



Assessment of the Impacts of Soak Pits on the Physical Sustainability of Yazd's Historic Fabric and Qanats: An Indigenous Approach to Water and Wastewater Management

Nader Jadidi¹,

1. MSc Graduate in Architecture, Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, Yazd University, Yazd, Iran.

✉Corresponding Author: nader315j@gmail.com

Submit Date
30 August 2025

Revise Date
07 May 2026

Accept Date
02 June 2026

Keywords:

*Urban aquifers;
Environmental monitoring;
Wastewater management;
Historic fabric of Yazd;
Cultural heritage
conservation.*

Extended abstract

Introduction

The historic city of Yazd, recognised for its unique earthen architecture and intricate Qanat systems, represents a masterpiece of human adaptation to harsh desert environments. For centuries, the symbiotic relationship between architectural typologies, urban morphology, and traditional water management systems guaranteed the structural and environmental sustainability of this historic fabric. However, rapid urban development, alongside recent radical shifts in water consumption patterns and wastewater disposal methods, has severely disrupted this historical equilibrium. The widespread introduction of modern plumbing without adequate concurrent sewage networks has led to an over-reliance on local soak pits (absorption wells). The continuous and concentrated discharge of effluent into the subsoil creates critical threats to the structural stability of adobe and masonry buildings, as well as the underlying historical Qanat networks. Objective: Consequently, the primary objective of this research is to comprehensively investigate the destructive impacts of soak pits on traditional earthen structures and groundwater resources in Yazd. Furthermore, the study aims to formulate effective, indigenous-based strategies for the physical conservation, mitigation of structural degradation, and long-term durability of this invaluable architectural heritage.

Cite this article: Jadidi, N. (2027). Assessment of the impacts of soak pits on the physical sustainability of Yazd's historic fabric and Qanats: an indigenous approach to water and wastewater management. *Journal of Aquifer and Qanat*, 7 (2), 1-22. <https://doi.org/10.22077/jaaq.2026.9999.1122>.



Copyright: © 2027 by the authors. Licensed by the Journal of Aquifer and Qanat. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Materials and Methods

To achieve the research objectives, a descriptive-analytical methodology was adopted, deeply rooted in the context of architectural conservation and heritage management. The research framework combines qualitative analysis with empirical site assessments. Initially, comprehensive library studies and historical document analyses were conducted to trace the evolution of water management and its structural implications in Yazd. Subsequently, systematic field observations were carried out across vulnerable zones within the historic fabric to document physical anomalies, such as rising damp, structural cracking, and foundation settlement linked to subsoil saturation.

To complement the physical survey, semi-structured interviews were conducted with local conservation experts, master builders (Me'mars), and traditional Qanat practitioners (Moqannis). This qualitative data was pivotal in understanding the indigenous knowledge regarding soil behavior, historical drainage techniques, and the historical threshold of environmental resilience. The gathered data was then triangulated to analyze the cause-and-effect relationship between wastewater infiltration and architectural degradation.

Results and Discussion

The findings clearly indicate that the transition from traditional, low-volume water use to modern, high-volume consumption has drastically increased the hydraulic load on the historic subsoil. The concentrated discharge of wastewater into soak pits, coupled with reduced overall soil permeability due to widespread asphalt paving and dense urban development, has severely altered the hydrological balance.

From an architectural and structural perspective, this subsoil saturation intensifies several modes of deterioration. The primary consequence is the manifestation of severe rising damp (capillary action) within adobe walls, which introduces soluble salts into the structural matrix. The subsequent cycles of salt crystallization and hydration lead to the spalling of renders, loss of material cohesion, and ultimate structural weakening of load-bearing earthen walls. Furthermore, the localized saturation of the loess and silty soils beneath building foundations drastically reduces their load-bearing capacity, resulting in differential foundation settlement and hazardous structural cracking.

Simultaneously, the research highlights severe impacts on the Qanat infrastructure. The continuous seepage of wastewater destabilizes the Qanat galleries, leading to localized collapses and the severe degradation of groundwater quality. The study also identifies that the lack of an integrated and cohesive water and wastewater data management system among municipal and heritage authorities has severely limited the implementation of effective damage-mitigation planning and preventive conservation strategies.

Conclusion

The physical sustainability of Yazd's historic fabric is inextricably linked to the management of its subsoil hydrology. The study concludes that an over-reliance on standard modern soak pits is fundamentally incompatible with the conservation of adobe architecture and historic Qanats. To mitigate these pressing threats, a series of targeted, context-sensitive interventions are proposed. First, strict regulations must be implemented regarding the location, capacity, and depth of soak pits in relation to historic foundations and Qanat routes. Second, the revitalization and integration of traditional architectural solutions, such as the use of ventilation drainage channels (Nâkash), are recommended to passively manage subsoil moisture and prevent capillary rise. Finally, the establishment of a continuous, multi-disciplinary monitoring system—tracking subsoil moisture levels, structural movement, and aquifer quality—is essential. By implementing these integrated conservation strategies, it is possible to strengthen the structural and environmental resilience of the historic fabric, safeguard the quality of the aquifer, and ensure the holistic sustainability of Yazd's unique architectural and hydrological heritage.



