناور و یاسی (Ashnavar & Yasi, 2023) تأکید کرده‌اند که زاویه ۹۰ درجه در آبگیر داخلی پیچ، عملکرد بهتری در کاهش رسوب دارد، در حالی که یاسی و فرهادی (Yasi & Farhadi, 2019) زاویه ۶۰ درجه را موجب یکنواختی جریان و کاهش رسوب معرفی کرده‌اند. علاوه بر زاویه و موقعیت، اصلاح هندسه دیواره‌ها نیز در بهبود عملکرد آبگیر مؤثر است. شایان‌مهر و همکاران (Shayanmehr *et al.*, 2026) در پژوهشی جامع در باره بهینه‌سازی آبگیرهای جانبی در پیچ رودخانه‌ها نشان دادند که تعامل هیدرولیکی میان آبگیر جانبی و سرریز سینه‌پهن پایین‌دست نقش تعیین‌کننده‌ای در کنترل جریان‌های ثانویه دارد. یافته‌های این مطالعه حاکی از آن است که جانمایی بهینه آبگیر در کرانه بیرونی پیچ، در کنار تنظیم دقیق ارتفاع سرریز، منجر به ایجاد الگوی جریان پایدار می‌شود که ضمن حداکثرسازی دبی انحرافی، میزان ورود رسوبات بستر را به کانال آبگیر به حداقل می‌رساند. در این راستا، رزاقی و همکاران (Razaghi *et al.*, 2019) تأکید می‌کنند که تعیین دبی انحرافی در سیستم‌های آبی، نیازمند ارزیابی دقیق جریان زیست‌محیطی است تا ضمن تأمین نیازهای هیدرولیکی، کارکردهای اکولوژیکی مسیر اصلی رودخانه نیز طی زمان حفظ شود. مطالعات متعدد نشان می‌دهند که شرایط هیدرودینامیکی و ویژگی‌های رسوبی نقش تعیین‌کننده‌ای در رفتار جریان و میزان رسوب‌گذاری در آبگیرهای جانبی دارند. افزایش عدد فرود و دبی جریان، به‌ویژه در مقاطع با زاویه ۹۰ درجه، موجب تشدید تشکیل جریان‌های چرخشی، گسترش ناحیه فرسایش و افزایش ورود رسوبات به دهانه آبگیر می‌شود (Abolghasemi, 2013; Mousavi & Ghodsian, 2010; Safarzadeh, 2004). این اثر در قوس‌هایی با انحنای کمتر و در شرایط پرانرژی جریان، شدت بیشتری دارد و ناحیه حداکثر آبشستگی به پایین‌دست منتقل می‌شود. از سوی دیگر، مطالعات نشان داده‌اند که کاهش عدد فرود می‌تواند

(Karami *et al.*, 2011) با استفاده از مدل عددی SSIIM2 نشان می‌دهد کانال‌های دوزنقه‌ای نسبت به کانال‌های مستطیلی عملکرد بهتری در کنترل رسوب دارند، زیرا عرض خط جدایی جریان در سطح بیشتر و در کف کمتر است؛ این ویژگی موجب کاهش تمرکز رسوبات در ناحیه ورودی آبیگر می‌شود. مطالعات جلیلی و همکاران (Jalili *et al.*, 2012)، کرمی‌مقدم و همکاران (Karami-Moghadam *et al.*, 2017; Karami Moghadam *et al.*, 2018) و نظری و همکاران (Nazari *et al.*, 2018) نشان داده‌اند که استفاده از دهانه‌های گردگوشه و قوس‌دار، همراه با شیب‌دار کردن دیواره کانال اصلی، موجب کاهش عرض جریان در لایه‌های نزدیک بستر و در نتیجه کاهش ورود رسوب به آبیگر می‌شود. در مجموع، یافته‌های مرور شده نشان می‌دهند که اصلاح هندسه کانال و دهانه آبیگر از جمله تغییر زاویه دیواره‌ها، استفاده از مقاطع دوزنقه‌ای، و طراحی دهانه‌های قوس‌دار نقش مؤثری در بهبود الگوی جریان، کاهش ناحیه جداشدگی و محدودسازی ورود رسوبات دارند. این اصلاحات هندسی، به‌ویژه در شرایط هیدرولیکی خاص مانند جریان‌های کم‌عمق یا دبی‌های متغیر می‌توانند به‌عنوان راهکارهای مؤثر در طراحی بهینه آبیگرهای جانبی به‌کار روند. رحمانی فیروزجائی و همکاران (Rahmani Firouzjai *et al.*, 2021) با استفاده از مدل FLOW3D نشان دادند که بهترین راندمان زمانی حاصل می‌شود که فرو رفتگی لوله آبیگر حداکثر ۴۰ درصد عرض کانال باشد و در تراز ارتفاعی ۰.۲۸ تا ۰.۵۷ عمق جریان قرار گیرد. در مطالعات کلاسیک مانند مطالعات تیلور (Taylor, ۱۹۴۴)، ایندکوپر و همکاران (Indlekooper *et al.*, ۱۹۸۷)، بارکدول (Barkdoll, 1997)، راما‌مورتی و ساتیش (Ramamurthy & Satish, ۱۹۸۸)، رفتار جریان ثانویه، انتقال مومنتوم، و ابعاد ناحیه جداشدگی بررسی شده است. این مطالعات پایه‌های نظری مهمی برای طراحی آبیگرهای جانبی فراهم کرده‌اند. در مطالعات کلاسیک مانند مطالعات بست و رید (Best & Reid, 1984)، کاستوری و پوناریکانسان (Kasthuri & ۱۹۸۷) و نییری و ادگارد (Neary & Odgaard, 1993) به بررسی ناحیه جداشدگی جریان و تأثیر آن بر ورود رسوب پرداخته شده است. یافته‌ها نشان می‌دهند که ناحیه جداشدگی در کف بزرگ‌تر است تا در سطح آب و جریان‌های ثانویه موجب تجمع رسوب در دیواره داخلی آبیگر می‌شوند. نییری و همکاران (Neary *et al.*, 1999) نیز با مدل‌سازی سه‌بعدی، تأثیر زبری بستر و نسبت دبی را بر شدت گردابه‌ها بررسی کردند. خو و همکاران (Xu *et al.*, 2024) و پینه‌ریو (Pinheiro, 2025) به بررسی جریان دو فازی و تأثیر لایه‌بندی جریان بر کیفیت آب خروجی پرداخته‌اند. یافته‌ها نشان می‌دهند که در دبی‌های بالا، جریان از لایه‌های عمیق‌تر برداشت می‌شود و این امر موجب افزایش ۳۰ درصد در پارامترهای کیفیت آب در خروجی می‌شود. نییری و ادگارد (Neary & Odgaard, 1993) و هگر (Hager, 1987) با بررسی ساختار جریان در آبیگرهای جانبی نشان دادند جریان در کانال انحرافی عمدتاً از لایه‌های نزدیک به بستر تأمین می‌شود و عرض ناحیه جداشدگی از سطح به کف افزایش می‌یابد. این ناحیه مستعد تجمع رسوب و تشکیل تپه ماسه‌ای در دیواره بالادست آبیگر است (Neary *et al.*, 1999). با مدل‌سازی عددی سه‌بعدی نشان دادند که شدت جریان گردابی و جریان ثانویه در داخل کانال آبیگر بستگی به نسبت دبی آبیگری و زبری بستر دارد. راما‌مورتی و همکاران (Ramamurthy *et al.*, 2007) تأکید کردند که در محل انقباض جریان، بیشترین سرعت مشاهده می‌شود و ناحیه جدایی دیگری در کانال اصلی شکل می‌گیرد. در مطالعات متعدد از مدل‌های عددی برای شبیه‌سازی جریان و رسوب‌گذاری استفاده شده است. وسکیویز (Vasquez, 2005) با استفاده از مدل دو بعدی، میدان سرعت را با دقت بالا شبیه‌سازی کرد. همچنین، هسو و همکاران (Hsu *et al.*, 2002) روابط تحلیلی دقیقی برای ضریب شدت جریان ارائه کردند که با داده‌های آزمایشگاهی تطابق خوبی داشتند. این مقاله مروری، سیر تحول مهندسی آبیگرهای جانبی را طی هشت دهه (۱۹۴۴-۲۰۲۵) با تأکید بر دو بازوی اصلی

طریق تلفیق هوشمندانه داده‌های تجربی با شبیه‌سازی‌های پیشرفته عددی است که می‌توان به یک مدل یکپارچه دست یافت که در آن هندسهٔ آبگیر، سازه‌های جانبی مکمل و سیستم‌های کنترلی انطباق‌پذیر به‌مثابه یک کل واحد در برابر پایداری ریخت‌شناختی رودخانه‌ها عمل کنند.

