

Laboratory and Field Evaluation of Hydraulic Properties of Concrete Canvas Technology; A Lining for Irrigation Canals

Ali Mokhtaran^{1*}, Farshid Taran¹, Reza Ghaffarpour², Mohammad Fayyaz², Mohammad Mehdi Kermaninejad²

¹Agricultural Engineering Research Institute (AERI); Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO); Karaj.

² Department of Civil Engineering; Imam Hussein Comprehensive University; Tehran; Iran.

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	Objective: Traditional lining materials, such as cast-in-place concrete used in irrigation networks, face challenges including cracking and low durability. In recent years, concrete canvas has been introduced as a canal lining material due to its high sealing performance and rapid installation. This study evaluated the performance of this technology through the determination of Manning's roughness coefficient, flow velocity, shear stress, and seepage rate in comparison with conventional lining materials.
Article history: Received 01 April 2026 Revised 23 April 2026 Accepted 25 April 2026 Published online 22 June 2026	Methods: Laboratory evaluation was conducted at the Agricultural Engineering Research Institute, and field monitoring was carried out at three pilot sites in Khusf (1 km), Gorgan, and Qom (2 km). In the laboratory and at the Khusf and Qom pilot sites, concrete canvas was installed longitudinally using rolls with an average length of 12.5 m. In Gorgan, for grade 3 and 4 canals, it was installed transversely using 2 m rolls connected with bolts and nuts at intervals of 10–20 cm.
Keywords: Roughness coefficient Seepage Shear stress Shear velocity Simulation	Results: Laboratory results showed that Manning's coefficient for concrete canvas was 0.01, which was lower than that of the laboratory control made of brick and cement (0.022) and conventional concrete linings (0.013–0.027). Shear velocity and shear stress were 0.032 m/s and 1.06 N/m ² , respectively, representing reductions of 54% and 11% compared with the control. Under laboratory conditions, seepage was approximately 1.29 L/m ² /day, which was 96% lower than that of conventional concrete and stone linings. Under field conditions, seepage under longitudinal installation was approximately 21% lower than under transverse installation, indicating the higher effectiveness of longitudinal installation in reducing seepage. Manning's coefficient and seepage rate in concrete canvas-lined canals were approximately 35% and 58% lower, respectively, than those of conventional concrete-lined canals. Conclusions: The findings highlight the importance of increasing bed compaction to improve lining performance and reduce seepage. Concrete canvas installed longitudinally can be considered a suitable option for reducing seepage, enhancing hydraulic stability, and improving water conveyance efficiency in grade 3 and 4 irrigation networks.

*Corresponding author, Email: alimokhtaran@gmail.com

Cite this article: Mokhtaran, A., Taran, F., Ghaffarpour, R., Fayyaz, M., & Kermaninejad, M.M. (2026). Laboratory and Field Evaluation of Hydraulic Properties of Concrete Canvas Technology; A Lining for Irrigation Canals. *Journal of New Approaches in Water Engineering and Environment*, 5(2), 172-193. <https://doi.org/10.22034/nawee.2025.564023.1182>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22034/nawee.2025.564023.1182>

Publisher: Gonbad Kavous University.

Introduction

Linings made from traditional materials such as cast-in-place concrete in irrigation networks face challenges including cracking and low durability. These problems reduce water conveyance efficiency, increase maintenance and repair costs, and shorten the service life of irrigation networks. In recent years, concrete canvas has been introduced as a lining material for irrigation canals due to its high sealing performance and rapid installation. This innovative material forms a strong and impermeable layer. The present study was conducted to evaluate this technology by determining Manning's roughness coefficient, flow velocity, shear stress, and seepage rate in comparison with other lining materials, particularly conventional concrete used in existing irrigation canals. Given the limited number of comprehensive studies on the hydraulic performance of concrete canvas under both field and laboratory conditions, this research aims to fill this knowledge gap and provide quantitative information for decision-making regarding the broader application of this technology.

Methods

Laboratory evaluation was conducted at the Agricultural Engineering Research Institute, and field monitoring was carried out at three pilot sites in the counties of Khouf (with a length of 1 km), Gorgan, and Qom (each with a length of 2 km). In the laboratory and at the pilot sites in Khouf and Qom, the concrete canvas lining was installed longitudinally using rolls with an average length of 12.5 m. In Gorgan, however, it was installed transversely using 2 m rolls with bolt connections spaced at 10–20 cm intervals for grade 3 and grade 4 canals.

Additionally, bed conditions, soil type, canal slope, and flow discharge were recorded at each pilot site to enable meaningful comparisons among different installation methods. In the laboratory section, control samples consisting of brick-and-cement linings were constructed as a baseline for comparison with the concrete canvas. Measurements included Manning's roughness coefficient, flow velocity, shear stress, and seepage rate. In the field pilot sites, water seepage was also measured.

Results

The laboratory results showed that Manning's roughness coefficient for concrete canvas was 0.01, which was lower than that of the laboratory control samples made of brick and cement (0.022) and conventional concrete linings (0.013–0.027). The shear velocity and shear stress were estimated at 0.032 m/s and 1.06 N/m², respectively, representing reductions of 54% and 11% compared with the control samples. The seepage rate under laboratory conditions was approximately 1.29 L/m²/day, which was 96% lower than that of conventional linings such as concrete and stone.

In the field pilot sites, the average seepage under the longitudinal installation method was approximately 21% lower than that under the transverse installation method, indicating the superior effectiveness of the longitudinal method in reducing seepage. Furthermore, the results showed that Manning's roughness coefficient and seepage rate in canals lined with concrete canvas were approximately 35% and 58% lower, respectively, than those of traditional concrete-lined canals in the monitored areas.

Simulations using Hydrus-2D to evaluate the effect of canal bed type on concrete canvas performance showed that effective seepage from coarse-textured beds was approximately 20–25% higher than that from fine-textured beds. This finding highlights the importance of considering bed type when designing and implementing concrete canvas linings.

Conclusions

The findings of this research highlight the importance of increasing bed compaction to improve lining performance and reduce water seepage. Furthermore, concrete canvas installed using longitudinal rolls can be considered a suitable option for reducing seepage, enhancing hydraulic stability, and improving water conveyance efficiency in grade 3 and grade 4 irrigation networks.

Based on the results, it is recommended that future applications of this technology pay special attention to bed compaction, roll connection methods (preferably longitudinal rather than transverse), and installation quality control. Overall, due to its advantages—including a low roughness coefficient, minimal seepage, and rapid installation—concrete canvas represents a promising option for the rehabilitation and optimization of traditional irrigation networks.

Author Contributions

Data collection: Ali Mokhtaran, Farshid Taran, Mohammad Mehdi Kermaninejad, Mohammad Fayyaz; Original draft preparation: Ali Mokhtaran, Farshid Taran; Data analysis: Ali Mokhtaran, Farshid Taran, Reza Ghaffarpour.

All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Agricultural Engineering Research Institute (AERI) and the Imam Hussein Comprehensive University for their financial and moral supports in conducting this research.

Ethical Considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct.

Funding

The study was funded by the Imam Hussein Comprehensive University.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

Declaration of Generative AI and AI-assisted technologies in the writing process

During the preparation of this work the authors didn't use any AI-assisted tools.



ارزیابی آزمایشگاهی و صحرایی خصوصیات هیدرولیکی فناوری بتن پارچه‌ای؛

پوششی برای کانال‌های آبیاری

علی مختاران^{۱*}، فرشید تاران^۱، رضا غفارپور^۲، محمد فیاض^۲، محمد مهدی کرمانی‌نژاد^۲

^۱ موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
^۲ گروه مهندسی عمران، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۱/۱۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۰۵ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۷/۰۱	هدف: پوشش‌های سنتی مانند بتن درجا در شبکه‌های آبیاری با چالش‌هایی مانند ترک‌خوردگی و دوام پایین مواجه هستند. در سال‌های اخیر، بتن پارچه‌ای با قابلیت آب‌بندی بالا و نصب سریع برای پوشش کانال‌ها معرفی شده است. در این مطالعه با تعیین ضریب زبری مانینگ، سرعت جریان، تنش برشی و نشت آب در مقایسه با سایر پوشش‌ها به ارزیابی این فناوری پرداخته شده است. مواد و روش‌ها: ارزیابی آزمایشگاهی در موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و پایش میدانی در خوسف (۱ کیلومتر)، گرگان و قم (۲ کیلومتر) صورت گرفت. بتن پارچه‌ای در آزمایشگاه، خوسف و قم، به‌صورت طولی با رول‌های ۱۲/۵ متری و در گرگان برای کانال‌های درجه ۳ و ۴ به‌صورت عرضی با رول‌های ۲ متری با پیچ و مهره (در فواصل ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متری) نصب گردید. نتایج: نتایج آزمایشگاهی نشان داد که ضریب مانینگ برای بتن پارچه‌ای برابر ۰/۰۱ و کمتر از شاهد آزمایشگاهی ساخته‌شده از آجر و سیمان (۰/۰۲۲) و پوشش‌های بتنی معمولی (۰/۰۱۳-۰/۰۲۷) است. سرعت برشی و تنش برشی به‌ترتیب ۰/۰۳۲ متر بر ثانیه و ۱/۰۶ نیوتن بر مترمربع و به‌ترتیب ۵۴ و ۱۱ درصد کمتر از شاهد بود. نشت در شرایط آزمایشگاهی ۱/۲۹ لیتر بر مترمربع در روز و ۹۶ درصد کمتر از پوشش‌های رایج بتن و سنگ است. در شرایط میدانی، نشت در نصب طولی ۲۱ درصد کمتر از روش عرضی بود که بیانگر کارایی بالاتر روش طولی در کاهش نشت است. ضریب مانینگ و میزان نشت در بتن پارچه‌ای به‌ترتیب حدود ۳۵ و ۵۸ درصد کمتر از بتن معمولی بود. شبیه‌سازی با Hydrus-2D نشان داد که نشت موثر از بسترهای درشت‌بافت حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد بیشتر از بسترهای ریزبافت است. نتیجه‌گیری: یافته‌ها بر اهمیت افزایش تراکم بستر برای عملکرد بهتر پوشش و کاهش نشت آب تأکید دارند. بتن پارچه‌ای با نصب طولی می‌تواند گزینه‌ای مناسب برای کاهش نشت، افزایش پایداری هیدرولیکی و بهبود راندمان انتقال آب در شبکه‌های آبیاری درجه ۳ و ۴ در نظر گرفته شود.

*نویسنده مسئول، Email: alimokhtaran@gmail.com

استناد: مختاران، ع؛ تاران، ف؛ غفارپور، ر؛ فیاض، م؛ کرمانی‌نژاد، م (۱۴۰۵). ارزیابی آزمایشگاهی و صحرایی خصوصیات هیدرولیکی فناوری بتن پارچه‌ای؛ پوششی برای کانال‌های آبیاری. *رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط زیست*، ۵ (۲)، ۱۷۲-۱۹۳.