ارزیابی نقش چاه‌های جذبی در پایداری کالبدی بافت تاریخی یزد و پایداری قنات: رویکرد بومی به مدیریت آب و فاضلاب

نادر جدیدی^۱ ✉

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد معماری، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

✉ نویسنده مسئول: nader315j@gmail.com

چکیده

تحولات اخیر در شیوه‌های مصرف آب و دفع فاضلاب، تهدیدهای جدی برای پایداری ابنیه خشتی و شبکه قنات در بافت تاریخی یزد ایجاد کرده است. این پژوهش با هدف واکاوی اثرات چاه‌های جذبی بر سازه‌های سنتی و منابع آبی زیرزمینی و تدوین راهکارهای مؤثر برای حفاظت کالبدی و دوام این میراث ارزشمند انجام شد. روش تحقیق بر پایه رویکرد توصیفی - تحلیلی و با بهره‌گیری از مطالعات کتابخانه‌ای، بررسی اسناد تاریخی، مشاهدات میدانی و مصاحبه با کارشناسان محلی طراحی گردید. یافته‌ها نشان می‌دهد که افزایش مصرف آب، تمرکز فاضلاب در چاه‌های جذبی و کاهش نفوذپذیری خاک پس از توسعه شهری، منجر به تشدید آسیب‌های کالبدی مانند افزایش رطوبت، نشست پی‌ها، تخریب قنات و افت کیفیت آب زیرزمینی شده است. علاوه بر این، نارسایی در نظام مدیریت داده‌های آب و فاضلاب، فرایند برنامه‌ریزی برای کنترل آسیب‌ها را محدود ساخته است. بر اساس نتایج، مداخلات پیشنهادی - شامل ساماندهی عمق و مکان چاه‌ها، بهره‌گیری از کانال‌های ناکش و ارتقای نظام پایش - با تکیه بر ظرفیت‌های بومی و استانداردهای حفاظت میراث، می‌تواند نه تنها تاب‌آوری سازه‌ای و زیست‌محیطی بافت تاریخی را تقویت کند، بلکه نقش مؤثری در حفظ کیفیت آبخوان‌ها و پایداری منابع آبی شهر ایفا نماید.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۰۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۲/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۱۱

کلیدواژه‌ها:

آبخوان شهری؛ پایش محیطی؛ مدیریت فاضلاب؛ بافت تاریخی یزد؛ حفاظت میراث فرهنگی.

مقدمه

تحولات گسترده در الگوهای مصرف آب و شیوه‌های دفع فاضلاب در دهه‌های اخیر، چالش‌هایی نوظهور را در بافت تاریخی شهر یزد ایجاد کرده است؛ تا جایی که بهره‌گیری مستمر از چاه‌های جذبی که روزگاری ساختاری هماهنگ با معماری سنتی و اقلیم خشک این شهر داشت، اکنون خود به منشأ آسیب‌های جدی کالبدی و محیطی بدل شده است. افزایش حجم فاضلاب و تغییر شاخص‌های مصرف در زندگی معاصر، کارایی چاه‌های جذبی را به شدت کاهش داده؛ به گونه‌ای که هم‌زمان بانفوذ بیشتر رطوبت به پی‌ها و دیوارهای ابنیه تاریخی، نشانه‌هایی از نشست زمین، تخریب تدریجی قنات و تهدید کیفیت آبخوان‌ها در بخش‌های مرکزی شهر قابل مشاهده است.

در سال‌های اخیر، با افزایش نگرش حفاظتی نسبت به میراث معماری یزد، مداخلات متعددی برای بهبود مدیریت آب و فاضلاب شهری صورت گرفته اما هنوز ابعاد و پیامدهای ناشی از تداوم سیستم‌های سنتی دفع فاضلاب در فضاهای تاریخی، به طور جامع و روشمند ارزیابی نشده است.