در این پژوهش از مدل پریسما و روش مرور مفهومی به صورت تلفیقی استفاده شده است. روش مرور مفهومی اولین بار از سوی آرکسی و املی در سال ۲۰۰۵ (Arksey & O'Malley, 2005) به شکل جامع معرفی شد. پس از آن، افراد دیگری همچون اکلی و شامبرام (Okoli & Schabram, 2010) در هشت گام برای اجرای مطالعات مروری مفهومی پیشنهاد کردند. این الگو که جدیدترین الگوی پیشنهادی برای اجرای این گونه مطالعات است و در ادامه به مراحل آن اشاره می‌شود. اولین مرحله مشخص کردن هدف بررسی است که هدف مطالعه حاضر، تاثیر عوامل مختلف و اعمال ضریب تاثیر در عملکرد آبگیر با هدف حداقل رسوب ایران است. دومین مرحله مشخص کردن قواعد بررسی که در این مطالعه برای گردآوری مقالات، ابتدا پایگاه‌های داده تعیین شدند. این پایگاه‌ها شامل مواردی همچون بانک اطلاعات نشریات ایران^۷، ایرانداک^۸، گوگل^۹، سیویلیکا^{۱۰}، گوگل اسکولار^{۱۱}، و پایگاه اطلاعات علمی^{۱۲} استفاده شد. سومین مرحله جست‌وجو است که موجب گردآوری منابع در پایگاه‌های نامبرده از کلیدواژه‌های "آبگیر"، "کنترل رسوب"، "سازه‌های آبی" و "حداقل رسوب" در عنوان، چکیده و کلیدواژه‌ها استفاده شد. چهارمین مرحله غربال اولیه است که با در نظر گرفتن هدف مطالعه، ۱۴۴ مقاله از پایگاه‌های مذکور گردآوری شد. از این میان، ۱۲ مقاله تکراری و نامرتب از مطالعه حذف شدند. پنجمین مرحله ارزیابی کیفی مطالعات است که در این مرحله، ۶ مقاله رد شده به دلیل

پژوهشی، یعنی مطالعات آزمایشگاهی و مدل‌سازی عددی واکاوی کرده‌است. تحلیل سنتزگونه این رویکردها نشان می‌دهد مطالعات آزمایشگاهی کماکان به عنوان مرجع حقیقت^۱ در درک اندرکنش میان جریان ثانویه و هندسهٔ دهانه عمل می‌کنند به گونه‌ای که توافق حاصل بر سر زاویه‌های انحراف ۴۵ تا ۶۰ درجه و موقعیت‌سنجی در قوس ۱۱۵ تا ۱۳۵ درجه سنگ‌بنای طراحی‌های فعلی را شکل داده است. در مقابل، مدل‌سازی‌های عددی با گذر از مدل‌های دوبعدی کلاسیک به سمت مدل‌های سه‌بعدی پیشرفته مبتنی بر LES، وضوح مکانی بی‌نظیری را در تحلیل تنش‌های برشی بستر و ناحیه جداشدگی فراهم آورده‌اند که در آزمایشگاه‌های سنتی به‌سختی قابل‌رصد کردن است. اگرچه هر دو رویکرد در شرایط جریان ماندگار^۲ به همگرایی مطلوبی دست یافته‌اند، اما یک تقابل پارادایمیک میان آن‌ها مشهود است. مطالعات آزمایشگاهی با وجود دقت پدیدارشناختی بالا، همواره با چالش اثرهای مقیاس^۳ و هزینه‌های اجرایی مواجه هستند، در حالی که مدل‌سازی عددی، به‌رغم توانمندی در پیش‌بینی سناریوهای پیچیده، همچنان در شبیه‌سازی دقیق دانه‌بندی متغیر رسوب و تعریف شرایط مرزی غیردائم^۴ با عدم قطعیت‌های محاسباتی روبه‌روست. این تفاوت در ماهیت روش‌شناختی نشان می‌دهد که مطالعات عددی نه جایگزینی برای آزمایش‌های فیزیکی، بلکه ابزاری مکمل برای کشف مکانیسم‌های ناپیدای هیدرودینامیکی هستند. دستیابی به طراحی بهینه در سال ۲۰۲۵، مستلزم عبور از راهکارهای تک‌مؤلفه‌ای و حرکت به سمت پارادایم مدیریت هوشمند رسوب است. پژوهش‌های آتی باید بر توسعهٔ مدل‌های هیبریدی مانند تلفیق فیزیک حاکم با شبکه‌های عصبی^۵ و انتقال از مدل‌های آزمایشگاهی کوچک به مطالعات در مقیاس واقعی^۶ متمرکز شوند. تنها از

⁷ Magiran

⁸ Irandoc

⁹ google

¹⁰ civilica

¹¹ google scholar

¹² SID

¹ Ground Truth

² Steady Flow

³ Scale Effects

⁴ Unsteady

⁵ PINNs

⁶ Prototype

مقاله جمع آوری شده به صورت کامل و منسجم بررسی شدند و در قسمت روش پژوهش به صورت خلاصه وار ارائه شده است. از منظر جغرافیایی، مطالعات مورد بررسی شامل مشارکت پژوهشگرانی از کشورهای ایران، ایالات متحده آمریکا، چین، ژاپن، هند، برزیل و عراق بوده‌اند. ایران در دو دهه اخیر با تمرکز بر مدل سازی عددی، آزمایش های فیزیکی و طراحی سازه های ترکیبی، سهم قابل توجهی از تولید علمی در این حوزه را داشته است. پژوهشگران آمریکایی و ژاپنی نیز در دهه های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ میلادی پیشگام مطالعات پایه ای و آزمایشگاهی بوده‌اند. در سال های اخیر، کشورهای چین، عراق و برزیل با بهره گیری از نرم افزارهای عددی پیشرفته، به توسعه روش های نوین در تحلیل جریان و رسوب گذاری پرداخته‌اند. تنوع جغرافیایی و زمانی پژوهش ها نشان دهنده ماهیت جهانی مسئله کنترل رسوب در آبیگرهای جانبی است. بهره گیری از مدل پریسما در این پژوهش، نه تنها اعتبار علمی و روش شناختی مطالعه را ارتقا داده است، بلکه امکان تعمیم نتایج به شرایط مختلف اقلیمی، هیدرولیکی و توپوگرافی را فراهم ساخته است. این چارچوب، بستری منسجم برای انتخاب منابع علمی فراهم آورده و از سوگیری احتمالی در فرآیند مرور ادبیات جلوگیری کرده است.

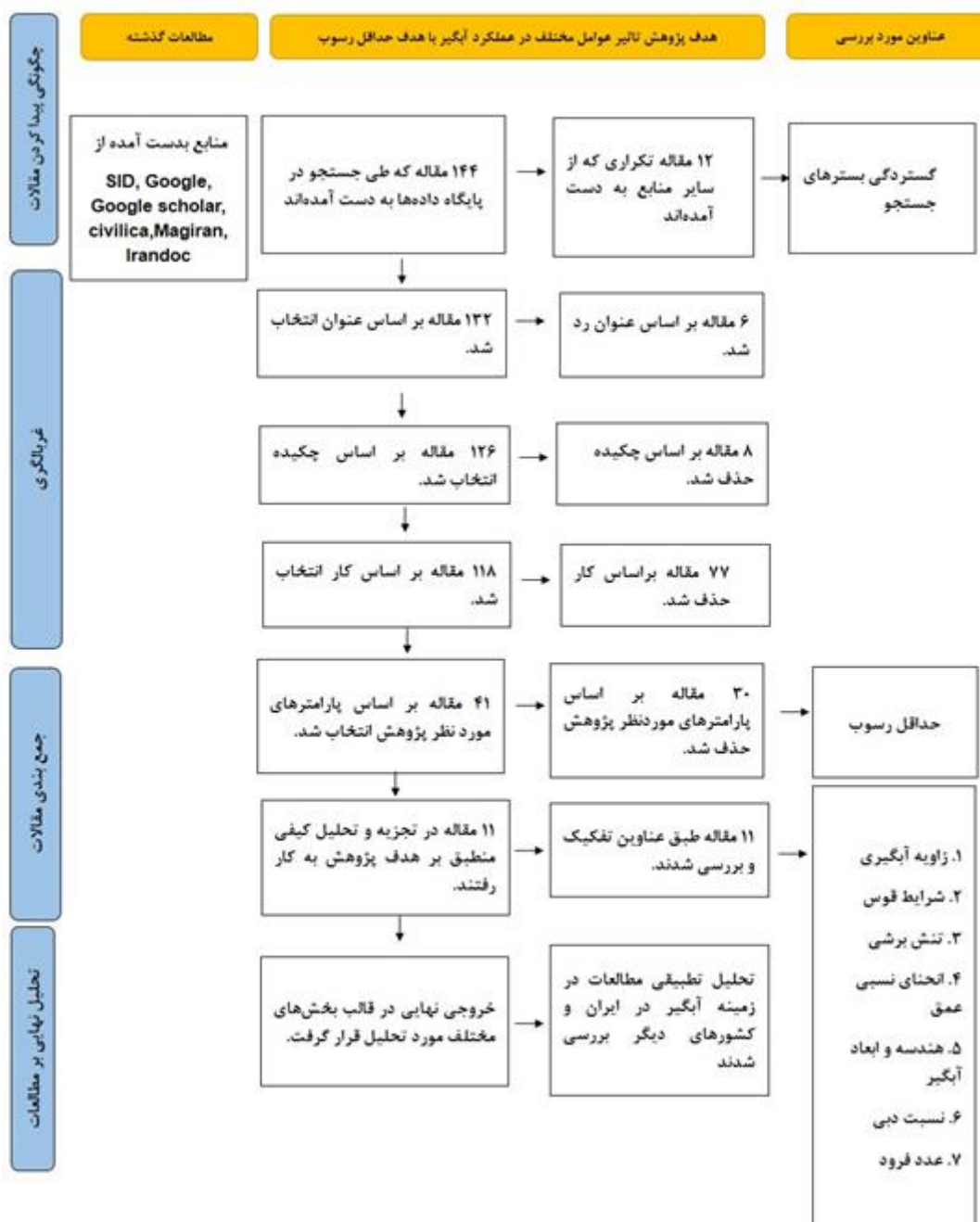
همان گونه که پیش تر اشاره شد، ۱۱ مقاله که در سال های ۱۹۴۴ تا ۲۰۲۵ منتشر شده و متغیر، عوامل یا شاخص های تاثیرگذار در آبیگر را ارائه داده بودند، در این پژوهش بررسی شدند. فشرده ای از اطلاعات گردآوری شده در جدول ۱ بیان شده است.