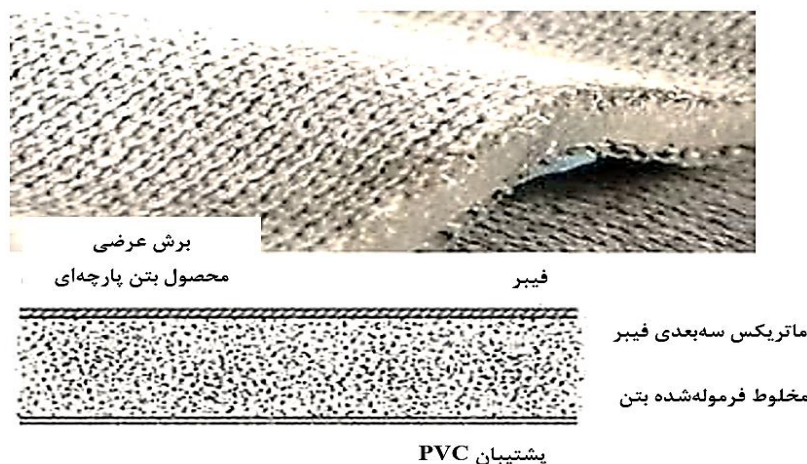
<https://doi.org/10.22034/nawee.2025.564023.1182>



مقدمه

شبکه‌های آبیاری از مهم‌ترین زیرساخت‌های بخش کشاورزی به‌شمار می‌روند. کانال‌های آبیاری درجه ۳ و ۴ وظیفه توزیع آب بین واحدهای زراعی کوچک‌تر را بر عهده دارند. برای پوشش این کانال‌ها از مصالح مختلفی مانند بتن، سنگ و سیمان، رس متراکم، مواد شیمیایی و ورقه‌های ژئوسنتتیک استفاده می‌شود که انتخاب هر روش، وابسته به عواملی مانند شرایط محلی، هزینه، امکانات اجرایی، ابعاد کانال، وضعیت خاک و شرایط آب و هوایی است (قربانی و همکاران، ۱۳۸۵). در این میان، پوشش بتنی به دلیل مقاومت بالا در برابر فشار هیدرواستاتیکی و بارهای خارجی، دوام مناسب و کاهش تلفات آب به‌طور گسترده‌ای در ایران و سایر کشورها کاربرد دارد. استفاده از این پوشش، علاوه بر کاهش نشت، موجب افزایش ظرفیت دبی، کاهش رسوب‌گذاری، محدودیت رشد علف‌های هرز و جلوگیری از ماندابی و شوری اراضی مجاور می‌شود. با این حال، آسیب‌پذیری بتن در برابر تنش‌های کششی، تورم خاک و فشار آب زیرزمینی می‌تواند منجر به ایجاد ترک و شکستگی در پوشش کانال شود (Byers, 2015; Swamee and Chahar, 2012; Morgado et al, 2012; Hajialilue-Bonab, Sarand and Farrin, 2012; 1980). همچنین، بررسی‌های عددی رفتار پوشش‌های بتنی در خاک‌های رسی منبسط‌شونده نشان داده‌اند که تنش‌های کششی ناشی از تغییرات رطوبتی و تورم خاک می‌تواند منجر به ترک و آسیب گردد (Hajialilue-Bonab, Sarand and Farrin, 2012). در سال‌های اخیر، استفاده از پوشش‌های ژئوسنتتیک، به‌ویژه ژئوممبران‌ها، نیز به‌عنوان جایگزینی برای پوشش‌های سنتی در کانال‌های آبیاری مورد توجه قرار گرفته است. ژئوممبران‌ها به دلیل نفوذناپذیری بالا، وزن سبک، سهولت اجرا و صرفه‌جویی اقتصادی، نقش موثری در کاهش تلفات نشت ایفا می‌کنند. برای مثال، بهراملو و همکاران، (۱۳۹۶) در بررسی مقدار تلفات آب در هفت مورد از کانال‌های انتقال آب در دشت‌های زاینده‌رود، کرمان و مغان با پوشش ژئوممبران نتیجه گرفتند که مقادیر راندمان انتقال آب در این کانال‌ها به‌طور متوسط ۲۰ درصد بالاتر از پوشش بتنی است. (Abdrazakov et al, 2020) پیشنهاد کردند که از ترکیب بتن و ژئوممبران به‌عنوان پوشش کانال استفاده شود تا ضمن تسهیل فرآیند نصب، از نشت آب جلوگیری شود. این فناوری با بهره‌گیری از ویژگی‌های مثبت هر ماده، باعث افزایش کارایی، کاهش زمان ساخت و صرفه‌جویی اقتصادی تا پنج درصد شد. با این حال، ژئوممبران به دلیل رفتار ترموپلاستیک و ضریب انبساط حرارتی بالا در برابر تغییرات دمایی، دچار تغییر طول شده و در شرایط گرم ممکن است دچار چین‌خوردگی یا موج‌دار شدن شود. این پدیده می‌تواند منجر به جدایی موضعی ورق از بستر زیرین و در صورت وجود سوراخ یا آسیب، موجب افزایش نشت شود (اخوان و همکاران، ۱۳۹۶؛ Soong and Koerner, 1999; Take et al, 2007).

به‌طور کلی، بر اساس آنچه بیان شد، روش‌های سنتی برای انتقال و توزیع آب دارای محدودیت‌هایی از نظر کارایی و بهره‌وری هستند (ماندگاری کهن، ذاکری‌نیا و دهقان، ۱۴۰۲). برای کاهش این محدودیت‌ها، روش‌های مختلفی مانند بهسازی مشخصات مکانیکی خاک (بختیاری، حیدری و ظهیری، ۱۴۰۲) و به‌ویژه بهبود پوشش کانال‌ها استفاده شده است. در سال‌های اخیر برای حل مشکلات ناشی از کاربرد پوشش‌های بتنی درجا (سنتی) و کاهش تلفات آب در مسیر انتقال و توزیع در کانال‌های آبیاری، محصول جدیدی به نام بتن پارچه‌ای یا تشک‌های کامپوزیت سیمانی ژئوسنتتیک به‌عنوان پوشش معرفی شده است. بتن پارچه‌ای، شامل یک ساختار کامپوزیت فیبر سه‌بعدی ساخته‌شده از پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن است. اجزای اصلی شیمیایی سیمان این پوشش از آلومینات کلسیم بوم CaO ، Al_2O_3 و SiO_2 هستند. این محصول دارای پستی‌بان PVC است تا کاملاً ضد آب شود. بتن پارچه‌ای به‌صورت رول روی سطح مورد نظر قرار می‌گیرد، سپس آب‌پاشی بر روی آن انجام می‌شود و به‌راحتی شکل نمای بیرونی سازه را می‌گیرد (Thilahun, 2019; Jun et al, 2020) (شکل ۱).



شکل ۱- محصول بتن پارچه‌ای و برش عرضی آن

Ghotane et al, (2020) به بررسی استفاده از بتن پارچه‌ای به عنوان جایگزینی نوین برای پوشش‌های سنتی کانال‌های آبیاری پرداختند. آنها بیان کردند که پوشش‌های سنتی می‌توانند باعث تلفات نشت ۳۰ تا ۵۰ درصدی آب از کانال‌های آبیاری شوند. در مطالعه آنها بر روی کانال خاکی سد بابلگاون که دارای تلفات آبی بیش از ۰/۳۳ مترمکعب در ثانیه بود، استفاده از بتن پارچه‌ای به کنترل نشت کمک کرد. (Alchести, Benigno and Ruben, (2023 به طراحی یک کانال آبیاری به طول ۳ کیلومتر در منطقه‌ای در کشور پرو با استفاده از داده‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و معیارهای هیدرولیکی پرداختند. آنها پوشش بتن پارچه‌ای با ضخامت ۸ میلی‌متر و ضریب زبری مانینگ ۰/۰۱۱ را برای سطحی به مساحت ۱۵۲۸۰ مترمربع با استفاده از ۱۲ کارگر در مدت ۴۰ روز اجرا کردند. این در حالی است که اجرای بتن درجا نیاز به ۱۵۰ روز زمان نیاز داشت. بر پایه این تحقیق، از نظر اقتصادی، هزینه اجرای کانال با پوشش بتن پارچه‌ای ۲۵ درصد کمتر از بتن درجا (سنتی) اعلام شد. با توجه به آنچه بیان شد، فناوری بتن پارچه‌ای، محصولی نوظهور است که میزان تلفات نشت، مشخصات هیدرولیکی، نحوه اتصال رول‌های تولیدی و اجرای این پوشش باید پایش و ارزیابی گردد. در پژوهش حاضر، مشخصات هیدرولیکی از جمله ضریب زبری، سرعت و تنش برشی و همچنین، میزان تلفات نشت، بتن پارچه‌ای به عنوان پوشش کانال‌های آبیاری در شرایط آزمایشگاهی و کانال‌های آبیاری به عنوان پایلوت صحرایی اندازه‌گیری و ارزیابی شده و با بتن رایج در کانال‌های آبیاری مقایسه شد. همچنین، برای بررسی رفتار نشت در بسترهای مختلف کانال از منظر قابلیت نگهداری و انتقال آب، با استفاده از نرم‌افزار Hydrus-2D، جریان آب در بستر کانال بعد از نشت برای بافت‌های مختلف خاک شبیه‌سازی شد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی در آزمایشگاه استاندارد هیدرولیک موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و پایش‌های صحرایی در پایلوت‌های اجرا شده در سه شهرستان خوسف از استان خراسان جنوبی، گرگان از استان گلستان و قم از استان قم انجام شد.

مناطق مورد مطالعه

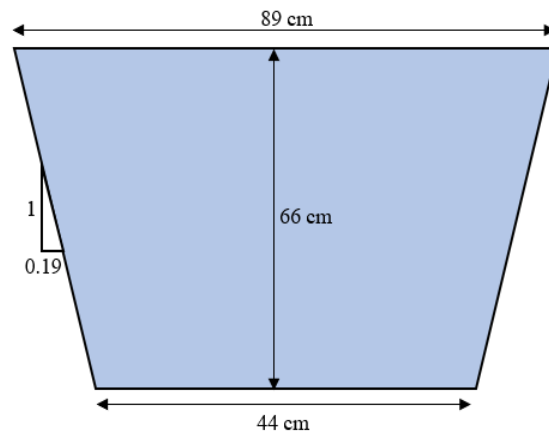
آزمایشگاه هیدرولیک

آزمایش‌ها در یک کانال دوزنقه‌ای به طول ۱۳ متر، عرض کف (b) ۴۴ سانتی‌متر، حداکثر عرض سطح (T)، ۸۹ سانتی‌متر، حداکثر عمق ۶۶ سانتی‌متر، شیب دیواره (Z) ۳۴ درصد و شیب طولی (S) ۰/۳ درصد انجام گرفت. ابتدا کانال با استفاده از بتن پارچه‌ای در ۱۴ مقطع ۱ متری با استفاده از پیچ و مهره‌هایی با فواصل ۱۰ سانتی‌متری پوشش‌دار شد. در بستر کانال، زیر پوشش بتن

پارچه‌ای، صفحات مشبک زهکشی جایگذاری شد تا از این طریق، آب نشت یافته از پوشش به لوله تعبیه شده در کف کانال هدایت شود و از انتهای کانال، قابل جمع‌آوری و اندازه‌گیری شود. آزمایش‌های شاهد نیز در کانالی با پوشش آجر و سیمان با ابعاد مشابه انجام گرفت. شکل (۲) تصویری شماتیک از مقطع عرضی کانال، شکل (۳) تصویری واقعی از کانال با پوشش بتن پارچه‌ای و جدول (۱) طول مقاطع مختلف پوشش کانال را نشان می‌دهند.