ضرورت این پژوهش در آن است که ادامه روند فعلی، می‌تواند پایداری سازه‌ای ابنیه و عملکرد شبکه قنات را به خطر انداخته و میراث تاریخی شهر را با آسیبی جبران‌ناپذیر مواجه کند؛ بنابراین شناسایی ریشه‌های فنی و مدیریتی این معضل و ارائه راهکارهایی مبتنی بر ظرفیت‌ها و تجارب بومی، شرط لازم برای حفاظت مؤثر و پایدار این بافت ارزشمند محسوب می‌شود. این پژوهش با محوریت آسیب‌شناسی اثرات چاه‌های جذبی بر قنات و ابنیه تاریخی در قلب شهر یزد، به دنبال پاسخ به این پرسش‌های اساسی است:

استفاده مداوم از چاه‌های جذبی چه پیامدهایی برای پایداری سازه‌ای ابنیه و سیستم قنات بافت تاریخی یزد ایجاد کرده است؟

چه سازوکارهایی موجب تشدید آسیب به بافت معماری و عملکرد قنات‌ها در اثر تغییرات سبک زندگی و افزایش حجم فاضلاب شده‌اند؟

چه راهکارها و مداخلاتی می‌تواند ضمن حفظ هویت معماری و فرهنگی شهر، به بهبود مدیریت فاضلاب و کاهش آسیب به میراث تاریخی منجر شود؟

این پژوهش با به‌کارگیری رویکردی نوآورانه در تحلیل تعاملی بین عوامل محیطی، سازه‌ای و فرهنگی، امکان ارائه راهکارهای مشارکتی و پایدار برای احیای این میراث ارزشمند را فراهم می‌سازد.

پیشینه پژوهش

بافت‌های تاریخی شهری، به‌عنوان گنجینه‌های ارزشمند میراث فرهنگی و هویتی، با چالش‌های متعددی در مسیر پایداری و بقای خود مواجه هستند. یکی از معضلات پنهان اما بسیار تأثیرگذار در این بافت‌ها، سیستم‌های دفع فاضلاب، به‌ویژه استفاده گسترده از چاه‌های جذبی، است که می‌تواند پیامدهای مخربی بر پایداری ابنیه تاریخی و کیفیت منابع آب زیرزمینی، از جمله قنات، داشته باشد. شهر یزد، با بافت تاریخی منحصربه‌فرد خشتی و سیستم کهن قنات، نمونه بارزی از این چالش است. این پیشینه پژوهشی به بررسی مطالعات انجام شده در زمینه تأثیرات سیستم‌های دفع فاضلاب بر محیط‌های تاریخی، آسیب‌شناسی ابنیه و قنات، و راهکارهای مدیریتی پایدار می‌پردازد.

در دهه‌های اخیر، شهرهایی با بافت تاریخی نظیر یزد با چالش‌های جدی ناشی از رشد جمعیت، تغییر سبک زندگی و افزایش مصرف آب مواجه شده‌اند. این عوامل سبب فشار مضاعف بر زیرساخت‌های سنتی تأمین آب به‌ویژه قنات‌ها گردیده است. تحقیقات نشان می‌دهد که توسعه سریع شهری و گسترش کاربری اراضی، کاهش سطح آب زیرزمینی و کاهش رغبت نسل جدید به

زیستی بوده و تأکید دارد که راهبردهای مدیریت فاضلاب و رطوبت باید مبتنی بر شناخت لایه‌های تاریخی، ظرفیت‌های بومی و مشارکت ذی‌نفعان باشد (ICOMOS, 2013). روش‌هایی نظیر حفاظت پیشگیرانه، اجرای زهکش‌های افقی الهام‌گرفته از قنوت، ارتقای نظام‌های محلی تصفیه نیمه‌متمرکز و تعامل با نهادهای محلی در پژوهش‌های اخیر به‌عنوان راهکارهایی برای حفظ یکپارچگی و ثبات بافت تاریخی پیشنهاد شده‌اند (Hosseini Rad, 2020).

باوجود گستردگی مطالعات آسیب‌شناسی و پاتولوژی ابنیه تاریخی و برخی پژوهش‌های موضعی در خصوص رابطه چاه‌های جذبی و منابع آب، همچنان مطالعات میدانی - تفسیری، با تمرکز بر پیوند مؤثر بین نظام پایدار قنوت و نظام دفع فاضلاب نوین در بافت‌های ویژه همچون یزد، بسیار محدود است و نیازمند تحلیل‌های بین‌رشته‌ای مبتنی بر محیط و جامعه محلی است (Denzin & Lincoln, 2018).

در راستای دستیابی به چارچوب تحلیلی دقیق و شناسایی جهت‌دار یافته‌های مرتبط با موضوع پژوهش، استخراج و طبقه‌بندی محورهای اصلی پژوهش‌های پیشین دارای اهمیت بنیادین است. برای آنکه بتوان روندهای غالب، نقاط تمرکز، و خلأهای دانشی را از دل مطالعات موجود بازشناسی نموده و داده‌های جدید را به شکل هدفمند مقایسه و تفسیر کرد، طراحی یک جدول پژوهشی جامع کاملاً ضروری بود. این جدول با ساختاری منسجم، ضمن دسته‌بندی محورهای کلیدی مطالعات گذشته، مهم‌ترین یافته‌ها و منابع هر حوزه را گردآوری می‌کند تا بستر مناسبی برای تحلیل تطبیقی داده‌های میدانی و نظری در ادامه پژوهش فراهم شود (جدول ۱).