نتایج

در نهایت موارد تاثیرگذار مستخرج از مقالات در آبیگر مشخص گردید. این موارد از عوامل تاثیرگذار در آبیگر با هدف حداقل ورود رسوب است (جدول ۲).

عنوان نامرتبط، ۸ مقاله حذف شده به دلیل چکیده نامرتبط، ۷۷ مقاله رد شده به دلیل تناقض محتوای مقاله با اهداف پژوهش، ۳۰ مقاله رد شده به دلیل پارامترهای مورد نظر و هدف پژوهش بوده است. سپس ۱۱ مقاله به عنوان مبنای کار قرار گرفتند. ششمین مرحله استخراج داده ها که محتوای ۱۱ مقاله به دقت بررسی شد و ویژگی های معرفی شده در جهت عملکرد آبیگر از این مقالات استخراج شد. هفتمین مرحله تجزیه و تحلیل داده ها است که شاخص های ارائه شده برای بررسی عوامل مختلف در عملکرد آبیگر به حداقل رسوب بررسی شد. هشتمین و آخرین مرحله ارائه نتایج بوده که نتایج با توجه به دسته بندی های به دست آمده ارائه شد. شکل ۱ روند اجرای مطالعه را بر اساس مدل پریسما نشان می دهد. این مطالعه با رویکرد مرور شبه نظام مند، به تحلیل و طبقه بندی مطالعات علمی مرتبط با کنترل رسوب در آبیگرهای جانبی پرداخته است. به منظور تضمین شفافیت، قابلیت بازتولید و اعتبار روش شناسی، چارچوب پریسما^۱ به عنوان مدل اجرایی انتخاب شد. این مدل، فرآیند انتخاب منابع را در چهار مرحله اصلی شامل شناسایی، غربالگری، ارزیابی صلاحیت و گنجاندن در تحلیل ساماندهی می کند. در مرحله شناسایی، ۱۴۴ مقاله از پایگاه های داده معتبر استخراج شد. پس از حذف ۱۲ مقاله تکراری، ۱۳۲ منبع منحصربه فرد برای بررسی اولیه در نظر گرفته شد. در مرحله غربالگری، ۶ مقاله به دلیل منطبق نبودن موضوعی حذف و ۱۲۶ مقاله بر اساس عنوان مرتبط انتخاب شد. با بررسی چکیده ها، ۱۲۶ مقاله واجد شرایط تشخیص داده شد و ۸ مقاله دیگر کنار گذاشته شد. در مرحله ارزیابی صلاحیت، ۷۷ مقاله به دلیل تطبیق نداشتن با هدف های پژوهش حذف شد و ۴۱ مقاله بر اساس انطباق با پارامترهای تخصصی مانند زاویه آبیگر، نوع سازه کنترلی، عدد فرود و رفتار جریان های ثانویه انتخاب گردید. سرانجام ۱۱ مقاله برای تجزیه و تحلیل کیفی نهایی استفاده شدند. لازم است گفته شود همه ۱۳۲

¹ Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses



شکل ۱- روند اجرای مطالعه با استفاده از مدل پریسما

Fig. 1- Workflow of the study based on the PRISMA framework

جدول ۱- جمع بندی مقالات استفاده شده در این مطالعه حاضر
Table 1. Summary of the articles used in the present study

ردیف	نویسندگان	نسبت دبی	زاویه های آبیگری (درجه)	نوع بستر	پارامترهای جریان	درصد کاهش رسوب	ناحیه جدانشدگی بهینه
۱	جلیلی و همکاران (Jalili et al., 2011)	۰/۲-۰/۴-۰/۶	۴۵، ۹۰	صلب و متحرک	جریان زیر بحرانی	۵۸% = ۰/۲ ۵۰% = ۰/۴ ۳۳% = ۰/۶	حدود ۱.۵-۱.۸ = ۰/۲ حدود ۰.۹-۱.۱ = ۰/۴ حدود ۰.۵-۰.۷ = ۰/۶
۲	کشاورزی و حبیبی (Keshavarzi & Habibi, 2005)	اشاره نشده است	۴۵، ۵۶، ۶۷، ۷۹، ۹۰	بتن صاف	Fr=۰/۱۳۰-۰/۱۵۰- Re=۲۵۱۰۷-۲۸۶۹۷	گزارش نشده است	گزارش نشده است. زاویه بهینه: ۵۵ درجه
۳	آل زبیدی و هیلو (Al-Zubaidy & Hilo, 2022)	اشاره نشده است	۳۰، ۴۵	صلب	جریان زیر بحرانی	بهینه سازی هندسه = کاهش پتانسیل رسوب گذاری	زاویه بزرگ و گوشه تیز: ۳.۵ - ۴ زاویه ۳۰-۴۵ و گوشه های گرد: ۱.۲-۱.۸
۴	ورکی و همکاران (Varki et al., (2011)	اشاره نشده است	۹۰، ۴۵	صلب	جریان زیر بحرانی	تغییر شیب دیواره کانال = کاهش رسوب	گزارش نشده است
۵	توکلی و همکاران (Tavakoli et al., (2019)	۰/۲-۰/۴-۰/۶	۳۰-۹۰	متحرک	جریان زیر بحرانی	۶۰%-۳۰%	زاویه و نسبت دبی = ابعاد ناحیه جدانشدگی
۶	عباسی و همکاران (Abbasi et al., (2003)	۰/۱۷۵-۰/۶۳۵	۴۵	صلب	به صورت بی بعد	اشاره نشده است	افزایش نسبت دبی = کاهش ابعاد ناحیه جدانشدگی کاهش زاویه آبیگری = طول ناحیه جدانشدگی افزایش، عرض ناحیه جدانشدگی کاهش
۷	پیرستانی و همکاران (Pirestani et al., (2008)	۰/۳، ۰/۴، ۰/۶	۱۱۵، ۷۵، ۴۰	صلب	Fr= ۰/۲۷، ۰/۴۱، ۰/۵۵	زاویه ۱۱۵ درجه توصیه شده است	گزارش نشده است
۸	موسوی و همکاران (Montasseri et al., 2009)	اشاره نشده است	۹۰	متحرک	جریان زیر بحرانی	افزایش دبی و افزایش عدد فرود = آبشستگی	گزارش نشده است
۹	نظری و شفاعی بجنستان (Nazari & Shafaei Bajestan, 2010)	اشاره نشده است	۳۰، ۴۵، ۷۵، ۹۰	صلب	جریان زیر بحرانی	زاویه ۴۵ درجه توصیه شده است	گزارش نشده است
۱۰	منتصری و جمال آبادی (Montasseri & Jamalabadi, 2023)	۰/۲-۰/۳-۰/۴	۱۰، ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۹۰	صلب	جریان زیر بحرانی	زاویه ۳۸ درجه توصیه شده است	گزارش نشده است
۱۱	اسمعیلی ورکی و همکاران (Varki et al., 2008)	۰/۱۸	۹۰	صلب	جریان زیر بحرانی	۶۵/۴% = ۰/۱۸	گزارش نشده است