شکل ۳- کانال آزمایشگاهی



شکل ۲- تصویری شماتیک از کانال آزمایشگاهی

جدول ۱- طول مقاطع مختلف پوشش کانال برای اندازه‌گیری خصوصیات هیدرولیکی و نشت

مقطع	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
طول (cm)	۸۰	۸۴	۹۸	۸۹	۹۶	۹۶	۹۴	۹۶	۹۲	۸۶	۹۷	۹۰	۱۰۱	۱۱۸

مناطق صحرایی مورد پایش

در این پژوهش، سه پایلوت با هدف ارزیابی عملکرد پوشش بتن پارچه‌ای در شرایط مختلف اقلیمی در مناطق دهمیر (خوسف)، محمدآباد (گرگان) و دولت‌آباد (قم) مورد پایش قرار گرفتند. برای روستای دهمیر در سال ۱۴۰۲، پایلوت پوشش بتن پارچه‌ای در کانال‌های آبیاری درجه ۴ برای ۱ کیلومتر از کانال‌های موجود منطقه که دچار مشکل بودند، اجرا شد. این رشته کانال‌های مشکل‌دار دارای ۸۵۰ متر مقطع بتنی معیوب با ترک‌های طولی و عرضی و ۱۵۰ متر مقطع خاکی با نشت فراوان بودند. بستر کانال با ۶۴ درصد شن، ۲۶/۶۶ درصد سیلت و ۹/۳۴ درصد رس دارای بافت شنی لومی بود. آب این کانال‌ها از یک قنات به طول حدود ۷۰۰ متر با تعداد ۲۸ میله چاه و دبی ۱۵ لیتر بر ثانیه تامین می‌شود. در مورد روستای محمدآباد، پوشش بتن پارچه‌ای برای کانال‌های آبیاری درجه ۳ و ۴ با طول تخمینی ۲ کیلومتر برای آبیاری حدود ۲۲۰ هکتار از مزارع در سال ۱۴۰۲ اجرا شد. آب این کانال‌ها از دو رودخانه زیارت و پوکردوال تامین می‌شود. خاک بستر این کانال‌ها با ۱۴/۵۶ درصد شن، ۳۹/۸۰ درصد سیلت و ۴۵/۶۴ درصد رس، دارای بافت رسی بود. در نهایت، در روستای دولت‌آباد، اجرای پایلوت بتن پارچه‌ای در کانال‌های آبیاری درجه ۳ به طول ۲ کیلومتر در سال ۱۴۰۳ انجام شد. در این روستا، ۲۰ کیلومتر از رشته کانال‌های موجود در منطقه به‌صورت پوشش با بتن سنتی هستند و آب مورد نیاز مزارع از سد ۱۵ خرداد تامین می‌شود. خاک بستر کانال با ۵۸/۶۶ درصد شن، ۲۷/۳۲ درصد سیلت و ۱۴/۰۲ درصد رس، بافت شنی لومی داشت.

مشخصات جغرافیایی، محصولات غالب، روش اجرای پوشش، نحوه اتصال رول‌ها و بافت خاک بستر در هر یک از مناطق مورد مطالعه در جدول (۲) ارائه شده است. همچنین، در جدول (۳) مشخصات شیمیایی خاک بستر کانال‌های پایلوت و مشخصات کیفی آب آورده شده است. شکل (۴) نمونه‌هایی از اجرای پوشش بتن پارچه‌ای را در سه پایلوت مذکور نشان می‌دهد.

جدول ۲- مشخصات عمومی و اجرا شده کانال‌های آبیاری مناطق مورد پایش

منطقه	موقعیت جغرافیایی	محصولات غالب	نوع اجرای پوشش بتن پارچه‌ای	نحوه اتصال رول‌ها	بافت خاک بستر
دهمیر (خوسف)	۳۲/۶۰° شمالی ۵۸/۹۵° شرقی	گندم، یونجه، پنبه	طولی با رول‌های ۱۳/۵ متری	پیچ و مهره با فواصل ۲۰ سانتی‌متر	شنی لومی
محمدآباد (گرگان)	۳۶/۹۰° شمالی ۵۴/۴۳° شرقی	برنج، گندم	عرضی با رول‌های ۲/۲ و ۲ متری	پیچ و مهره با فواصل ۲۰ سانتی‌متر	رسی
دولت‌آباد (قم)	۳۴/۲۱° شمالی ۵۰/۵۰° شرقی	گندم، جو	طولی با رول‌های ۹ متری	پیچ و مهره با فواصل ۲۰ سانتی‌متر	شنی لومی

جدول ۳- مشخصات شیمیایی آب کانال‌ها و خاک بستر در پایلوت‌های مورد پایش

منطقه	EC (dS/m)	pH	آنیون‌ها (meq/L)			کاتیون‌ها (meq/L)		
			SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
خوسف	۶/۱۸	۷/۹۷	۲۲/۶	۳۴	۳/۵	۳۹	۴	۱۷
	۱۲/۹	۸/۱	۳۲	۷۶/۲۵	۱۸/۷۵	۸۵/۵	۱۳	۳۴/۴
گرگان	۱/۲	۷/۴۴	۰/۵	۳/۶	۸/۳	۴/۵	۵/۱	۲/۹
	۲/۰۸	۷/۷	۲۷/۵	۸	۱۲/۵	۱۲/۷۵	۳۱/۳	۴۱/۸
قم	۵/۴	۸/۵	۱۹	۳۲/۵	۲/۹	۳۸/۲۳	۶/۷	۱۰/۴
	۷/۸	۷/۵۵	۲۵	۴۱	۸/۷۵	۶۲/۵	۳۳/۵	۱۷/۷



قم



گرگان



خوسف

شکل ۴- کانال‌های پوشش‌دار شده با بتن پارچه‌ای در پایلوت‌های صحرایی

ضریب زبری، سرعت برشی و تنش برشی

ضریب زبری، پارامتری است که میزان مقاومت بستر و دیواره‌های کانال در برابر جریان آب را نشان می‌دهد. فرمول مانینگ برای محاسبه ضریب زبری بر اساس سرعت جریان (v) در کانال به صورت زیر است (راهنمای تعیین ضریب زبری هیدرولیکی رودخانه‌ها، ضابطه شماره ۶۸۸، ۱۳۹۴):

$$n = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{v} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، n ضریب زبری مانینگ ($S/m^{1/3}$)، R شعاع هیدرولیکی (m) و S شیب هیدرولیکی (نسبت اختلاف عمق آب بین ابتدا و انتهای کانال به طول کانال) است. شعاع هیدرولیکی بر اساس Chow (1959) به صورت زیر قابل محاسبه است.

$$R = \frac{A}{P} \quad (2)$$

در رابطه (۲)، A مساحت مقطع جریان (m^2) و P محیط خیس شده (m) است. برای یک کانال دوزنقه‌ای، با توجه به عمق آب در هر نقطه (y)، عرض کف کانال (b) و شیب دیواره کانال (Z)، شعاع هیدرولیکی از رابطه (۳) به دست می‌آید:

$$R = \frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}} \quad (۳)$$

همچنین سرعت برشی (u_*) با توجه به تنش برشی و چگالی سیال از رابطه (۴) قابل محاسبه است (Chow, 1959):

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \quad (۴)$$

که در این رابطه، u_* سرعت برشی (m/s)، τ_0 تنش برشی (N/m^2) و ρ چگالی سیال (kg/m^3) است. برای محاسبه تنش برشی (τ_0) در یک کانال از رابطه (۵) استفاده می‌شود:

$$\tau_0 = \gamma R s \quad (۵)$$

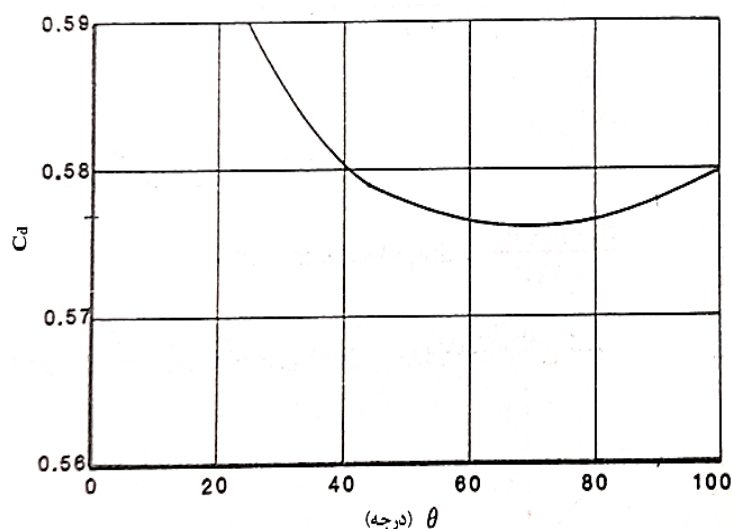
که در رابطه (۵)، γ وزن مخصوص سیال (N/m^2)، R شعاع هیدرولیکی (m) و s گرادیان انرژی است. در بیشتر کانال‌ها برای جریان‌های یکنواخت، گرادیان انرژی معادل با شیب بستر کانال در نظر گرفته می‌شود.

اندازه‌گیری در شرایط آزمایشگاهی

آزمایش‌ها برای محاسبه ضریب زبری مانینگ، سرعت برشی و تنش برشی با سه دبی مختلف ۱۱، ۱۶ و ۲۳ لیتر بر ثانیه انجام شد. این دبی‌ها بر اساس محدوده عملکردی کانال و پمپ آزمایشگاهی و با هدف پوشش حداقل، میانگین و حداکثر شرایط جریان در آزمون‌های کنترل شده انتخاب شد. این دامنه با استفاده از ابعاد مقطع آزمایشگاهی تعیین گردید. به‌ازای هر دبی (Q) عبوری از کانال، عمق جریان (y) و سرعت جریان (v) در هر مقطع با سه تکرار اندازه‌گیری شد. بر این اساس با توجه به تعداد دبی‌ها، مقاطع و تکرارها در مجموع، ۱۲۶ اندازه‌گیری عمق و سرعت انجام گرفت. عمق جریان با استفاده از خط‌کش مدرج و سرعت جریان با استفاده از میکرومولینه در عمق ۰/۳ متری از کف انجام شد. برای تعیین مقدار دبی، از سرریز مثلثی با زاویه ۹۰ درجه استفاده شد. دبی سرریز مثلثی بر طبق رابطه (۶) برآورد شد (حسینی و ابریشمی، ۱۴۰۰). در نهایت، جریان آب بعد از عبور از سرریز و قبل از ورود به کانال، وارد مقسم آب می‌شود.

$$Q = \frac{8}{15} C_d \sqrt{2g} \tan \frac{\theta}{2} H^{\frac{5}{2}} \quad (۶)$$

در رابطه (۶)، Q دبی عبوری (m^3/s)، C_d ضریب دبی که برای سرریزهای مثلثی برای زاویه‌های مختلف با استفاده از نمودار شکل (۵) به‌دست می‌آید و برای سرریزهای با زاویه ۹۰ درجه تقریباً برابر با ۰/۵۷۷ است. g شتاب گرانش (تقریباً برابر با ۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه) و H ارتفاع آب بالای تاج سرریز (m) است.



شکل ۵- مقادیر C_d برای زوایای مختلف سرریز مثلثی (حسینی و ابریشمی، ۱۴۰۰)

در آزمایشگاه برای اندازه‌گیری تلفات ناشی از نشت آب از روش حوضچه‌ای استفاده شد. در این روش، پس از پوشش‌دار کردن کانال، ابتدا و انتهای کانال با استفاده از دیواره‌های سیمانی مسدود و از عایق بودن و عدم نشت آب اطمینان حاصل گردید. با توجه به جذب آب توسط پوشش بتن پارچه‌ای در مراحل اولیه تماس با آب (دوره هیدراتاسیون تا ۲۸ روز)، آزمایش‌ها برای محاسبه مقدار نشت در مدت زمانی ۹۰ روزه با در نظر گرفتن دوره هیدراتاسیون انجام گرفت. بعد از عملیات هیدراتاسیون (۳۰ روز اول)، کانال تا عمق حدود ۵۰ سانتی‌متری برای یک دوره ۶۰ روزه با آب پر شد. سپس، عمق (Y) و عرض سطح آب (T) در تمام مقاطع کانال دوزنقه‌ای (۱۴ مقطع) به صورت روزانه اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری در شرایط صحرایی

برای اندازه‌گیری میزان نشت در کانال‌ها از روش دبی ورودی-خروجی استفاده شد. در کانال‌های درجه ۴، مانند دهمیر شهرستان خوسف، برای اجرای روش مذکور در تعیین میزان نشت، دو فلوم تیپ ۳ در ابتدا و انتهای کانال قرار داده شد (شکل ۶). پس از تثبیت آب بر روی فلوم‌ها، عمق آب از طریق خط‌کش (اشل) موجود در دیواره آنها قرائت شد. دبی عبوری برای فلوم‌های تیپ ۳ از رابطه (۷) محاسبه می‌شود (اسلامی، ۱۳۹۵).

$$Q = 0.00372H^{2.63} \quad (7)$$

در رابطه (۷)، H ارتفاع آب در فلوم (cm) و Q دبی ($L.s^{-1}$) است. برای کانال‌های درجه ۳، مانند پایلوت‌های گرگان و قم، از میکرومولینه بهره‌برداری گردید. همچنین، با استفاده از میکرومولینه، سرعت جریان و دبی منتج از آن در سه مقطع ابتدایی، میانی و انتهایی طول انتخاب شده از کانال اندازه‌گیری شد. برای کاهش خطا، اندازه‌گیری‌ها در سه مرتبه تکرار گردید. در جدول (۴)، مشخصات کانال‌ها و خصوصیات جریان برای هر سه منطقه مورد پایش آورده شده است.