نگهداری و مرمت قنات‌ها از جمله عوامل اصلی تهدیدکننده بقای این سازه‌ها است (Adamowski et al., 2023).

از سوی دیگر، در سالیان اخیر ورود فاضلاب به منابع آب زیرزمینی از طریق سیستم‌های جذب‌کننده همچون چاه‌های جذبی، علاوه بر تهدید سلامت آب قنات‌ها، موجب آلودگی و کاهش کیفیت آب در شهرهایی چون یزد شده است (Eslami et al., 2021). این تغییرات نه تنها پایداری سیستم‌های سنتی آب‌رسانی را مختل کرده، بلکه منجر به افزایش آسیب‌پذیری بوم‌سازگان شهری در برابر کم‌آبی و بحران‌های زیست‌محیطی گردیده است (Hosseini et al., 2010).

پژوهش‌های متعدد نشان داده‌اند که نفوذ رطوبت ناشی از تجمع فاضلاب و روان آب‌ها در خاک‌های مناطق مرکزی ایران، یکی از اصلی‌ترین عوامل فرسودگی و تخریب ابنیه خشتی و آجری است (Naziri Bagha & Bayat, 2018). شواهد میدانی در یزد بیانگر تأثیرپذیری شدید پی‌ها، دیوارها و تزئینات داخلی در اثر صعود رطوبت و نم‌زدگی است؛ پدیده‌ای که با گسترش بی‌رویه چاه‌های جذبی و کاهش نفوذپذیری سطح خاک (بر اثر سنگ‌فرش معابر و توسعه شهری) تشدید شده است (Jalili et al., 2018).

تداوم دفع فاضلاب از طریق چاه‌های جذبی در مجاورت یا بالادست قنوت، نه تنها موجب آلودگی گسترده منابع آب و کاهش کیفیت آب شرب شهروندان می‌شود، بلکه کارکرد طبیعی شبکه قنوت - به‌عنوان سامانه کنترل رطوبت و زهکشی سنتی - را مختل می‌کند (Rodgers & van Oers, 2011). مطالعات تطبیقی نیز بر اهمیت پیوستگی مدیریت منابع آب، کاربری اراضی و حفاظت میراث غیرقابل‌جایگزین در بافت‌های ثبت‌شده جهانی؛ مانند یزد تأکید دارند (Yazdani & Bagheri, 2018).

ادبیات جهانی حفاظت معماری و بافت بیانگر پیوند ناگسستنی بین پایداری کالبدی، اجتماعی و محیط

جدول ۱. دسته‌بندی پژوهش‌های پیشین بر اساس محورهای کلیدی
 Table 1. Classification of previous studies based on key themes

محور کلیدی Key themes	شرح و یافته‌های مربوط Description and relevant findings	منابع References
آسیب‌شناسی سازه‌ای و محیطی Structural and Environmental Pathology	نفوذ رطوبت ناشی از چاه جذبی عامل اصلی فرونشست، تخریب پی بنا، کپک‌زدگی، فرسایش تزیینات گچی و نم‌زدگی در بناهای خشتی و آجری است. افزایش جمعیت و تغییر کاربری سبب افزایش چشمگیر فاضلاب شده و بستر خاک اشباع شده است. "Moisture ingress from soak pits is the primary driver of subsidence, foundation deterioration, dampness, fungal growth, and the decay of stucco ornaments in adobe and brick structures. Population growth and adaptive reuse have markedly increased wastewater discharge, resulting in subsoil saturation."	Hosseini et al., 2010 Jalili et al., 2018
آلودگی و تهدید قنات Qanat Contamination and Threats	چاه‌های جذبی آلودگی شیمیایی و زیستی را به آبخوان‌ها و قنات می‌رسانند؛ کاهش کیفیت آب شرب و کشاورزی، تهدید عملکرد هیدرولوژیکی قنات و ایجاد خطر بهداشتی شهروندان مشهود است. Soak pits discharge chemical and biological contaminants into underlying aquifers and qanats, leading to the degradation of potable and agricultural water quality, compromising the hydrological functionality of qanat networks, and posing substantial public health hazards.	Hosseini & Khaghani, 2009 Issazadeh & Bahlouli, 2012 Roders & van Oers, 2011
اثرات اقتصادی - اجتماعی توریسم و معیشت Socio-Economic Impacts: Tourism and Livelihoods	تخریب بافت و بوی بد ناشی از رطوبت فاضلاب سبب کاهش جاذبه گردشگری تاریخی، افت سرمایه‌گذاری و کاهش کیفیت زندگی ساکنان شده است. بازار مشاغل وابسته به توریسم و میراث در معرض تهدید قرار دارد. Physical degradation of the urban fabric and malodors stemming from wastewater moisture undermine historical tourism appeal, discourage capital investment, and diminish residents' quality of life, posing a severe threat to heritage- and tourism-dependent local livelihoods.	Kalantari Khalil Abad & Pourahmad, 2005 Montazeri & Barati, 2014
مصرف آب و تغییر الگوی زندگی Water Consumption and Lifestyle Shifts	توسعه حمام و آشپزخانه‌های مدرن، شست‌وشوی خودروی خانگی، و تغییر کاربری مسکونی به هتل یا رستوران‌ها مصرف آب و پساب را چندبرابر افزایش داده است. The proliferation of modern sanitary facilities and kitchens, domestic vehicle washing, and the adaptive reuse of residential structures into hotels and restaurants have substantially multiplied water consumption and resultant wastewater discharge.	Hajizadeh Meymandi & Yousefi, 2013 Sharafoddin, 2015 Sharifnejad, Nasarian, Beizae, & Shakiba, 2016
نقد الگوهای مدیریتی و فقدان نظام پایدار Critique of Management Paradigms and the Absence of a Sustainable Framework	محدودیت اجرای سیستم فاضلاب شهری به دلیل بافت باریک و میراثی، تمرکز شهرداری بر رویکردهای کوتاه‌مدت و نبود الگوی جامع مدیریت یکپارچه آب و میراث دیده می‌شود. Constraints on implementing a municipal wastewater network due to the narrow passageways of the historic heritage fabric, coupled with municipal reliance on short-term interventions and the absence of a comprehensive integrated water and heritage management framework.	Sarai & Alian, 2015 Fotouhi Firoozabad et al., 2019