جدول ۲- عوامل تاثیرگذار مستخرج از ۱۱ مقاله بررسی شده در زمینه آبیگر

Table 2. Extracted influential factors from 11 reviewed studies on lateral intake performance

ردیف	عوامل تاثیرگذار	نویسندگان
۱	زاویه آبیگر	Pirestani <i>et al.</i> , 2008- Abbasi <i>et al.</i> , 2003- Montasseri & Jamalabadi, 2023- Varki <i>et al.</i> , 2008- Varki <i>et al.</i> , 2011- Tavakoli & Dehghani, 2019- Keshavarzi & Habibi, 2005- Nazari & Shafaei Bajestan, 2010- Al-Zubaidy & Hilo, 2022
۲	شرایط قوس	Jalili <i>et al.</i> , 2011- Mousavi & Ghodsian, 2010- Nazari & Shafaei Bajestan, 2010- Al-Zubaidy & Hilo, 2022
۳	تنش برشی	Al-Zubaidy & Hilo, 2022
۴	انحنای نسبی عمق	Mousavi & Ghodsian, 2010
۵	هندسه و ابعاد آبیگر	Al-Zubaidy & Hilo, 2022
۶	نسبت دبی	Abbasi <i>et al.</i> , 2003- Mousavi & Ghodsian, 2010- Nazari & Shafaei Bajestan, 2010
۷	عدد فرود	Abbasi <i>et al.</i> , 2003- Mousavi & Ghodsian, 2010- Nazari & Shafaei Bajestan, 2010

تجزیه و تحلیل

دلیل ایجاد عرض بیشتر در خط جدایی جریان در سطح و محدودسازی آن در نزدیکی کف، عملکرد بسیار مطلوب‌تری در مدیریت توزیع رسوبات دارند. محور دوم تحلیل، بر تعامل میان پارامترهای هیدرودینامیکی و الگوهای جریان تمرکز دارد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد پایداری عملکرد آبیگر به شدت تحت تأثیر عدد فرود قرار دارد، به طوری که محدوده بهینه بین 0.35 تا 0.4 به عنوان رژیم شناسایی شده است که در آن ورود رسوب به حداقل می‌رسد. این امر نشان‌دهنده ضرورت تنظیم دقیق تعادل میان نیروهای اینرسی و گرانشی برای مدیریت گردابه‌های چرخش ثانویه است. علاوه بر این، نسبت انحنای و جایگذاری استراتژیک آبیگر در قوس رودخانه (در محدوده ۱۱۵ تا ۱۳۵ درجه، طبق نظر تیلور و بارکدال (Taylor, 1944 ; Barkdoll, 1997) و همچنین رعایت نسبت بهینه فرورفتگی نسبت به عرض کانال (حدود ۴۰ درصد، مطابق با یافته‌های رحمانی فیروزجای Rahmani Firouzjai *et al.*, 2021) از ارکان اصلی طراحی کارآمد هستند. باید توجه داشت که نسبت دبی آبیگر به دبی جریان اصلی محرک اصلی شدت گردابه‌هاست (Neary *et al.*, 1999) که به شدت به میزان زبری بستر وابستگی دارد. تحلیل مکانیسم‌های انتقال رسوب نشان می‌دهد که کنترل میزان رسوبات ورودی مستلزم مدیریت دقیق تنش برشی بستر (τ_b) است. استفاده از راهکارهای مهندسی مانند صفحات

تجزیه و تحلیل نظام‌مند یافته‌ها نشان‌دهنده یک ساختار پیچیده و وابسته از پارامترهای هندسی و دینامیک جریان در مدیریت ورود رسوب به آبیگرهای جانبی است. برخلاف دیدگاه‌های سنتی که طراحی آبیگر را صرفاً مسئله‌ای هندسی ایستا می‌دانستند، نتایج این مرور نشان می‌دهد که بهینه‌سازی عملکرد سیستم مستلزم مدیریت همزمان جریان‌های ثانویه و توزیع تنش برشی در نزدیکی دهانه ورودی است. در بررسی اولین محور پژوهش، یعنی پیکربندی هندسی دهانه ورودی، نتایج تحقیق نشان می‌دهد جهت‌گیری آبیگر نسبت به محور اصلی رودخانه نقشی حیاتی در کنترل غلظت رسوبات دارد. بر اساس بررسی مطالعات کلاسیک و نوین، اگرچه تأثیر بنیادین جریان‌های ثانویه توسط پژوهشگران پیشین (Odgaard, 1993) تبیین شده است، اما اجماع علمی فعلی بر این است که استفاده از زاویه‌های انحراف بین ۴۵ درجه تا ۶۰ درجه در کنار بهره‌گیری از دهانه‌های قوس‌دار یا گردگوشه (Jalili *et al.*, 2012)، می‌تواند به طور معناداری از ورود مستقیم لایه‌های حاوی رسوب جلوگیری کند. علاوه بر این، نوع مقطع عرضی نیز از عوامل تعیین‌کننده است؛ یافته‌های حاصل از بررسی مقالات (Karami *et al.*, 2011) حاکی از آن است که مقاطع دوزنقه‌ای، نسبت به مقاطع مستطیلی، به

مستغرق در فاصله‌های بهینه (مانند ۸ برابر ارتفاع، مطابق با نظر داودی و شفایی بجنستان Davoodi & Shafaei, 2011) یا طراحی دیواره‌های شیب‌دار می‌تواند با تغییر جهت مومنتوم لایه‌های رسوبی از ورود آن‌ها به دهانه جلوگیری کند. با پیشرفت تکنولوژی و استفاده از مدل‌سازی‌های پیشرفته عددی مانند LES و ۲SSIM، درک بهتری از توزیع تنش‌های برشی ایجاد شده است. پارادایم‌های نوین در حوزه جریان‌های دو فازی (مانند Xu *et al.*, 2024 و Pinheiro, 2025) نشان می‌دهند که در شرایط دبی بالا، به دلیل لایه‌بندی شدید رسوبات، مدیریت کیفیت آب خروجی نیازمند برداشت از لایه‌های عمیق‌تر و درک دقیق‌تر از دینامیک ذرات معلق است. در مجموع، گذار از مدل‌های تک‌مؤلفه‌ای به سمت مدل‌های هیبریدی که تلفیق قوانین فیزیکی با شبکه‌های عصبی هستند، که برای تحقیقات آینده دستیابی به پایداری ریخت‌شناختی رودخانه‌ها و مدیریت بهینه آبیگرها پیشنهاد می‌شود.

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی و سنتز داده‌های حاصل از ۱۳۲ مقاله (از ۱۹۴۴ تا ۲۰۲۵) نشان می‌دهد که طراحی آبیگرهای جانبی از روش‌های تجربی به سمت روش‌های مبتنی بر تحلیل دینامیک جریان تغییر یافته است. یافته‌های حاصل از بررسی مطالعات نشان می‌دهد که حالت هندسی بهینه برای کاهش تلفات ورودی قرارگیری آبیگر با زاویه بین 45° تا 60° در محدوده قوس رودخانه بین 115° تا 135° است. (Neary & Odgaard, 1993; Abbasi *et al.*, 2003) با این حال، نتایج بررسی‌ها حاکی از آن است که رعایت این محدودیت‌های هندسی به تنهایی برای کنترل پدیده‌های پیچیده مانند توربولانس و انتقال رسوب در رودخانه‌های پویا کافی نیست (Keshavarzi & Habibi, 2005). بر اساس تحلیل مقالات، عملکرد آبیگر بیش از آنکه تنها به زاویه قرارگیری وابسته باشد، به شدت تحت تأثیر اثر متقابل بین هندسه آبیگر و