شکل ۶- اندازه‌گیری میزان نشت در کانال با استفاده از فلوم تیپ ۳

جدول ۴- مشخصات کانال ها و شرایط جریان در سه منطقه مورد پایش

منطقه	نوع پوشش	طول پایش (m)	درجه کانال	عرض کف (cm)	عرض سطح (cm)	حداکثر عمق (cm)	شیب دیواره (%)	شیب طولی (%)	سرعت متوسط جریان (m/s)	عمق جریان (cm)
خوسف	بتن پارچه‌ای	۱۰۰۰	۴	۲۵	۷۰	۲۶	۸۶	۰/۲	۰/۱۲۸	۴/۵
	بتن درجا	۵۰۰	۴	۱۸	۵۸	۲۰/۵	۹۷	۰/۳۵	۰/۱۱۱	۶/۵
گرگان	بتن پارچه‌ای	۳۵۰	۳	۴۵	۱۵۰	۵۲/۵	۱۰۰	۰/۱۵	۰/۶۲	۱۸/۷
	بتن درجا	۱۹۰	۳	۴۵	۱۵۰	۵۲/۵	۱۰۰	۰/۲۵	۰/۴۷	۱۰/۳
	بتن پارچه‌ای	۲۱۰	۴	۳۰	۹۶	۳۳	۱۰۰	۰/۲	۰/۵۴	۱۸/۳
	بتن درجا	۲۱۰	۴	۳۰	۹۶	۳۳	۱۰۰	۰/۱۲۵	۰/۲۸	۱۱
قم	بتن پارچه‌ای	۲۰۰۰	۳	۵۰	۷۰	۶۰	۱۶/۷	۰/۲	۰/۸۲	۲۲
	بتن درجا	۱۰۰۰	۳	۴۵	۶۰	۵۵	۱۳/۶	۰/۲	۰/۵۸	۱۸/۵

شبیه‌سازی جریان آب در بسترهای مختلف

بسترهای مختلف کانال از نظر قابلیت نگهداری و انتقال آب متفاوت هستند. بنابراین، جنس بستر کانال می‌تواند در میزان نشت آب از پوشش کانال اثرگذار باشد. با توجه به این‌که در این پژوهش، مطالعات صحرایی برای اندازه‌گیری میزان نشت بر روی تمام جنس‌های بستر کانال انجام نشده است، با استفاده از نرم‌افزار Hydrus-2D جریان آب در بستر کانال بعد از نشت برای بافت‌های مختلف خاک شبیه‌سازی شد. برای انجام شبیه‌سازی، ابعاد یکی از کانال‌های پوشش‌دار شده با بتن پارچه‌ای در گرگان با بافت رسی (ریزبافت) برای نمونه انتخاب شد. در واقع، کانالی مشابه از نظر ابعادی در نظر گرفته شد، اما در نرم‌افزار بافت‌های مختلف خاک به‌عنوان بستر این کانال معرفی گردید. این بافت‌ها شامل انواع خاک‌های ریزبافت و درشت‌بافت بودند.

نتایج و بحث

نتایج آزمایشگاهی

به‌ازای دبی‌های مختلف (۱۱، ۱۶ و ۲۳ لیتر بر ثانیه)، مقادیر متوسط عمق (Y)، سرعت (V)، شعاع هیدرولیکی (R) و ضریب زبری مانینگ (n) برای هر مقطع در جدول (۵) آورده شده است. ضریب زبری مانینگ در فناوری بتن پارچه‌ای به‌میزان متوسط ۰/۰۱ برآورد شد که نسبت به شاهد آزمایشگاهی با پوشش آجر و سیمان با ضریب زبری ۰/۰۲۲ و پوشش‌های بتنی با ضریب زبری ۰/۰۲۷-۰/۰۱۳ وضعیت بسیار مناسب‌تری داشت. میزان ضریب زبری پوشش بتن پارچه‌ای حاصل از نتایج آزمایشگاهی بر اساس جدول (۶)، منتج از نتایج Chow, (1959)، در دسته پوشش‌هایی قرار می‌گیرد که کمترین مقدار ضریب زبری را دارند. در مطالعات دیگری، ضریب زبری مانینگ برای کانال‌های با پوشش گیاهی بین ۰/۰۱ تا ۰/۰۴ و برای کانال‌های خاکی بدون پوشش گیاهی بین ۰/۰۱۴ تا ۰/۰۵ به‌دست آمده است (ناصری، ۱۳۹۵؛ ناصری، ۱۳۹۸). بنابراین، ضریب زبری به‌دست آمده برای پوشش بتن پارچه‌ای در مطالعه حاضر، حداقل مقدار گزارش شده توسط منابع مختلف برای پوشش‌های با جنس‌های مختلف را دارد.

جدول ۵- مقادیر عمق (Y)، سرعت جریان (V)، شعاع هیدرولیکی (R) و ضریب زبری (n) در مقاطع مختلف کانال با پوشش بتن پارچه‌ای

Q (L/s)	شماره مقطع														
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	
۱۱	۱۱/۵	۱۲/۵	۱۲/۸	۱۲/۱	۱۲	۱۲/۴	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲/۴	۱۲	۱۲/۴	۱۲/۲	۸/۵	Y (cm)
	۰/۴۹	۰/۴۵	۰/۴۵	۰/۴۷	۰/۴۷	۰/۵۰	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۵۴	۰/۵۵	۰/۵۴	۰/۵۷	۰/۶۵	V (m/s)
	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲	R (m)
	۰/۰۱۱	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۱	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۱	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۰۷	n
۱۶	۱۲/۹	۱۳/۷	۱۴/۴	۱۴/۴	۱۵/۲	۱۴/۶	۱۴/۸	۱۳	۱۳	۱۴/۴	۱۴/۵	۱۴/۸	۱۱/۸	۸/۲	Y (cm)
	۰/۵۵	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۶۲	۰/۶۰	۰/۶۳	۰/۶۶	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۶۸	۰/۷۰	۰/۹۳	V (m/s)
	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	R (m)
	۰/۰۱۱	۰/۰۱۱	۰/۰۱۲	۰/۰۱۱	۰/۰۱۱	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۹۰	۰/۰۹۰	۰/۰۹۰	۰/۰۸۰	۰/۰۵۰	n
۲۳	۱۶/۵۰	۱۷/۱۰	۱۷/۳۰	۱۷/۰۰	۱۷/۳۰	۱۶/۴۰	۱۶/۵۰	۱۶/۹۰	۱۴/۸۰	۱۴/۳۰	۱۴/۳۰	۱۴/۳۰	۱۳/۷۰	۱۱/۶۰	Y (cm)
	۰/۶۳	۰/۶۴	۰/۶۵	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۷۱	۰/۶۹	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۷۶	۰/۷۶	۰/۷۶	۰/۷۹	۱/۰۶	V (m/s)
	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۳۰	R (m)
	۰/۰۱۱	۰/۰۱۱	۰/۰۱۱	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۰۹۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۰۹۰	۰/۰۸۰	۰/۰۸۰	۰/۰۸۰	۰/۰۸۰	۰/۰۰۵	n

جدول ۶- مقادیر ضریب زبری برای پوشش‌های مختلف (Chow, 1959)

جنس پوشش	متوسط ضریب زبری
فولادی صاف بدون رنگ	۰/۰۱۲ تا ۰/۰۱۳
فولادی موج	۰/۰۲۵
سیمانی صاف و تمیز	۰/۰۱۱
سیمانی با ملات معمولی یا زبر	۰/۰۱۳
چوبی صاف	۰/۰۱۲
چوبی ناصاف	۰/۰۱۳ تا ۰/۰۱۵
بتنی ماله‌کشی شده	۰/۰۱۳
بتنی ماله‌کشی شده ناصاف	۰/۰۱۵ تا ۰/۰۲۷
آسفالت صاف	۰/۰۱۳
آسفالت ناصاف	۰/۰۱۶
خاکی با و بدون پوشش گیاهی	۰/۰۱۸ تا ۰/۰۵۰
سنگ‌بری صاف	۰/۰۳۵
سنگ‌بری ناصاف	۰/۰۴۰
آبراهه‌های طبیعی	۰/۰۳ تا ۰/۱

مقادیر متوسط سرعت برشی و تنش برشی به‌ازای دی‌های مختلف و تکرارهای متفاوت در کانال آزمایشگاهی با پوشش بتن پارچه‌ای به‌ترتیب برابر با ۰/۰۳۲ متر بر ثانیه و ۱/۰۶ نیوتن بر متر مربع برآورد شد (جدول ۷)، که نسبت به مقادیر متوسط در شرایط شاهد به‌ترتیب ۵۴ درصد و ۱۱ درصد کمتر بود. باقری‌میاب و لمین، (۲۰۱۳) به محاسبه سرعت برشی در یک کانال مستطیلی آزمایشگاهی با بستر شنی پرداختند و مقدار سرعت برشی را بین ۳/۸۷-۰/۱۰ متر بر ثانیه گزارش کردند. مقدار به‌دست آمده برای سرعت برشی در پژوهش حاضر در مقایسه با نتایج آنها در محدوده پایین‌تر این بازه قرار دارد. این اختلاف می‌تواند در شرایط آزمایشگاهی ناشی از مواردی مانند ویژگی‌های جریان (عمق و دی‌آب)، پارامترهای هندسی کانال (عرض، طول و شیب)

و مهم‌تر از همه، نوع پوشش بستر (بتن پارچه‌ای در مقابل بستر شنی) باشد که نشان می‌دهد پوشش بتن پارچه‌ای تاثیر قابل توجهی بر کاهش سرعت برشی داشته است. در واقع، پوشش بتن پارچه‌ای به دلیل کاهش سرعت برشی می‌تواند گزینه‌ای مناسب برای کنترل فرسایش و پایداری کانال‌ها باشد. همچنین، نتایج به‌دست آمده از برخی مطالعات در جدول (۸) حاکی از آن است که مقدار به‌دست آمده برای میزان تنش برشی پژوهش حاضر در محدوده متوسط اعداد این جدول قرار دارد.