Global and National Strategies and Paradigms	در الگوهای بین‌المللی حفاظت میراث مانند منشور بورا: حفاظت پیشگیرانه، زهکش افقی، سپتیک نیمه‌متمرکز و مشارکت جامعه محلی مورد تأکید است. تجربه موفق استفاده هم‌زمان شبکه فاضلاب و احیای قنات ارائه شده است. International heritage conservation frameworks (e.g., the Burra Charter) emphasize preventive conservation, horizontal drainage, decentralized/semi-centralized septic systems, and local community engagement; successful experiences demonstrate the synergistic integration of wastewater networks with qanat revitalization.	Jokilehto, 2017 ICOMOS, 2013 Rodgers & van Oers, 2011 Hosseini Rad, 2020
Scarcity of Local Empirical and Interpretive Research	مطالعات جامع میدانی از منظر آسیب‌شناسی کارکردی چاه جذبی و رابطه آن بادوام قنات/بافت تاریخی یزد بسیار کم است؛ اغلب پژوهش‌ها یا نظری - کتابخانه‌ای یا صرفاً فنی‌اند. A critical shortage of comprehensive empirical investigations concerning the functional pathology of soak pits and their direct correlation with the structural durability of Yazd's historic fabric and qanats; extant literature remains largely theoretical/desk-based or exclusively technical.	Jalili et al., 2018 Farhadi, 2017

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر، با ماهیت کیفی و رویکرد میدانی، باهدف تحلیل اثرات چاه‌های جذبی بر سامانه قنات و بافت تاریخی یزد و ارائه راهکارهای مداخله بومی محور، در چهار مرحله مطابق با استانداردهای معماری و مرمت ابنیه تاریخی انجام شده است (شکل ۱).

• مطالعات کتابخانه‌ای و اسنادی

در نخستین گام، با مرور نظام‌مند اسناد، منابع مکتوب، مقالات تخصصی و مستندات تاریخی شهر یزد، فرایندهای تحول کالبدی و فضایی، تغییرات در شیوه زیست و الگوهای مصرف آب، و تجارب مداخلات مرمتی و مدیریتی در بافت تاریخی بازخوانی شد. این مرحله باهدف مفهوم‌پردازی اولیه و دسته‌بندی متغیرهای کلیدی شامل پیامدهای مدرنیسم، دگرگونی‌های مصرف آب و چالش‌های مدیریت فاضلاب در بستر کالبدی و فرهنگی شکل گرفت.

• گردآوری داده‌های میدانی (مشاهده، مصاحبه و

ثبت تجربیات زیسته)

در مرحله دوم، با رویکرد میدانی، داده‌های انسانی و کالبدی از بافت تاریخی یزد از طریق مشاهده مستقیم،

بازدید از ابنیه آسیب‌دیده، ثبت نشانه‌های رطوبتی، عکس‌برداری سازه‌ای و انجام دو مصاحبه عمیق با متخصصان؛ دکتر مسعود زینی، استادیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه یزد (به دلیل عضویت در کانون تفکر آب و تجربه اجرای پروژه‌های فاضلاب شهری) و دکتر نریمان فرحزاد، استادیار دانشکده هنر و معماری دانشگاه یزد و مدیر گروه پژوهشی معماری گلین (با تجربه تدریس دروس مرتبط با میراث فرهنگی و مرمت ابنیه تاریخی)، گردآوری شد. هدف اصلی، تحلیل رابطه آسیب‌های کالبدی با سازوکار سنتی دفع فاضلاب بر پایه رویکرد تفسیری و تجربیات تخصصی بود.