تغییرات مورفولوژیک (شکل بستر) رودخانه قرار دارد. بر اساس مقایسه مطالعات مختلف، مشخص شده است که عرض ناحیه جداسازی در تراز کف رودخانه بسیار بیشتر است تا در سطح آزاد (Best, 1984). این پدیده عامل اصلی تجمع رسوبات در دیواره بالایی آبیگر و کاهش کارایی آن در درازمدت است. نتایج حاصل از ترکیب پارامترهایی مانند عدد فرود و نسبت دبی نشان می‌دهد که برای کنترل رسوب، باید از طراحی‌های ساده عبور کرد و از سازه‌های مکمل بهره برد. بررسی مقالات نشان می‌دهد که استفاده از سازه‌هایی مانند صفحات مستغرق، آستانه‌ها و دیواره‌های موج‌دار می‌تواند با تعدیل جریان‌های ثانویه، تراز رسوب‌گذاری را در نزدیکی آبیگر کنترل کند (Jalili *et al.*, 2011; Fazel Najafabadi & Ayubzadeh, 2024; Al-Zubaidy & Hilo, 2022). روش‌های مدل‌سازی در مقالات بررسی‌شده نشان می‌دهد که گذار از معادلات تحلیلی به سمت مدل‌سازی‌های عددی سه‌بعدی دقت پیش‌بینی میدان‌های سرعت و ساختارهای گردابی را به طور قابل توجهی افزایش داده است (Hsu *et al.*, 2002; Vasquez, 2005; Montaseri & Jamalabadi, 2023). با وجود پیشرفت‌های صورت گرفته در دینامیک سیالات محاسباتی، این مقاله مروری دو شکاف علمی اصلی را در ادبیات پژوهشی شناسایی کرده است: اول، وجود اختلاف میان نتایج به‌دست آمده از مدل‌های آزمایشگاهی و رفتار واقعی سازه‌ها در مقیاس میدانی که باعث ایجاد دشواری در اعتبارسنجی مدل‌ها می‌شود. دوم، چالش موجود در مدل‌های محاسباتی برای پیش‌بینی دقیق اندرکنش بلندمدت بین اندازه ذرات رسوب، تغییرات بستر و تغییرات غلظت ذرات در جریان‌های گذرا است. جمع‌بندی پژوهش‌های بررسی شده نشان می‌دهد که آینده طراحی آبیگرها به سمت سیستم‌های هوشمند و انطباق‌پذیر حرکت می‌کند. برای مقابله با اثر تغییرات اقلیمی بر پویایی

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است. مجموعه‌های تولید شده و یا تحلیل شده در طول مطالعه حاضر، در صورت درخواست معقول، از نویسنده مسئول در دسترس هستند.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان به اندازه یکسانی در مفهوم‌سازی مقاله و نوشتن پیش‌نویس اصلی و متعاقب آن مشارکت داشتند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از سردبیر و داوران محترم به خاطر نظرات و بازخوردهای ارزشمندشان که به طور قابل توجهی کیفیت مقاله را بهبود بخشیده است صمیمانه سپاسگزارند.

رودخانه‌ها، پژوهش‌های آینده باید از طراحی‌های ثابت به سمت طراحی‌های چندپارامتری حرکت کنند. ترکیب داده‌های میدانی با مدل‌های عددی پیشرفته و استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی، مسیر اصلی برای بهینه‌سازی همزمان کیفیت و کمیت آب خروجی از آبیگرها خواهد بود.

تضاد منافع نویسندگان

در بخش نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

منابع مالی

نویسندگان هیچ‌گونه حمایت مالی برای تحقیق، تالیف و انتشار این مقاله دریافت نکرده‌اند.

مراجع

- Abbasi, A., Ghodsian, M., Habibi, M., & Salehi Nishabouri, S. A. (2003). Experimental investigation of the dimensions of the vortex zone at the entrance of lateral intakes. *Journal of Research and Construction*, 62, 38–44. (in Persian)
- Abbasi, A. (2003). Experimental study of sediment control in lateral intakes in straight reaches. PhD dissertation, Tarbiat Modares University. (in Persian)
- Abbasi, A. A., & Maleknejad Yazdi, M. (2014). Effect of sill and submerged vanes on sediment-laden flow entering a lateral intake. *Irrigation and Water Engineering Scientific and Research Quarterly*, 4(16), 104–116. (in Persian)
- Amirsalari Meymani, F., Shafaei Bajestan, M., & Dorosti, M. (2017). Optimal location of a slot in a submerged triangular plate attached to the bank in a 90-degree bend. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 7(1), 89–97. (in Persian)
- Ahmadali, J., & Khanjani, M. J. (2006). Optimization of submerged vane systems for sediment control at river intakes. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 7(26). (in Persian)
- Abolghasemi, M. (2013). Effect of intake angle on flow pattern and sediment transport around the intake head in a meandering river. *Journal of Hydraulic Research*, 8(3), 29. <https://www.magiran.com/p1313859> (in Persian)
- Abolghasemi, M. (2012). Effect of flow deflection on sediment entering a side intake with 90-degree diversion angle in a sinuous river. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 44(1), 43–54. <https://www.magiran.com/p1529077> (in Persian)
- Attarzadeh, A., & Babakhani, A. (2022). Investigating the effect of different sediment control modes on the banks around a lateral intake entrance. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 54(11), 1. <https://www.magiran.com/p2503792> (in Persian)
- Attarzadeh, A., Ghodsian, M., Ayoubzadeh, S. A., & Salehi Neyshabouri, S. A. A. (2019). Experimental comparison of different methods for sediment control and scour reduction in 90-degree lateral intakes. *Modares Civil Engineering Journal*, 19(4), 121–133. <https://www.magiran.com/p2056912> (in Persian).

- Attarzadeh, A., Ghodsian, M., Ayoubzadeh, S. A., & Salehi Nishabouri, S. A. (2015). Experimental study of the effect of sediment control structures on bed topography around lateral intakes. *Proceedings of the 10th International Congress on Civil Engineering*, University of Tabriz, Tabriz, Iran. (in Persian)
- Ashnavar, M., & Yasi, M. (2023). Simulation of water flow with sediment transport in diversion dam intakes located at a channel bend. *Journal of Water and Irrigation Management*, 13(3), 611–628. <https://www.magiran.com/p2631323> (in Persian)
- Ashnavar, M., & Yasi, M. (2022). Investigation of differences in inflow with sediment transport to diversion dam intakes on one and both sides of a bend in a waterway. *Iranian Journal of Water Engineering Research*, 2(2), 37–48. <https://www.magiran.com/p2645963> (in Persian)
- Ahmed, K. O., Majeed, H. Q., Amini, A., & Shafaei, H. (2025). Scour prediction at culvert outlets using ansys fluent: influence of inlet blockage, flow rate, and sediment size. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 1–17. <https://doi.org/10.1080/09715010.2025.2495789>
- Anwar, H. O. (1955). "Flow at low head intakes." *Water Power*, (Nov.), p.p.455-457.
- Arksey H, O'Malley L (2005). *Scoping studies: towards a methodological framework*. International journal of social research methodology; 8(1): 19-32.
- Anastasia, D. et al. (1986). "Flow in curved converging channel." *J. Hydr. Eng, ASCE*. Vol.112, No.6, pp. 476-496.
- Badri, P., Shafaei Bajestan, M., Kashefipour, S. M., & Bahrami Yarahmadi, M. (2016). Experimental investigation of sediment bed topography in a mild 90-degree bend in the presence of triangular plates attached to the bank. *Journal of Irrigation Engineering (Journal of Agricultural Science)*, 39(1), 45–54. (in Persian)
- Barkdoll, B.D.; Ettema, R.; Odgaard A.J.1999.; "Sediment Control at Lateral Diversion: Limits and Enhancements to Vane Use", *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, 125(8): 862-870,.
- Barkdoll B. D. 1997. Sediment control at lateral diversions. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the Doctor of Philosophy degree in Civil and Environmental Engineering, Graduate College of The University of Iowa. UMI Number: 9731762 8-
- Best J.L. and Reid I. 1984. Separation zone open-channel junctions. *J. Hydraul.Eng.*, 110.(8):1588-1594.
- Chalmers, I., Hedges, L. V., & Cooper, H. (2002). A brief history of research synthesis. *Evaluation & the health professions*, 25(1), 12-37.
- Dehghani, A. A., Ghodsian, M., Salehi Nishabouri, S. A., & Shafieefar, M. (2006). Sediment control at a lateral intake in a 180-degree bend using submerged vanes. *Proceedings of the 7th Civil Engineering Conference*, Tarbiat Modares University. (in Persian)
- Davoodi, L., & Shafaei Bajestan, M. (2011). Application of submerged vanes in controlling bed-load sediment at lateral intakes branching from trapezoidal irrigation canals. *Journal of Water and Irrigation Management*, 1(2), 59–71. (in Persian)
- Davoudi, L., & Shafaei Bejestan, M. (2012). Application of submerged vanes in controlling bed-load sediment at intakes branching from trapezoidal irrigation channels. *Journal of Water and Irrigation Management*, 1(2), 59. <https://www.magiran.com/p996039> (in Persian)
- Dastourani, M., Mohseni, B., Rezaghian, H., & Momeni, B. (2019). Positioning of lateral intakes to control sediment entry. *Journal of Watershed Extension and Development*, 7(25), 52–60. <https://www.magiran.com/p2012905> (in Persian)
- Derakhshan, H. (2015). Simulation of flow in a lateral intake within a rectangular channel using the FLUENT model. *Water Resources and Development Journal*, 3(1), 41. <https://www.magiran.com/p1408899> (in Persian)
- Esmaeili Varki, M., Farhodi, J., & Omid, M. H. (2010). Experimental study of diverted flow pattern structure towards a 90-degree lateral intake and its incoming sediment rate in diversion gates.