جدول ۷- مقادیر تنش برشی و سرعت برشی در مقاطع مختلف کانال با پوشش بتن پارچه‌ای برای دبی‌های مختلف-شرایط آزمایشگاهی

مقطع	دبی ۱۱ لیتر بر ثانیه		دبی ۱۶ لیتر بر ثانیه		دبی ۲۳ لیتر بر ثانیه	
	u^* (m/s)	τ_0 (N/m ²)	u^* (m/s)	τ_0 (N/m ²)	u^* (m/s)	τ_0 (N/m ²)
۱	۰/۰۳۰	۰/۹۲	۰/۰۳۲	۱/۰۱	۰/۰۳۵	۱/۲۵
۲	۰/۰۳۱	۰/۹۹	۰/۰۳۳	۱/۰۶	۰/۰۳۶	۱/۲۹
۳	۰/۰۳۲	۱/۰۱	۰/۰۳۳	۱/۱۱	۰/۰۳۶	۱/۳۰
۴	۰/۰۳۱	۰/۹۶	۰/۰۳۳	۱/۱۱	۰/۰۳۶	۱/۲۸
۵	۰/۰۳۱	۰/۹۵	۰/۰۳۴	۱/۱۶	۰/۰۳۶	۱/۳۰
۶	۰/۰۳۱	۰/۹۸	۰/۰۳۴	۱/۱۲	۰/۰۳۵	۱/۲۴
۷	۰/۰۳۱	۰/۹۵	۰/۰۳۴	۱/۱۴	۰/۰۳۵	۱/۲۵
۸	۰/۰۳۱	۰/۹۵	۰/۰۳۲	۱/۰۲	۰/۰۳۴	۱/۱۴
۹	۰/۰۳۱	۰/۹۵	۰/۰۳۲	۱/۰۲	۰/۰۳۴	۱/۱۴
۱۰	۰/۰۳۱	۰/۹۸	۰/۰۳۳	۱/۱۱	۰/۰۳۳	۱/۱۰
۱۱	۰/۰۳۱	۰/۹۹	۰/۰۳۳	۱/۱۲	۰/۰۳۳	۱/۱۰
۱۲	۰/۰۳۱	۰/۹۷	۰/۰۳۲	۱/۰۱	۰/۰۳۳	۱/۰۷
۱۳	۰/۰۳۱	۰/۹۷	۰/۰۳۱	۰/۹۴	۰/۰۳۳	۱/۰۶
۱۴	۰/۰۲۷	۰/۷۳	۰/۰۲۷	۰/۷۱	۰/۰۳۰	۰/۹۳
میانگین	۰/۰۳۱	۰/۹۵	۰/۰۳۲	۱/۰۵	۰/۰۳۴	۱/۱۷

میانگین کل سرعت برشی = 0.032 متر بر ثانیه

میانگین کل تنشی برشی = 1.06 نیوتن بر متر مربع

جدول ۸- مقادیر تنش برشی در شرایط آزمایشگاهی بر اساس مطالعات دیگران

شرایط آزمایش	τ_0 (N/m ²)	منبع
اندازه‌گیری با استفاده از نیم‌کره‌های FST برای سرعت‌های مختلف جریان در بستر کانال‌های مستطیلی با پوشش گیاهی مصنوعی	۰/۱۲ تا ۱/۶	Bockelmann-Evans, Mhashhash and Pan, (2018)
اندازه‌گیری با استفاده از پرستون تیوپ برای نسبت‌های مختلف عرض کف کانال به عمق آب در کانال‌های ذورنقه‌ای با بستر صاف	۰/۴ تا ۰/۹	جاعل و همکاران، (۱۳۸۹)
اندازه‌گیری با استفاده از یک فلوم ویژه دارای سلول‌های حساس به بار دینامیک برای نسبت‌های مختلف عرض کف به عمق آب در کانال‌های ذورنقه‌ای و مستطیلی با بستر شیشه‌ای صاف	۰/۳۳ تا ۲/۱۳	فتحی‌مقدم، لشکرآرا و جاعل، (۱۳۹۵)
محاسبه برای شیب‌های مختلف کف یک کانال مستطیلی شیشه‌ای	۰/۶ تا ۲/۳	Khadka, (2018)

در برآورد میزان تلفات ناشی از نشت، نتایج نشان داد که میزان کاهش حجم آب کانال با حجم اولیه ۳۷۳۷/۵ لیتر به میزان ۷۳۲/۹ لیتر بود. بر اساس اندازه‌گیری‌های به‌عمل آمده، شدت نشت در کل زمان آزمایش برابر با ۲۵/۲۷ لیتر در روز بود که با توجه به ابعاد کانال، معادل ۱/۲۹ لیتر در روز به ازای هر مترمربع تخمین زده شد. درصد میزان نشت نسبت به حجم اولیه برای کل زمان آزمایش برابر با ۱۹/۶ درصد و متوسط درصد نشت روزانه نسبت به حجم اولیه برابر با ۰/۶۵ درصد تخمین زده شد. با توجه به مقادیر گزارش شده در مطالعات تحقیقاتی و مشاهده‌ای مختلف (جدول ۹)، مقدار نشت از پوشش بتن پارچه‌ای بر اساس مطالعات آزمایشگاهی بسیار کمتر از پوشش‌های خاکی، سنگ و ملات، بتنی، ژئوممبران و پلیمری بود. همچنین، بر اساس استاندارد USBR (جدول ۱۰)، نتایج آزمایشگاهی تحقیق حاضر نشان از حداقلی بودن میزان نشت از پوشش بتن پارچه‌ای در مقایسه با سایر پوشش‌ها را دارد. فناوری پوشش بتن پارچه‌ای به دلیل ویژگی‌های خاص خود مانند ترکیب مواد سیمانی و پارچه‌های مخصوص، دارای خاصیت آب‌بندی عالی بوده و مقاومت بالایی در برابر نفوذ آب دارد. این نوع پوشش، برخلاف پوشش بتن رایج به کار گرفته شده در کانال‌های آبیاری که ممکن است به مرور زمان دچار ترک و خرابی شوند، به دلیل ساختار خود دارای انعطاف پذیری بیشتری است و در برابر تغییرات دما و فشار آب مقاوم‌تر است، که این امر به کاهش نشت کمک می‌کند. پوشش‌های پلاستیکی و بتن گانیت نیز به‌طور خاص برای جلوگیری از نفوذ آب طراحی شده‌اند و معمولاً نشت بسیار کمی دارند. با این حال، این پوشش‌ها به اندازه بتن پارچه‌ای در برابر فشارهای فیزیکی و محیطی مقاوم نیستند و در مواردی دچار آسیب‌های فیزیکی یا نقص می‌شوند. خاک‌های بسیار متراکم نیز به دلیل فشردگی، توانایی جلوگیری از نفوذ آب را دارند، اما یکی از محدودیت‌های آنها پایداریشان بوده که ممکن است در برابر فشارهای زیاد و عوامل محیطی، دچار آسیب و تغییر شوند و در نتیجه، نشت آب افزایش یابد.

جدول ۹- مقادیر نشت از کانال‌های آبیاری با پوشش‌های مختلف بر اساس مطالعات دیگران

کانال و پوشش	نشت	منبع
کانال آبیاری مستطیلی در همدان به طول ۱۵/۲۵ کیلومتر با پوشش سنگ و ملات	۳۴۰ لیتر در متر مربع در روز	بهراملو، (۱۳۹۰)
کانال آبیاری خاکی دوزنقه‌ای در دشت مغان به طول ۱۱۴ کیلومتر	۱۰ درصد (۲۴۵/۴×۱۰ ^۳) تا ۲۰۸۳۸/۶×۱۰ ^۳ لیتر در روز	برخورداری و هاشمی شاهدانی، (۱۳۹۹) Barkhordari and Hashemy Shahandy, (2022)
نتایج ۴۴ مطالعه در مورد کانال‌های با پوشش خاکی دست نخورده و متراکم شده، ممبران و پلیمری	۱۰۰ تا ۱۰۰۰ لیتر در متر مربع در روز	Lund, Gates and Scalia IV, (2023)
قطعه‌ای ۹۰۰ متری از یک کانال آبیاری دوزنقه‌ای در دشت مغان با پوشش ژئوممبران	۴۸/۸۶ لیتر در متر مربع در روز	اخوان و همکاران (۱۴۰۳)
مقاطع ۱۰۰ متری از سه کانال آبیاری خاکی مستطیلی در دشت کازرون	۳۲۰ تا ۳۶۱ لیتر در متر مربع در روز	مومن‌زاده و شاهرخ نیا، (۱۳۹۷)
مقاطع ۱۰۰ متری از سه کانال آبیاری مستطیلی در دشت کازرون با پوشش بتنی	۱۰ تا ۲۰ لیتر در متر مربع در روز	مومن‌زاده و شاهرخ نیا، (۱۳۹۷)

جدول ۱۰- میزان نشت آب از کانال‌های آبیاری با پوشش‌های مختلف

نوع پوشش	نشت ($L/day/m^2$)	منبع
بتن	۱۲۱ تا ۳۰	USBR, (1963)*
بستر رسی	۴۵ تا ۱۵	USBR, (1963)
بستر لومی	۱۳۸۶ تا ۱۸۳	USBR, (1963)
بستر ماسه‌ای	۳۱۷۰ تا ۱۶۳	USBR, (1963)
پلاستیک	۱۲ تا ۳	USBR, (1963)
خاک متراکم شده	۲۱	USBR, (1963)
سیمان پرتلند	۲۱	USBR, (1963)
گنیت	۳۲ تا ۱	USBR, (1963)
خاک متراکم شده	۱/۷ تا ۳	Nofziger, Rice and Mishu, (1979)
بتن	۸۶ تا ۳۷	Sarkar and Ranjana Majumder, (1995)
بدون پوشش	۲۱۶ تا ۱۹۴	Sarkar and Ranjana Majumder, (1995)
آجر بنایی	۹۱	Nayak et al, (1996)
بستر طبیعی	۴۶۲	Nayak et al, (1996)

* United States Bureau of Reclamation

نتایج پایش کانال‌های صحرایی

در جدول (۱۱) مقادیر ضریب زبری، تنش و سرعت برشی و مقدار نشت از کانال‌های با پوشش بتن پارچه‌ای و بتن درجا (سنتی) در هر سه منطقه پایش آورده شده است. همچنین، روش اجرای طولی یا عرضی همراه با مشخصات نیز مشخص شده است. نتایج نشان داد که میانگین ضریب زبری، تنش برشی، سرعت برشی و میزان نشت برای بتن پارچه‌ای به ترتیب برابر با ۰/۰۲۲، ۱/۶۳ نیوتن بر متر مربع، ۰/۰۳۷ متر بر ثانیه و ۲۹/۹۶ لیتر در متر مربع در روز بود. این مقادیر در مقایسه با میانگین مقادیر بتن سنتی (به طور متوسط ۰/۰۳۴، ۱/۸۳، ۰/۰۴۱ و ۶۴/۳۵) نشان‌دهنده عملکرد بهتر بتن پارچه‌ای است. ضریب زبری بتن پارچه‌ای حدود ۳۵ درصد کمتر از بتن سنتی و در محدوده ضریب زبری کانال‌های خاکی با یا بدون پوشش گیاهی (۰/۰۱۸ تا ۰/۰۵۰) قرار دارد (جدول ۶). همچنین، این مقدار نسبت به مقدار ضریب زبری بتن پارچه‌ای در شرایط آزمایشگاهی (۰/۰۱) بیشتر است که نشان دهنده تاثیر کیفیت اجرا و شرایط صحرایی است. سرعت برشی بتن پارچه‌ای در مقایسه با نتایج باقری‌میاب و لمین (۲۰۱۳) که بازه‌ای بین ۰/۰۱ تا ۳/۸۷ متر بر ثانیه برای کانال‌های آزمایشگاهی با بستر شنی گزارش کرده‌اند، در پایین‌ترین حد این بازه قرار دارد. این موضوع نشان می‌دهد که بتن پارچه‌ای مقاومت بسیار کمی در برابر جریان دارد و در نتیجه، گزینه‌ای مناسب برای کاهش فرسایش است. همچنین، تنش برشی بتن پارچه‌ای در مقایسه با مقادیر گزارش شده (جدول ۸)، در محدوده پایین تا متوسط قرار دارد که نشان دهنده پایداری هیدرولیکی مناسب این پوشش است.