• تحلیل تفسیری و تطبیقی داده‌ها

در مرحله سوم، آسیب‌شناسی نظام‌مند آثار چاه‌های جذبی بر پایداری سازه‌ای ابنیه و عملکرد قنات، از طریق تحلیل داده‌های گردآوری شده و انطباق نتایج میدانی با مبانی نظری انجام شد.

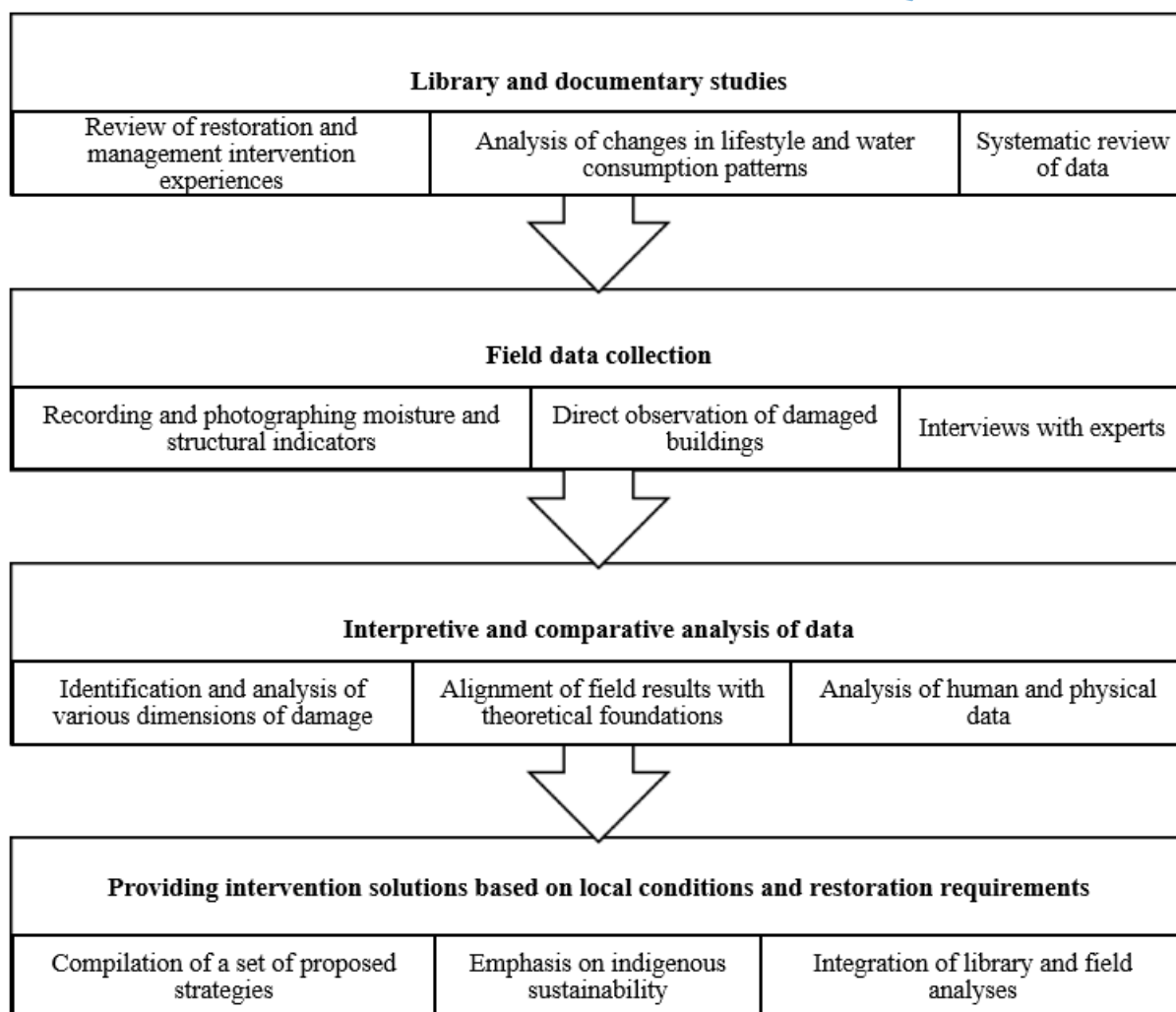
با رویکرد قیاسی، ابعاد مختلف آسیب شامل فرسایش سازه‌ای، افزایش رطوبت و تهدیدات زیست‌محیطی شناسایی گردید و تحلیل‌ها بر اساس شاخص‌های مرمت

تأکید بر بوم‌سپاری، صرفه اقتصادی و هماهنگی با ساختار کالبدی و فرهنگی یزد تدوین گردید. این راهکارها، مبتنی بر تلفیق تحلیل‌های کتابخانه‌ای و میدانی، به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که از یک سو کمترین میزان مداخله مخرب را در بافت موجود ایجاد کرده و از سوی دیگر، امکان اجرای مؤثر در بستر واقعی شهر را فراهم سازند.