- Journal of Agricultural Engineering Research*, 10(1), 49. <https://www.magiran.com/p780354> (in Persian)
- Egger, M., Davey Smith, G., & Altman, D. G. (Eds.). (2001). *Systematic reviews in health care: Meta-analysis in context* (2nd ed.). London: BMJ Books.
- Fazel Najafabadi, E., & Ayyoubzadeh S, A. . 2024. Effectiveness of Submerged Vanes in Sediment Control to the Intake Channels: A Review and Future Directions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. Volume 151, Issue 2. <https://doi.org/10.1061/JIDEDH.IRENG-10349>
- Fazli, M., & Ghodsian, M. (2010). Effect of vortex strength and transverse flow strength on the scour process around groynes in channel bends. *Proceedings of the 9th Iranian Hydraulic Conference*, Tarbiat Modares University, Tehran. (in Persian)
- Fazli, M., Ghodsian, M., & Salehi Nishabouri, S. A. (2009). Bed topography variations in a 90-degree bend under different flow conditions. *Modares Technical and Engineering Journal*, (3), 123–142. (in Persian)
- Gohari, S., Ayoubzadeh, S. A., Ghodsian, M., & Salehi Nishabouri, S. A. (2010). Experimental investigation of the flow pattern in a lateral intake using simultaneous submerged vanes and groynes in alluvial beds. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 11(4), 1–18. (in Persian)
- Grace, J. L., and Priest, M. S. (1958). "Division of flow in open channel junctions." *Bulletin No. 31, Engineering Experimental Station, Alabama Polytechnic Institute*
- Gohari, S., & Ayoubzadeh, S. A. (2009). Experimental investigation of flow pattern and sediment control in lateral intakes using submerged vanes and spur dikes. PhD dissertation in Hydraulic Structures, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University. (in Persian)
- Hall, G. M. (2003). How to write a systematic review. In G. M. Hall (Ed.), *How to write a paper* (3rd ed., pp. 89–104). London: BMJ Books.
- Hassanpour, F., Ayoubzadeh, S. A., & Ghodsian, M. (2011). Sediment-control performance of compound submerged vanes at the entrance of a 90-degree lateral intake. *Journal of Watershed Management Research*, 92, 1–12. (in Persian)
- Honar, T., & Mazloom Shahraki, S. (2014). Effect of submerged vanes on the discharge capacity of lateral intakes. *Water and Soil Knowledge Journal*, 24(3), 205–214. (in Persian)
- Honar, T., & Mazloom Shahraki, S. (2014). Effect of submerged vanes on the intake rate in lateral intakes. *Soil and Plant Science Journal*, 24(3), 205–214. [magiran.com/p1339324](https://www.magiran.com/p1339324) (in Persian)
- Haghighi Aby, A. H., & Emamgholizadeh, S. (2015). Prediction of lateral erosion in meandering reaches of the Kashkan River. *Geography and Development Quarterly*, 13(40), 125–138. (in Persian)
- Habibi, H., Masjedi, A., Pourmohammadi, M. H., Kamanbedast, A. A., & Bardbar, A. (2019). Experimental investigation of the effect of submerged vane geometry on sediment-laden flow entering a lateral intake in a river bend. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 42(2), 119–133. <https://www.magiran.com/p2000134> (in Persian)
- Hager, W. H.; (1987), "Discussion of 'Dividing flow in open channels' by Ramamurthy, A. S.
- Ho, J.; Janson, A.; With, S.; (2004) 3-D Numerical Simulation study of Permanent Sediment Control Submerged Vanes, *National Science Foundation, Research Education for Undergraduation*,.
- Hashid, M.; Hussain, A.; Ahmad, Z. 2015; Discharge characteristics of lateral circular intakes in open channel flow. *Flow Measurement and Instrumentation*, 46: 87- 92.
- Ingle, R. N., and Mahankal, A. M. (1990). "Discussion of 'Division of Flow in Short Open Channel Branches'. by A. S. Ramamurthy. and M. G. Satish." *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, Vol. 116, No. 2, P.P.289-291
- Indlekoper, H., Robinson, S., and Rouve. (1975). "On the transport of bed load in a channel branches and the regulation by inducing artificial secondary flow." *International Congress of Irrigation and Drainage*, 9th Congress Moscow.

- Izadpanah, Z., & Salehi Nishabouri, S. A. (2003). Sediment transport investigation in lateral intakes located in river bends. *Journal of Agricultural Science*, 26(2), 15–23. (in Persian)
- Jalili, H. R., Hosseinzadeh Dalir, A., & Farsadizadeh, D. (2011). Effect of intake entrance geometry on flow pattern and sediment deposition in a vertical lateral intake. *Journal of Water and Soil*, 25(6), 1321. <https://www.magiran.com/p995983> (in Persian)
- Jalili, H., Hosseinzadeh Dalir, A., & Farsadi Zadeh, D. (2011). Effect of intake opening shape on flow pattern and sediment deposition in a vertical side intake. *Journal of Water and Soil*, 25(6), 1321. (in Persian)
- Jalili, H., Hosseinzadeh Dalir, A., & Farsadi Zadeh, D. (2011). Effect of intake-opening geometry on the amount and pattern of sediment deposition in a lateral intake. *Iranian Journal of Water Research*, 5(9), 1–10. (in Persian)
- Jalili, H., Hosseinzadeh Dalir, A., & Farsadi Zadeh, D. (2012). Effect of intake-opening geometry on the amount and pattern of sediment deposition in a lateral intake. *Iranian Journal of Water Research*, 5(9), 1. [magiran.com/p1022672](https://www.magiran.com/p1022672) (in Persian).
- Jafari Mianaei, S., & Ayoubzadeh, S. A. (2013). Experimental study of the effect of main-channel wall slope on sediment inflow to a lateral intake with and without submerged vanes. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 7(4), 521–534. (in Persian)
- Keshavarzi, A. R., & Kazemzadeh Parsi, M. J. (2006). Experimental study of turbulent flow structure and separation zone and comparison with turbulence models in a 41-degree blocked-end intake. *Agricultural and Natural Resources Sciences and Technologies*, 10(1). (in Persian)
- Karami Moghaddam, M., Shafaei Bajestan, M., & Sadeghi, H. (2011). Experimental and numerical study of flow pattern in a 30-degree lateral intake from a trapezoidal channel. *Journal of Water and Soil Sciences (Agricultural Sciences and Natural Resources)*, 15(3), 35. [magiran.com/p950561](https://www.magiran.com/p950561) (in Persian)
- Karami Moghaddam, M., & Seyedian, S. M. (2016). Numerical simulation of flow deviation from main channel intake with vertical and inclined walls using Fluent. *Soil and Plant Science Journal*, 26(2), 1–12. [magiran.com/p1586591](https://www.magiran.com/p1586591) (in Persian)
- Karami-Moghadam, M., Keshavarzi, A., & Sabzevari, T. (2018). Effect of diverted discharge, intake entrance shape, bed topography, and bed roughness on flow separation dimensions and shear stress in a lateral intake. *Journal of Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 19(73), 113–126. <https://www.magiran.com/p1943778> (in Persian)
- Karami Moghadam, M., Sabzevari, T., & Nourzadeh Haddad, M. (2017). Effect of intake entrance geometry on energy/momentum coefficients and flow separation zone dimensions. *Water and Soil Journal*, 31(5), 1278–1289. <https://www.magiran.com/p1781570> (in Persian)
- Kasthuri, B.; and Pundarikanthan, N. V. 1987; "Discussion on separation zone at open channel junctions", *Journal of Hydraulic Engineering*, 113 (4): 543- 548.
- Keshavarzi, A., & Habibi, L. (2005). Optimizing water intake angle by flow separation analysis. *Irrigation and drainage*, 54(5), 543-552.
- Karami Moghaddam, M., Bajestan, M. S., & Sedghi, H. (2010). Sediment Entry Investigation at the 30 Degree Water Intake Installed at a Trapezoidal Channel. *World Applied Sciences Journal*, 11(1), 82-88
- Law, S. W., & Reynolds, A. J. (1966). "Dividing flow in an open channel." *Journal Hydraulic Division., ASCE*, Vol. 92, No. 2, P.P. 207-231.
- Lama, S. K., Kuroki, M., Hasegawa, K. (2002). Study of flow bifurcation at the 30 open channel junction when the width ratio of branch channel to main channel is large. *Annual Journal of Hydraulic Engineering*, JSCE.
- Michell, F., Ettema, R. and Muste, M. (2006). "Case study: sediment control at water intake for large thermal-power station on a small river." *J. Hydraul. Eng., ASCE* 132 (5), 440–449.