بر اساس نتایج پایش شده در این پژوهش، میزان نشت بتن پارچه‌ای حدود ۵۸ درصد کمتر از بتن سنتی بود. این مقدار، همچنین به طور قابل توجهی کمتر از پوشش‌های سنگ و ملات (۳۴۰ لیتر در متر مربع در روز)، پوشش‌های خاکی (۳۲۰ تا ۳۶۱ لیتر در متر مربع در روز)، ژئوممبران (۴۸/۸۶ لیتر در متر مربع در روز) و بسیاری از پوشش‌های بتنی (۳۰ تا ۱۲۱ لیتر در متر مربع در روز) است (جداول ۹ و ۱۰). با این حال، مقدار نشت در شرایط صحرایی بیشتر از مقدار نشت در شرایط آزمایشگاهی (۱/۲۹ لیتر در متر مربع در روز) بود که دلیل اصلی آن، افزایش فاصله بین پیچ‌های اتصال رول‌ها از ۵ سانتی‌متر در آزمایشگاه به ۲۰ سانتی‌متر در شرایط صحرایی است. همچنین، میانگین نشت در اجرای طولی بتن پارچه‌ای (۲۴/۲۴ لیتر در متر مربع در روز) حدود ۲۱ درصد کمتر از اجرای عرضی (۳۰/۸۸ لیتر در متر مربع در روز) بود، که نشان می‌دهد روش اجرای طولی در کاهش نشت موثرتر بوده است. علت این برتری می‌تواند کاهش تعداد درزها و کنترل بهتر در فرآیند اجرا باشد. تنش برشی در اجرای طولی برابر با ۱/۵۶ نیوتن بر متر مربع بود که در مقایسه با مقدار ۱/۷۴ در اجرای عرضی، حدود ۱۰ درصد کمتر است و نشان دهنده کاهش نیروهای برشی و در نتیجه، کاهش احتمال فرسایش است. سرعت برشی در اجرای طولی برابر با ۰/۰۳۵ متر بر ثانیه بود که

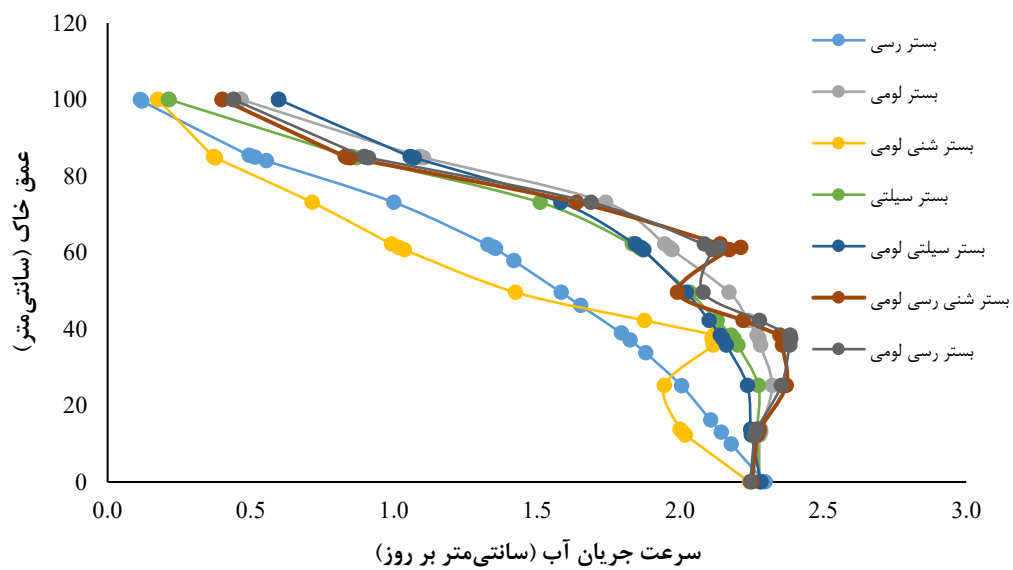
نسبت به اجرای عرضی با مقدار ۰/۰۴۱ متر بر ثانیه، حدود ۱۵ درصد کاهش داشت و حاکی از مقاومت بیشتر پوشش در برابر جریان و کاهش انرژی آن در اجرای عرضی بود. با این حال، ضریب زبری در اجرای طولی (۰/۰۲۶) نسبت به اجرای عرضی (۰/۰۱۵) بیشتر بود، که این موضوع می‌تواند ناشی از تفاوت در کیفیت اتصال رول‌ها یا شرایط سطحی کانال در منطقه باشد. در مجموع، با توجه به کاهش نشت، اجرای طولی عملکرد هیدرولیکی بهتری از خود نشان داده است.

جدول ۱۱- مقادیر متوسط ضریب زبری، تنش برشی و سرعت برشی و میزان نشت از کانال‌ها در مناطق مورد پایش

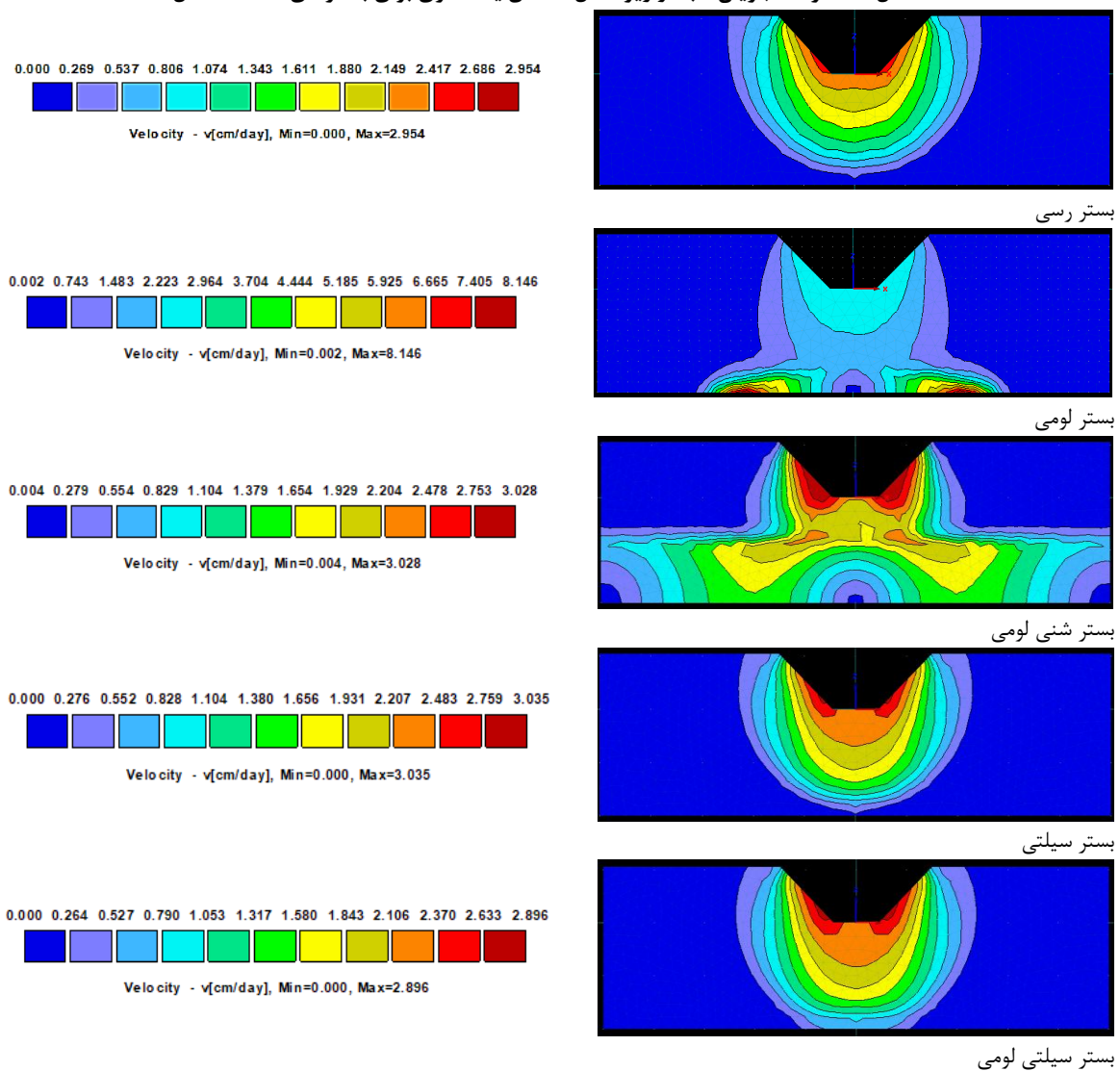
منطقه	نوع پوشش	روش اجرا	درجه کانال	ابعاد رول (عرض×طول) (m×m)	ضریب زبری (-)	تنش برشی (N/m ²)	سرعت برشی (m/s)	نشت (L /m ² /day)
خوسف	بتن پارچه‌ای	طولی	۴	۱۳/۵×۱/۱	۰/۰۳۸	۰/۶۸	۰/۰۲۰	۲۷/۴۸
	بتن سنتی	-	۴	-	۰/۰۶۶	۱/۴۷	۰/۰۳۸	۱۰۰/۶۵
گرگان	بتن پارچه‌ای	عرضی	۳	۲×۲/۲	۰/۰۱۵	۱/۷۴	۰/۰۴۱	۳۰/۸۸
	بتن سنتی	-	۳	-	۰/۰۲۰	۱/۹۶	۰/۰۴۴	۵۲/۴۶
قم	بتن پارچه‌ای	طولی	۳	۹×۲/۲	۰/۰۱۴	۲/۴۵	۰/۰۵۰	۲۱/۰۰
	بتن سنتی	-	۳	-	۰/۰۱۷	۲/۰۷	۰/۰۴۰	۳۹/۳۷