ابنیه، پایداری بافت و الزامات حفاظت یکپارچه صورت پذیرفت.

• ارائه راهکارهای مداخله‌ای مبتنی بر شرایط بومی و اقتضائات مرمرتی

در گام نهایی، مجموعه‌ای از راهبردهای پیشنهادی باهدف ارتقای تاب‌آوری ابنیه تاریخی و بهبود مدیریت فاضلاب، با



شکل ۱. فلوجارت پژوهشی مسیر تحلیلی برای بررسی اثرات چاه‌های جذبی بر قنات و بافت تاریخی یزد.

Table 2. Research Flowchart: Analytical Path to Investigate the Impact of Qanat Wells on the Canal System and Historical Fabric of Yazd.

تأمین مسیر مناسب تأسیسات شهری، همراه با تولید صنعتی و پیش‌ساخته سازی اجزایی چون خطوط لوله و آسفالت، موجب تغییر روش و سرعت ساخت زیرساخت‌ها و نفوذ خدمات نوین به بافت‌های مسکونی شد. این جریان

بیان مسئله

گسترش انقلاب صنعتی و مدرنیسم با دگرگون ساختن نیازها، انتظارات و نگرش انسان به محیط، تحولات شتابانی را بر کالبد و ساختار شهرها تحمیل کرد. این روند با تعریض معابر، ایجاد خیابان‌های جدید برای عبور خودرو و

جدید یا تخریب ابنیه تاریخی بود. باین‌حال، باریکی گذرها و ماهیت سازه‌ای مبتنی بر پیوستگی اجزا و انتقال نیرو میان بناهای مجاور، موجب می‌شد هرگونه تخریب جزئی، به بروز اختلال گسترده و حتی نایمینی در ابنیه پیرامونی منجر گردد (شکل ۲).

جهانی در نهایت به بافت تاریخی یزد راه یافت و زمینه‌ساز دگرگونی آن گردید. در این بستر، ضرورت تعریض معابر برای عبور خودرو و انتقال زیرساخت‌ها، به‌ویژه در بافت متراکم یزد، چالش‌های جدی برای ساکنان و ساختار بومی ایجاد کرد. گزینه‌های پیش روی ساکنان عمدتاً مهاجرت به نواحی



شکل ۲. باریکی معابر و پیوستگی سازه‌ای بناهای بافت تاریخی یزد.

Fig 2. Narrow alleys and structural continuity in Yazd's historic fabric.

بود. این ویژگی از یک‌سو مانعی بر سر راه تخریب گسترده و نابودی هویت معماری شهری یزد شد و از سوی دیگر، ضرورت بازنگری انتقادی و اتخاذ راهبردهای نوین مدیریت تغییر، حفاظت و سازگاری با نیازهای زندگی معاصر را بیش‌ازپیش نمایان ساخت (شکل ۳).

در نتیجه، بخشی از مردم متمکن، به‌ناچار مهاجرت به بخش‌های جدید شهر را برگزیدند. اگرچه این مهاجرت موجب خالی‌شدن و آسیب‌پذیری برخی ابنیه تاریخی شد، اما ماهیت به‌هم‌تنیده کالبدی و ساختاری بافت سنتی یزد و پیوستگی سازه‌ای ابنیه، عاملی برای تداوم نسبی حیات و مراقبت جمعی از بناهای تاریخی توسط ساکنان باقی‌مانده



شکل ۳. درهم‌تنیدگی بافت تاریخی و انتقال نیروی رانشی تاق‌ها به وسیله ساباط‌ها.

Fig 3. Interconnection of the historical fabric and transfer of arch thrust through sabats.