- Mousavi, S. K., & Ghodsian, M. (2010). Experimental investigation of the effect of relative channel curvature on bed scour in a 90-degree bend. *Modares Civil Engineering Journal*, 10(2), 135–144. (in Persian).
- Montasseri, H., & Jamalabadi, Z. (2023). Determination of position and deviation angle of side intakes in U-shaped curved channels. *Modares Civil Engineering Journal*, 23(1), 1–20. (in Persian)
- Montasseri, H., Ghodsian, M., & Dehghani, A. A. (2009). Experimental study of the flow field around submerged vanes placed upstream of a lateral intake in a U-shaped channel. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 16(2). (in Persian)
- Mousavi, S. K., & Ghodsian, M. (2010). Experimental investigation of the effect of relative channel curvature on bed scour in a 90-degree bend. *Modares Civil Engineering Journal*, 10(144), Summer, 135–144. (in Persian)
- Mehtabi, G., & Hosseinzadeh Dalir, A. (2012). Experimental study of the effect of a flow-deflecting wall with a sill on controlling sediment inflow to a lateral intake. *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 35(3), 69–81. (in Persian)
- Moradinejad, A., Haghighi Aby, A. H., Sanaei, M., & Younesi, H. (2017). Experimental investigation of the effects of a dividing wall and spur dike on controlling sediment entry into a lateral intake in a straight channel. PhD dissertation, Faculty of Agriculture, University of Lorestan, 206 p. (in Persian)
- Montasseri, H., Ghodsian, M., & Salehi Nishabouri, S. A. (2020). Experimental study on design parameters of submerged vanes for sediment control at lateral intakes in a 180-degree curved channel. *Modares Civil Engineering Journal*, 20(1), 14. [magiran.com/p2155747](https://www.magiran.com/p2155747) (in Persian)
- Maroufinia, E., Esna Ashari, A., Hasanzadeh, Y., Khoshtinat, S., & Aminnejad, B. (2016). Simulation of the effect of submerged vanes and spur dikes on sediment control at a lateral intake using SSIIM2 software. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 39(4), 169–180. <https://www.magiran.com/p1629762> (in Persian)
- Moradinejad, A., Haghi Abi, A. H., Sanaei, M., & Younesi, H. (2018). Experimental study of the effect of separator wall angle on sediment control at intake structures. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 10(1), 28–42. <https://www.magiran.com/p1804307> (in Persian)
- Montaseri, H., Ghodsian, M., & Salehi Neyshabouri, S. A. A. (2018). Experimental study of sediment transport and mechanism of sediment entrance into a lateral intake in a 180-degree curved channel using the sediment injection method on a rigid bed. *Modares Civil Engineering Journal*, 18(5), 203–215. <https://www.magiran.com/p1947413> (in Persian)
- Masjedi, A., & Halvaei Fard, M. (2016). Investigation of the effect of submerged vane angle on sediment control at a lateral intake in a 180-degree river bend. *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Natural Resources)*, 20(4), 29–38. <https://www.magiran.com/p1642967> (in Persian)
- Montaseri, H. and Tavakoli, K. and Evangelista, S. and Omidvar, P. ۲۰۲۰. {Sediment transport and bed evolution in a 180° curved channel with lateral intake: Numerical simulations using Eulerian and Discrete Phase models. *International Journal of Modern Physics C*. volume 31(08). 2050113. doi = {10.1142/S0129183120501132},
- Nazari, S., & Shafaei Bajestan, M. (2011). Effect of the intake deflection angle on the ratio of discharge and sediment inflow to the intake in a converging 90-degree bend. *Journal of Watershed Management Research*, 23(87), 78. (in Persian)
- Nazari, S., & Shafaei Bajestan, M. (2010). Effect of intake deflection angle on discharge and sediment-entry ratios in a converging 90-degree bend. *Journal of Watershed Management Research*, 23(2), 72–81. (in Persian)
- Nazari, S., & Shafaei Bajestan, M. (1998). Experimental investigation of the effects of diversion angle and intake sill height on sediment entry in river bends. Master's thesis in Irrigation Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz. (in Persian)

- Nazari, N., Salehi Nishabouri, S. A., & Amiri Takeldani, E. (2018). Three-dimensional numerical simulation of flow pattern in intake from a straight trapezoidal channel. *Iranian Journal of Water and Soil Research*, 49(6), 1289–1298. magiran.com/p1933840 (in Persian)
- Nazari, S., & Shafaei Bejestan, M. (2011). Effect of intake deviation angle on discharge and sediment diversion ratios in a converging 90-degree bend. *Watershed Management Research Journal*, 23(87), 78. <https://www.magiran.com/p909433> (in Persian)
- Neary, V.S. (1995). "Numerical Model of Diversion flows." Civil and Environmental Engineering, University of Iowa, Iowa city, Iowa.
- Neary, V. S., and Sotiropoulos, F. (1996). "Numerical investigation of laminar flows through 90-degree diversions of rectangular cross-section." *Comp. and Fluids*, 25(2), 95–118.
- Neary, V., Sotiropoulos, F., and Odgaard, A.J. (1999). "Three-dimensional numerical model of lateral-intake in flows." *J. Hydr. Eng., ASCE*. Vol.125, No.2, pp.126-140.
- Neary, V., Barkdoll, B., and Odgaard, A.J. (1994). "Sand Bar Formation in Side-Diversion Channels." *J. Hydr. Eng., ASCE*, pp. 1171-1175.
- Nakato, T.; Kennedy, J. F.; Bauerly, D. 1990; "Pump-station intake shoaling control with submerged vanes", *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, 116(1): 119-128.
- Neary V.S. and Odgaard A.J. 1993 Three dimensional flow structure at open channel diversions. *J. Hydraul. Eng.*, 119(11):1223-1230.
- Nakato, T. and Ogden, F. L. (1998). "Sediment control at water intakes along sand-bed rivers." *J. Hydraul. Eng., ASCE* 124 (6), 589–596.
- Okoli C, Schabram K. (2010). *A guide to conducting a systematic literature review of information systems research*. Sprouts: Working Papers on Information Systems 2010; 10 (26).
- Oliveira, L. C. S., & Lima Neto, I. E. (2024). *The impacts of the water intake operation on the hydraulic transients, sediment resuspension and water quality of a large reservoir in Brazil: A case study*. 10th International Symposium on Hydraulic Structures. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000675990>
- Omid Beigi, M. A., Ayoubzadeh, S. A., & Safarzadeh, A. (2011). Experimental and numerical study of three-dimensional flow structure in a lateral water intake from a river. *Modares Civil Engineering Journal*, 12(1), 1. <https://www.magiran.com/p960564> (in Persian)
- Odgaard, A. J., Wang, Y. (1991a). "Sediment management with submerged vanes." *I: Theory, J. Hydr. Engrg., ASCE*, Vol. 117, No. 3, P.P. 267-283.
- Ouyang, H. T. (2009). "Investigation on the Dimensions and Shape of a Submerged Vane for Sediment Management in Alluvial Channels." *J. Hydraul. Eng.*, 135(3), 209–217.
- Odgaard A. J.; Wang, Y. 1991. "Sediment management with submerged vanes", I: Theory. *Journal of Hydraulic Engineering*, 117(3): 367-283,.
- Phillips, B., Ball, C., Sackett, D., Badenoch, D., Straus, S., Haynes, B., & Dawes, M. (2009). *Oxford Centre for Evidence-Based Medicine – Levels of Evidence (March 2009)*. Oxford: Centre for Evidence-Based Medicine. Retrieved from <https://www.cebm.ox.ac.uk/resources/levels-of-evidence>
- Pirestani, M. R., Majdzadeh Tabatabaei, S. M. R., & Barkhordari, N. (2008). Flow analysis over a side intake in a curved channel using a physical model. *Journal of Water and Soil*, 22(2), 210–219. (in Persian)
- Pirestani, M. (2002). Investigation of flow pattern and scour at the entrance of intakes in curved channels. PhD dissertation, Islamic Azad University, Science and Research Branch. (in Persian)
- Pirestani, M. R. (2004). Investigation of flow pattern and scour at the inlet of curved channel intakes. PhD dissertation, Islamic Azad University, Science and Research Branch. (in Persian)