شبیه‌سازی جریان آب در بسترهای مختلف کانال با پوشش بتن پارچه‌ای بعد از نشت

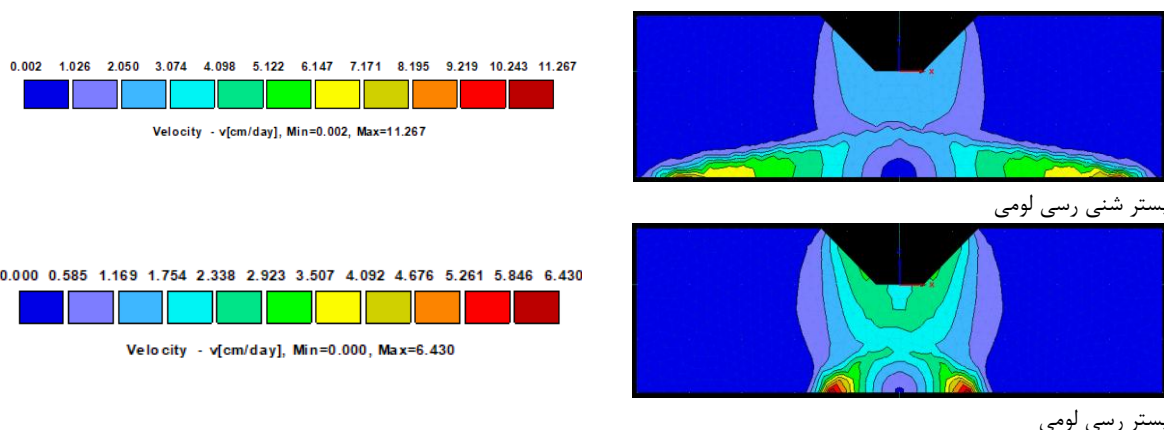
شبیه‌سازی جریان آب در بستر کانال با پوشش بتن پارچه‌ای نشان داد که آب نشت یافته از کانال در بستر خاک رسی (ریزبافت) برای پایلوت گرگان بعد از حدود ۱۰ روز به عمق یک متری زیر کف کانال می‌رسد. بر این اساس، سرعت جریان آب در زیر کانال تا عمق یک متری برای بسترهای مختلف کانال از منظر بافت خاک شبیه‌سازی شد (شکل‌های ۷ و ۸). بر اساس نتایج این شبیه‌سازی، برخی شاخص‌های عددی سرعت جریان برای هر بافت خاک بستر کانال به‌دست آمدند، که در جدول ۱۲ ارائه شده‌اند. طبق شکل‌های ۷ و ۸ و جدول ۱۲ و الگوهای به‌دست آمده در بافت‌های مختلف، میانگین سرعت جریان در بسترهای ریزبافت (رسی، سیلتی، سیلتی لومی و رسی لومی) به‌طور متوسط حدود ۱/۷۱ سانتی‌متر بر روز و در بسترهای درشت‌بافت‌تر (لومی، شنی لومی و شنی رسی لومی) حدود ۱/۴۸ سانتی‌متر بر روز است. با در نظر گرفتن شیب میانگین افت سرعت جریان (به‌ترتیب حدود ۰/۰۲۰ و ۰/۰۱۸ سانتی‌متر بر روز بر سانتی‌متر عمق) و عمق کاهش سرعت به ۵۰ درصد (میانگین ۹۰ سانتی‌متر در ریزبافت‌ها در مقابل ۸۳ سانتی‌متر در درشت‌بافت‌ها) می‌توان نتیجه گرفت که سرعت جریان آب در بسترهای ریزبافت سریع‌تر افت می‌کند و به عمق کمتری نفوذ می‌یابد. در مجموع، نشت موثر از بسترهای درشت‌بافت حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد بیشتر از بسترهای ریزبافت برآورد می‌شود. این تفاوت در رفتار هیدرولیکی بسترها نشان می‌دهد که خاک‌های ریزبافت به‌دلیل هدایت هیدرولیکی پایین در کاهش نشت کانال‌ها موثرتر هستند و خاک‌های درشت‌بافت، نشت بیشتری ایجاد می‌کنند. کاهش سرعت جریان در خاک شنی لومی نسبت به سایر بافت‌ها می‌تواند ناشی از ترکیب ناهمگن منافذ خاک باشد. وجود بخش لومی در کنار شن باعث افزایش ظرفیت نگهداشت آب و کاهش پیوستگی منافذ درشت می‌شود، به‌طوری که تا عمق یک متری، جریان ترجیحی و موثر آب حتی کندتر از خاک‌های ریزبافت شده است. در خاک شنی رسی لومی نیز با این‌که وجود رس در کنار شن می‌تواند منافذ ریز را پر کند، اما در عین حال همین ذرات رس باعث ایجاد شبکه‌ای پایدارتر از منافذ درشت می‌شود. این ترکیب برخلاف خاک شنی لومی، که ذرات لومی بیشتر مسیرهای درشت را می‌بندند، می‌تواند جریان موثر را تسهیل کند.



شکل ۷- سرعت جریان آب در زیر کانال تا عمق یک متری برای بسترهای مختلف کانال



شکل ۸- سرعت جریان آب در بسترهای مختلف به صورت گرافیکی



ادامه شکل ۸

جدول ۱۲- شاخص‌های عددی سرعت جریان برای بافت خاک بستر کانال

بافت بستر	کمترین سرعت جریان (cm/day)	بیشترین سرعت جریان (cm/day)	میانگین سرعت جریان (cm/day)	عمق کاهش سرعت جریان به ۵۰ درصد (cm)	شیب میانگین افت سرعت جریان (cm/day/cm)
رسی	۰/۱۱	۲/۳۰	۱/۴۸	۸۲	۰/۰۲۱۶
لومی	۰/۴۶	۲/۳۲	۱/۷۷	۹۷	۰/۰۱۸۶
شنی لومی	۰/۱۸	۲/۲۴	۱/۴۰	۸۳	۰/۰۲۱۱
سیلتی	۰/۲۱	۲/۲۸	۱/۶۳	۹۱	۰/۰۲۰۱
سیلتی لومی	۰/۶۰	۲/۲۸	۱/۷۴	۹۵	۰/۰۱۸۰
شنی رسی لومی	۰/۴۰	۲/۳۷	۱/۸۰	۹۲	۰/۰۲۰۶
رسی لومی	۰/۴۴	۲/۳۹	۱/۸۲	۹۴	۰/۰۲۰۴

توضیح: عمق کاهش سرعت جریان به ۵۰ درصد یعنی عمقی که مقدار سرعت جریان به نصف مقدار اولیه نزدیک شده باشد. شیب میانگین افت سرعت جریان یعنی کاهش متوسط سرعت جریان نسبت به عمق به‌ازای هر cm عمق.

نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های این پژوهش، ارزیابی عملکرد بتن پارچه‌ای در مقایسه با بتن سنتی در شبکه‌های آبیاری نشان داد که این فناوری می‌تواند به‌عنوان یک پوشش نوین با مزایای هیدرولیکی و اقتصادی قابل توجه مطرح شود. مهم‌ترین نتایج به‌دست آمده به‌شرح زیر است:

- ۱- ضریب زبری مانینگ بتن پارچه‌ای در آزمایشگاه برابر با ۰/۰۱ بود، که نسبت به پوشش‌های آجر و سیمان (۰/۰۲۲) و بتنی (۰/۰۲۷-۰/۰۱۳) به‌ترتیب حدود ۵۴ و ۱۱ درصد کمتر بود. این کاهش زبری، به‌معنای افت انرژی کمتر در کانال است که در عمل می‌تواند ظرفیت انتقال آب را افزایش و نیاز به لایروبی و نگهداری مکرر را کاهش دهد.
- ۲- میزان نشت در شرایط آزمایشگاهی با بتن پارچه‌ای حدود ۱/۲۹ لیتر در متر مربع در روز برآورد شد، که نسبت به پوشش‌های رایج مانند بتن و سنگ تا ۹۶ درصد کاهش نشان داد. این کاهش چشمگیر نشت، در شرایط کم‌آبی و بحران منابع آب، اهمیت زیادی دارد و می‌تواند به صرفه‌جویی قابل توجه در حجم آب انتقالی و افزایش راندمان شبکه‌های آبیاری منجر شود.
- ۳- در پایلوت‌های صحرایی، اجرای طولی رول‌های بتن پارچه‌ای حدود ۲۱ درصد نشت کمتری نسبت به اجرای عرضی نشان داد، که حاکی از اثربخشی بیشتر روش اجرای طولی در کاهش نشت است. بنابراین، علاوه بر انتخاب نوع پوشش، شیوه اجرا نیز نقش کلیدی در عملکرد هیدرولیکی دارد و باید به‌عنوان یک دستورالعمل اجرایی مد نظر قرار گیرد.

۴- مقایسه میانگین ضریب زبری و نشت در کانال‌های با پوشش بتن پارچه‌ای نسبت به بتن سنتی موجود در مناطق مورد پایش، به ترتیب حدود ۳۵ و ۵۸ درصد کاهش نشان داد. این کاهش، بیانگر آن است که بتن پارچه‌ای نه تنها از نظر انتقال آب کارآمدتر است، بلکه از نظر کاهش تلفات نیز عملکرد بهتری دارد و می‌تواند جایگزین مناسبی برای پوشش‌های فرسوده فعلی باشد.

۵- شبیه‌سازی‌ها با نرم‌افزار Hydrus-2D نشان دادند که نشت موثر از بسترهای درشت‌بافت حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد بیشتر از بسترهای ریزبافت بود، که این موضوع، اهمیت افزایش تراکم بستر در هنگام اجرای پوشش را برای کاهش نشت آب برجسته می‌سازد. بنابراین، شرایط بستر نیز می‌تواند بر موفقیت پوشش بتن پارچه‌ای تاثیر بگذارد و تراکم مناسب خاک می‌تواند به‌طور مستقیم در کاهش نشت و افزایش دوام پوشش موثر باشد.

نتایج این پژوهش به روشنی نشان می‌دهند که بتن پارچه‌ای با ترکیب سه مزیت کلیدی شامل کاهش نشت آب، افزایش پایداری هیدرولیکی و سهولت اجرا می‌تواند به عنوان یک راهکار کارآمد برای بهبود راندمان انتقال آب در شبکه‌های آبیاری مورد استفاده قرار گیرد. این فناوری، علاوه بر کاهش تلفات آب و ارتقای کارایی زیرساخت‌های آبیاری، می‌تواند در شرایط محدودیت منابع آبی و تغییر اقلیم، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک ایران، نقش به سزایی ایفا کند. به‌طور کلی، پوشش بتن پارچه‌ای به‌طور موثرتر و پایدارتر از سایر پوشش‌ها در بهبود خصوصیات هیدرولیکی عمل می‌کند. این عملکرد بهتر می‌تواند دلایل مختلفی از جمله ویژگی‌های ساختاری، مقاومتی و چسبندگی بالای بتن پارچه‌ای در برابر شرایط محیطی داشته باشد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

جمع‌آوری داده‌ها: علی مختاران، فرشید تاران، محمد مهدی کرمانی نژاد و محمد فیاض؛ تهیه گزارش پژوهش: علی مختاران، فرشید تاران؛ تحلیل داده‌ها: علی مختاران، فرشید تاران و رضا غفارپور

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

مقاله حاضر با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه جامع امام حسین (ع) انجام شد.

سپاسگزاری

این پژوهش، مستخرج از پروژه پژوهشی طبق قرارداد بین موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی- سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی- و دانشگاه امام حسین (ع) است. نویسندگان این مقاله، مراتب قدردانی خود را از زحمات و همکاری‌های دو طرف قرارداد اعلام می‌دارند.

منابع

اخوان، کرامت، خیری قوجه‌بیگلو، میلاد، مردپور، مجید، کلاته، فرهود (۱۴۰۳). تحلیل صحرایی عملکرد لایه‌های ژئوممبران در کاهش نشت آب از کانال‌های شبکه آبیاری مغان. *تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی*، ۲۵ (۹۴)، ۶۹-۸۲.
<https://doi.org/10.22092/idser.2024.366199.1582>
اسلامی، امیر (۱۳۹۵). ابزار اندازه‌گیری آب آبیاری در روش‌های آبیاری سطحی. نشریه فنی شماره ۴۴. وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس.

- بختیاری، مرتضی، حیدری، مجید، ظهیری، جواد (۱۴۰۲). بهبود مشخصات مکانیکی خاک کانال‌های انتقال شبکه دشت آزادگان بر اساس کانی‌شناسی خاک. *رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط‌زیست*، ۲ (۲)، ۱۱۳-۱۲۲. <https://doi.org/10.22034/nawee.2023.425617.1056>
- برخورداری، سروش، هاشمی شاهدانی، سید مهدی (۱۳۹۹). آنالیز و تعیین میزان تراوش در کانال خاکی آبیاری با استفاده از مدل عددی؛ مطالعه موردی: کانال اصلی شبکه آبیاری دشت مغان. *تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی*، ۳ (۲۱)، ۳۶-۱۹. <https://doi.org/10.22092/idser.2020.128102.1409>
- بهراملو، رضا (۱۳۹۰). ارزیابی تلفات نشت در کانال‌های آبیاری با پوشش سنگی در مناطق سردسیر و تاثیر آن بر ذخایر منابع آب (مطالعه موردی در استان همدان). *پژوهش آب/ایران*، ۵ (۲)، ۱۴۱-۱۵۰.
- بهراملو، رضا، عباسی، نادر، مامن‌پوش، علیرضا، اخوان، کرامت، ریاحی، حمید (۱۳۹۶). ارزیابی راندمان انتقال و تلفات آب در کانال‌های انتقال آب با پوشش ژئوممبران HDPE در شبکه‌های آبیاری زاینده‌رود، مغان و کرمان. *تحقیقات آب و خاک/ایران*، ۴۸ (۴)، ۷۳۵-۷۲۵. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2017.215576.667536>
- جاعل، آرش، فتحی‌مقدم، منوچهر، بینا، محمود، قمشی، مهدی (۱۳۸۹). اندازه‌گیری نیروی برشی در کانال دوزنقه‌ای صاف. *همایش علمی چالش آب در استان قم، قم*.
- حسینی، محمود، ابریشمی، جلیل (۱۴۰۳). هیدرولیک کانال‌های باز. چاپ سی و سوم. مشهد: انتشارات دانشگاه امام رضا.
- راهنمای تعیین ضریب زبری هیدرولیکی رودخانه‌ها. ضابطه شماره ۶۸. ۱۳۹۴. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.
- فتحی‌مقدم، منوچهر، لشکرآرا، بابک، جاعل، آرش (۱۳۹۵). تعیین آزمایشگاهی تنش برشی متوسط در کانال‌های مستطیلی و دوزنقه‌ای صاف به روش مستقیم. *فصلنامه علوم و مهندسی آبیاری*، ۳۹ (۴)، ۳۵-۴۶. <https://doi.org/10.22055/jise.2016.12494>
- قربانی، فرهاد، روشنفکر، علی، فتحی‌مقدم، منوچهر، توکلی‌زاده، احمد علی (۱۳۸۵). ارزیابی پوشش‌های بتنی و ژئوسنتتیک (ژئوممبران) در کانال‌ها. *اولین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، اهواز، ایران*.
- ماندگاری کهن، مجتبی، ذاکری‌نیا مهدی، دهقان، حسین (۱۴۰۲). مقایسه بهره‌وری و راندمان مصرف آب آبیاری در اراضی با شبکه آبیاری سنتی تحت مدیریت میراب و اراضی یکپارچه و نوسازی شده. *رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط‌زیست*، ۲ (۲)، ۱۸۴-۲۰۲. <https://doi.org/10.22034/nawee.2024.431235.1058>
- مومن‌زاده، محسن، شاهرخنیا، محمد علی (۱۳۹۷). تاثیر پوشش کانال بر میزان نشت آب در کانال‌های آبیاری دشت کازرون با دو روش اندازه‌گیری مستقیم. *نشریه مدیریت آب در کشاورزی*، ۵ (۲)، ۴۳-۵۲. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24764531.1397.5.2.6.1>
- ناصری، ابوالفضل (۱۳۹۵). تحلیل آماری ضریب زبری مانینگ در کانال‌های خاکی بدون پوشش گیاهی در شبکه آبیاری و زهکشی مغان. *آب و خاک*، ۳۶ (۶)، ۱۸۰۸-۱۸۱۹. <https://doi.org/10.22067/jsw.v30i6.41146>
- ناصری، ابوالفضل (۱۳۹۸). ضریب زبری مانینگ در کانال‌های آبیاری و زهکشی با پوشش گیاهی پنجه مرغی (Cynodon dactylon). *مدیریت آب در کشاورزی*، ۶ (۱)، ۱۰۵-۱۱۲.

- Abdrzakov, F., Rukavishnikov, A., Miheeva, O., Logashov, D., Churkina, C., Yarmashevich, M., 2020. Construction and repair of irrigation canals based on converged technologies. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 883, 012209. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/883/1/012209>
- Akhavan, K., Kheiry Goje-biglo, M., Mardpour, M., Kalateh, F., 2024. Field evaluating the efficacy of geomembrane covers in mitigating water leakage in Moghan irrigation network channels. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 25 (94), 69-82. <https://doi.org/10.22092/idser.2024.366199.1582> (In Persian)
- Alchesti, V.L.F., Benigno, T.A.P., Ruben, M.G., 2023. Application of concrete blanket to optimize channel construction processes. 21st LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology, Buenos Aires, Argentina.
- Bagherimiyab, F., Lemmin, U., 2013. Shear velocity estimates in rough-bed open-channel flow. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38 (15), 1714-1724. <https://doi.org/10.1002/esp.3421>

- Baharanloo, R., 2011. Evaluation of seepage losses in stone-covered irrigation canals in cold regions and its impact on water resource reserves (Case study in Hamadan Province). *Iranian Water Research Journal*, 5 (2), 141-150. (In Persian)
- Bahramloo, R., Abbasi, N., Mamanposh, A., Akhavan, K., Riahi, H., 2017. Evaluation of conveyance efficiency and water seepage loss in irrigation canals with HDPE geomembrane lining in plains of Zaiandeh-rood, Moghan and Kerman. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48 (4), 725-735. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2017.215576.667536> (In Persian)
- Bakhtiari, M., Heidari, M., Zahiri, J., 2024. Improving the mechanical properties of the soil of Azadegan plain transmission channels based on soil mineralogy. *Journal of New Approaches in Water Engineering and Environment*, 2 (2), 113-122. <https://doi.org/10.22034/nawee.2023.425617.1056> (In Persian)
- Barkhordari, S., Hashemy-Shahdany, S.M., 2022. A systematic approach for estimating water losses in irrigation canals. *Water Science and Engineering*, 15 (2), 161-169. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2022.02.004>
- Barkhordari, S., Hashemy-Shahdany, S.M., 2020. Analysis and determine of seepage rate in irrigation earthen canal using numerical model (Case study: main canal of Moghan Plain irrigation network). *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 21 (80), 19-36. <https://doi.org/10.22092/idser.2020.128102.1409> (In Persian)
- Bockelmann-Evans, B., Mhashhash, A., Pan, S., 2018. A new settling velocity equation for cohesive sediment based on experimental analysis. *Journal of Ecohydraulics*, 3 (2), 134-145. <https://doi.org/10.1080/24705357.2018.1457987>
- Byers, J.G., 1980. Treatment of expansive clay canal lining. In Proceedings of the Symposium on Design, Construction, and Rehabilitation of Hydraulic Structures (pp. 401-420). American Society of Civil Engineers
- Chow, V.T., 1959. Open-channel hydraulics. New York: McGraw-Hill.
- Eslami, A., 2016. Water Measurement Instrument for Surface Irrigation Methods. Technical Publication No. 44. Ministry of Agriculture, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. (In Persian)
- Fathi-Moghadam, M., Lashkarara, B., Jael, A., 2016. Laboratory determination of average shear stress in smooth rectangular and trapezoidal open channels by direct method. *Irrigation Sciences and Engineering*, 39 (4), 35-46. <https://doi.org/10.22055/jise.2016.12494> (In Persian)
- Ghorbani, F., Roshanfekr, A., Fathimoghaddam, M., Tavakolizadeh, A.A., 2006. Evaluation of concrete and geosynthetic (geomembrane) linings in canals. The First National Conference on Irrigation and Drainage Networks Management, Ahwaz, Iran. (In Persian)
- Ghotane, Y., Deshmukh, S., Dhage, R., Singh, S., Kohale, A., 2020. Analysis of canvas concrete for canal lining over conventional techniques. *Bulletin Monumental*, 21 (5), 69-76. <https://doi.org/10.37896/BMJ21.01/2509>
- Guidelines for Determining the Hydraulic Roughness Coefficient of Rivers. Regulation No. 68. 2015. Iranian Management and Planning Organization.
- Hajjalilue-Bonab, M., Sarand, F.B., Farrin, M., 2012. Numerical Study of Canal Lining Behavior in Expansive Soil. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Hosseini, M., Ebrishami, J., 2024. Open Channel Hydraulics. 33rd Edition. Imam Reza University Press. (In Persian)
- Jael, A., Fathi-Moghaddam, M., Bina, M., Qomshi, M., 2010. Measurement of shear force in smooth trapezoidal channels. Scientific Conference on Water Challenges in Qom Province, Qom. (In Persian)
- Jun., Zh., Wei, X., Xingzhong, W., Peiwei, G., Zhihua, Y., Lihai, S., Jiang, W., 2020. Application and research status of concrete canvas and its application prospect in emergency engineering. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 15 (1), 1-11. <https://doi.org/10.1177/1558925020975759>
- Khadka, D.B., 2018. Experimental study of hydraulic parameters and shear stress in rectangular open-channel flume. *International Journal of Science and Research*, 8 (11), 857-864. <https://dx.doi.org/10.21275/ART20202751>
- Lund, A.A.R., Gates, T.K., Scalia IV, J., 2023. Characterization and control of irrigation canal seepage losses: A review and perspective focused on field data. *Agricultural Water Management*, 289, 108516. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108516>
- Mandegari Kohan, M., Zakerinia, M., Dehghan, H., 2024. Comparison of productivity and efficiency of irrigation water consumption in lands with traditional network under Mirab management and integrated and renovated lands. *Journal of New Approaches in Water Engineering and Environment*, 2 (2), 184-202. <https://doi.org/10.22034/nawee.2024.431235.1058> (In Persian)
- Momenzadeh, M., Shahrokhnia M.A., 2019. Influence of canal lining on water seepage in Kazerun irrigation canals using two direct measurement methods. *Water Management in Agriculture*, 5 (2), 43-52. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24764531.1397.5.2.6.1> (In Persian)

- Morgado, F., Lopes, G.J., de Brito, J., Feiteira, J., 2012. Portuguese Irrigation Canals: Lining Solutions, Anomalies, and Rehabilitation. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 26 (4), 507-515. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000230](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000230)
- Nasseri, A., 2017. Statistical analysis of manning's roughness coefficients in non-vegetated canals for irrigation and drainage network of Moghan. *Water and Soil*, 30 (6), 1808-1819. <https://doi.org/10.22067/jsw.v30i6.41146> (In Persian)
- Nasseri, A., 2019. Roughness coefficients in vegetated canals by *Cynodon dactyl*. *Water Management in Agriculture*, 6 (1), 105-112.
- Nayak, S., Sahoo, B.C., Mohapatra, P.K., and Pattanaik, G.P., 1996. Profit potential of lining watercourses in coastal commands of Orissa. *Environment and Ecology*, 14 (2), 343-345.
- Nofziger, D.L., Rice, C.E., Mishu, S., 1979. The influence of canal seepage on groundwater in Lugert Lake Irrigation Area (Technical report). Oklahoma Water Resources Research Institute, Oklahoma State University.
- Sarkar, S.S., Majumder, R., 1995. Geosynthetic reinforced canal systems and irrigation structures, Proceedings Water Energy, International R&D Conference, New Delhi, India.
- Soong, T.Y., Koerner, R.M., 1999. Behavior of waves in high density polyethylene geomembranes: a laboratory study. *Geotextiles and Geomembranes*, 17 (2), 81-104. [https://doi.org/10.1016/S0266-1144\(98\)00023-5](https://doi.org/10.1016/S0266-1144(98)00023-5)
- Swamee, P.K., Chahar, B.R., 2015. Minimum Water Loss Canal Section. Springer, New Delhi.
- Take, W.A., Chappel, M.J., Brachman, R.W.I., Rowe, R.K., 2007. Quantifying geomembrane wrinkles using aerial photography and digital image processing. *Geosynthetics International*, 14 (4), 219-227. <https://doi.org/10.1680/gein.2007.14.4.219>
- Thilahun, Y.G., 2019. Mechanical properties of 3-d spacer fabric reinforced concrete canvas and its application area. *Global Scientific Journals*, 7 (11), 252-285.
- United States Bureau of Reclamation (USBR)., 1963. Linings for Irrigation Canals: Including a Progress Report on the Lower Cost Canal Lining Program (1st ed.). U.S. Government Printing Office.