- Pirestani, M. R., Salehi Nishabouri, S. A., & Majdzadeh Tabatabaei, M. R. (2006). Experimental investigation of flow deviation in lateral intakes in curved channels. *Iranian Journal of Water Resources Research*, 2(2), 78. magiran.com/p897888 (in Persian)
- Razaghi, A., Ahmadi, H., Haghdoust, N., & Hessari, B. (2019). Assessment of river environmental flow using eco-hydrological methods (Case study: Mahabadchay river). *Journal of Water and Soil Conservation*, 26(4), 1-23. <https://doi.org/10.22069/jwsc.2019.14563.2939>. (in Persian)
- Ramamurthy, A. S., and Satish, M. G. (1988). "Division of Flow in Short Open Channel Branches." *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, Vol. 114, No. 4, P.P. 428-438.
- Ramamurthy A.S. Junying Q.U. and Diep V.O. (2007). Numerical and Experimental Study of Dividing Open Channel Flows. *J. Hydraul. Eng.*, 133(10):1375-1145.
- Keshavarzi, A., & Habibi, L. (2005). Optimizing water intake angle by flow separation analysis. *Irrigation and drainage*, 54(5), 543-552.
- Rana A. Al-Zubaidy, Ali N. Hilo. 2022. Numerical investigation of flow behavior at the lateral intake using Computational Fluid Dynamics (CFD)., *Materials Today: Proceedings*, Volume 56, Part 4 Pages 1914-1926, ISSN22147853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.172>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785321071807>.
- Rostamabadi, M., Salehi Nishabouri, S. A., & Montasseri, H. (2009). Numerical simulation of the effect of submerged vanes on secondary flow in a 180-degree bend upstream of a lateral intake. *Journal of Water and Soil Conservation Research*, 16(3), 17–39. (in Persian)
- Rahmanian, M. (2010). Hydrodynamic investigation of the effect of submerged plate arrangement in intake locations. Master's thesis, Department of Civil Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, 147 p. (in Persian)
- Rostamabadi, M., Salehi Neyshabouri, S. A. A., & Montaseri, H. (2009). Numerical simulation of flow pattern around submerged vanes in front of a lateral intake in a 180-degree bend to determine the optimal vane angle and height. *Journal of Hydraulic Research*, 4(3), 37. <https://www.magiran.com/p922981> (in Persian)
- Rahmani Firouzjaji, M., Behnam Talab, E., Salehi Neyshabouri, S. A. A., & Mohajeri, S. H. (2021). Hydraulic evaluation of side intake by pipe from an open channel using a numerical model. *Modarres Civil Engineering Journal*, 21(3), 45–60. <https://www.magiran.com/p2277930> (in Persian)
- Rostamabadi, M. (2021). Numerical study on the effects of intake geometric parameters and submerged vane arrangement on the sediment diversion coefficient of lateral intakes. *Journal of Hydraulic Research*, 15(4), 95–111. <https://www.magiran.com/p2249491> (in Persian)
- Raudkivi A.J. 1993. *Sedimentation: Exclusion and removal of sediment from diverted water*. IAHR Hydraulic Structures Design Manuals,.
- Ramamurthy, A. S., Junying, Q., and Diep, V. (2007). "Numerical and experimental study of dividing open-channel flows." *J. Hydraul. Eng.*, 133(10), 1135–1144
- Soleymani Esboei, H. R. (1996). Effect of submerged vane arrangement in river cross-sections on bed morphology changes. Master's thesis, Faculty of Agriculture, University of Tehran, 175 p. (in Persian)
- Sajedi Sabegh, M., & Habibi, M. (2005). Experimental investigation of the application of submerged vanes and groynes to improve intake efficiency. *Proceedings of the 5th Iranian Hydraulic Conference*, Shahid Bahonar University of Kerman. (in Persian)
- Safarzadeh Gandeshemin, A. (2009). Turbulent flow structure and qualitative investigation of sediment-entry mechanisms into a lateral intake located in a river bend using a three-dimensional numerical model. *Journal of Hydraulics*, 4(4), 13–31. (in Persian)

- Safarzadeh Gandeshmin, A. (2009). Study of turbulent flow structure and qualitative investigation of sediment entry mechanism into a lateral intake located in a river bend using a three-dimensional numerical model. *Journal of Hydraulic Research (Iranian Hydraulic Journal)*, 4(4), 13. <https://www.magiran.com/p923679> (in Persian)
- Safarzadeh, A. (2002). Numerical simulation of the flow pattern in a 385-degree lateral intake bend. Master's thesis, Tarbiat Modares University. (in Persian)
- Safarzadeh, A. (2004). Numerical simulation of the flow pattern in a 180-degree lateral intake bend. Master's thesis, Tarbiat Modares University. (in Persian)
- Shayanmehr, M., Hemmati, M., Ahmadi, H., Mehrdar, L., & Seyedzadeh, A. (2026). Optimizing lateral intakes in river bends near broad-crested weirs: a hydraulic perspective. *Journal of Hydraulic Research*. <https://doi.org/10.1080/00221686.2026.2662307>.
- Seidian, S. M., Shafaei Bajestan, M., & Farasti, M. (2013). Investigation of flow-pattern changes in a lateral intake due to inclination of the main-channel wall. *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 36(2), 1–12. (in Persian)
- Seidian, S. M., Shafaei Bejestan, M., & Farasti, M. (2013). Investigation of flow pattern variation in a lateral intake caused by slanting the main channel wall. *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 36(2), 1–12. <https://www.magiran.com/p1537939> (in Persian)
- Seidian, S. M., & Shafaei Bejestan, M. (2010). Comparison of suspended sediment entering a side intake with changes in the main channel wall angle from vertical to 45 degrees. *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Engineering)*, 24(5), 985. <https://www.magiran.com/p809526> (in Persian)
- Shamloo, H., & Pirzadeh, B. (2010). Investigation of the effects of geometric and hydraulic parameters on the dimensions of the flow separation zone in lateral intakes using Fluent software. *Journal of Civil Engineering Infrastructures*, 44(4), 487. [magiran.com/p823521](https://www.magiran.com/p823521) (in Persian)
- Sedighi Hersini, H., & Ghabadian, R. (2024). Hydraulic investigation of flow in 180-degree bends from sharp to mild with lateral intake using SRH-2D model. *Journal of Advanced Technologies in Water Productivity*, 4(3), 99–117. [magiran.com/p2773813](https://www.magiran.com/p2773813) (in Persian)
- Shariati, H., Khodashenas, S. R., & Esmaeili, K. (2018). Effect of intake particle dimensions and size on discharge coefficient of porous bed intakes using a physical model. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 41(2), 107–117. <https://www.magiran.com/p1846533> (in Persian)
- Shamloo, H., & Pirzadeh, B. (2007). Numerical investigation of velocity field in dividing open-channel flow. In *Proceedings of the 12th WSEAS International Conference on APPLIED MATHEMATICS*, Cairo, Egypt, Desember29-31 (pp. 194-198).
- Tavakoli, M., Dehghani, M., et al., (2019). Numerical investigation of the effect of side intake angle on the amount of incoming sediment in diversion channels. *Iranian Journal of Water Resources Research*, 15(2), 45–58. (in Persian)
- Tran, D. M.; Carballada. L. B. 1992." *Journal of Hydraulic Division, ASCE*, 118(4): 634–637.
- Taylor, E. H. (1944). "Flow characteristics at rectangular open-channel junctions." *Trans., ASCE*, Vol. 109, P.P. 893-912.
- Varma, C. V. J.; Sexena, K. R.; Rao, M. K. 1989. *River behavior management and training*, Central Board of Irrigation and Power Publication, New Delhi.
- Vasquez, J. A. (2005). Twodimensional numerical simulation of flow diversions. In *17th Canadian Hydrotechnical Conference: Hydrotechnical Engineering: Cornerstone of A Sustainable Environment*, , August, Edmonton, Alberta.
- Varki, M. ,Farhoudi, J., Omid, M. H. (2008). Flow investigation in a vertical right-angled side intake using a physical model. *Journal of Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 10(1), 1–20. (in Persian)

- Vanoni V. A. (1977). Sedimentation Engineering. ASCE, New York.
- Wang, Y.; Odgaard, J.; Melville, B. W.; Jain, S. C. (1996). "Sediment control at water intakes", *Journal of hydraulic engineering ASCE*, 122(6): 353-356,.
- Xu, C., Tian, J., Wang, G., Lian, H., Wang, R., & Hu, X. (2024). Numerical Analysis of Water-Sediment Flow Fields within the Intake Structure of Pumping Station under Different Hydraulic Conditions. *Water*, 16(5), 779. <https://doi.org/10.3390/w16050779>
- Younesi, H. (2002). Investigation of the effect of longitudinal arrangement of submerged vanes on riverbed morphology changes near gravity intakes. Master's thesis, Faculty of Agriculture, University of Tehran. (in Persian)
- Yasi, M., & Farhadi Bansuleh, A. (2019). Investigation of flow uniformity in side intakes of broad-crested overflow in a channel bend. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 13(5), 1294–1306. magiran.com/p2077849 (in Persian)
- Zhao, W., Zhang, J., He, W. (2022) . Effects of Diversion Wall on the Hydrodynamics and Withdrawal Sediment of A Lateral Intake. *Water Resour Manage* 36, 1057–1073. <https://doi.org/10.1007/s11269-022-03073-9>.