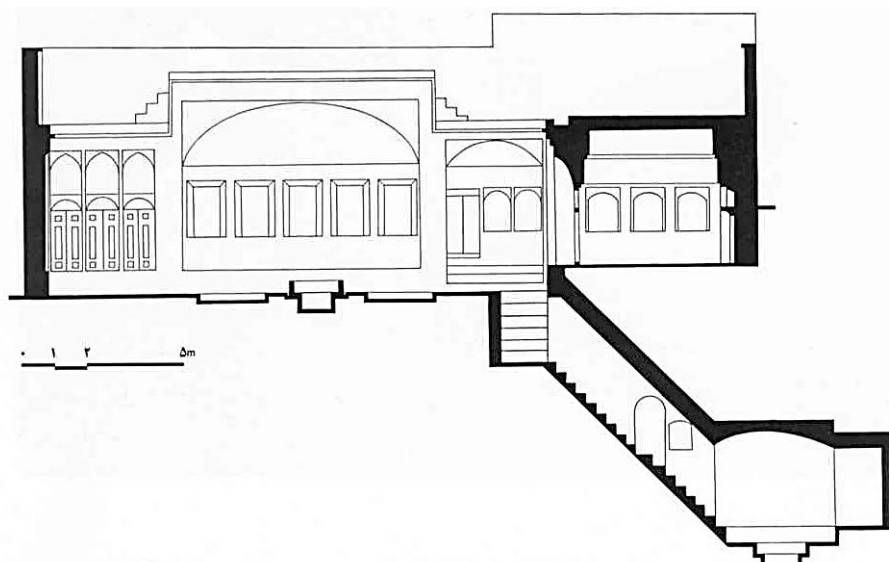
می‌خریدند، ۲ تا ۵ تومان پول می‌دادند تا صاحب خانه اجازه دهد توالی را خالی کنند (Papoli Yazdi, 2005). تحلیل خاطرات زیسته ساکنان و بررسی کالبدی ابنیه سنتی بافت تاریخی یزد نشان می‌دهد که باتوجه‌به شکل (۴)، محدودیت دسترسی به منابع آب و ضرورت انتقال آن با کوزه از سردابه‌های دارای پله‌های متعدد، سازوکاری طبیعی برای مدیریت شدید و بهینه مصرف ایجاد می‌کرد. در این چارچوب، بهره‌برداری عمدتاً به شرب و آبیاری محدود چندگونه درخت سازگار با اقلیم خشک مانند انار منحصر بود و این الگوی حداقلی مصرف در گونه‌گزینی گیاهی اندرونی‌ها نیز آشکار بود. در مقابل، سهولت و وفور دسترسی به آب پس از استقرار لوله‌کشی مدرن، الگوهای کاشت را به سمت گونه‌های غیربومی و پرمصرفی چون رز و ارغوان که با شرایط اقلیمی و بوم‌شناختی یزد سازگار نیستند سوق داد. نیاز آبی بالای این گیاهان، همراه با رفتارهای مصرفی تازه‌ای چون شست‌وشوی مکرر

شتاب تحولات فناورانه و نفوذ مدرنیسم در شیوه زیست شهروندان یزد، سبب افزایش کم‌سابقه مصرف آب و تغییر الگوهای استفاده از فضاهای خانگی شد. ورود تجهیزات مدرن به زندگی روزمره، حجم فاضلاب تولیدی را چندین برابر کرده و ظرفیت چاه‌های جذبی - به‌عنوان سازوکار سنتی دفع فاضلاب - را در بافت تاریخی با چالش جدی مواجه ساخت. این تغییرات نه‌تنها بر پایداری سازه‌های ابنیه و سلامت آبخوان‌ها اثر گذاشت، بلکه شکاف محسوسی میان شیوه‌های زیست پیشین و الگوهای نوین ایجاد نمود؛ شکافی که در روایت‌های زیسته ساکنان قدیمی یزد به‌خوبی بازتاب یافته است، از جمله در کتاب شازده حمام چنین آمده است:

توالی از حیاط چند تا پله پایین‌تر بود و آب نداشت. باید آفتابه را از حوض پر می‌کردیم. توالی چاله‌ای بود پهن و گود به عمق ۱/۵ متر. تخلیه چاه توالی خود داستانی بود. عده‌ای شتردار می‌آمدند و توالی را معامله می‌کردند و

با برهم‌زدن چرخه پایدار آب در محلات و ساختمان‌ها، پایداری کالبدی و زیست‌محیطی بافت تاریخی یزد را با تهدید مضاعف روبه‌رو کرد.

میان‌سرا، خودرو و معابر، افزایش محسوس رطوبت و نم‌زدگی لایه‌های سطحی خاک و پی‌های ابنیه را در پی داشت. تداوم این وضعیت، در فقدان برنامه‌های آموزشی و فرهنگ‌سازی مؤثر، به تدریج به رویه‌ای نهادینه بدل شد که



شکل ۴. مقطع خانه لاری‌ها و دشواری دسترسی به سردابه (Haji Qasemi et al., 2004).

Fig 4. Section of the Lari House and the difficulty of access to the cellar (Haji Qasemi et al., 2004).

شکل‌گیری تمدن ایرانی، با پیشینه‌ای بیش از سه هزار سال در معماری و فرهنگ، به دلیل یکپارچگی و ارزش تاریخی خود در فهرست میراث جهانی یونسکو جای داشته و هم‌تراز شهرهایی چون ونیز ایتالیا شناخته می‌شود. وجود بیش از ۵۶۰۰ اثر ثبت‌شده در این شهر، جایگاه جهانی آن را تثبیت کرده و با جذب گردشگران داخلی و خارجی، رشد صنعت گردشگری در سال‌های اخیر را رقم زده است.

رشد گردشگری فرهنگی در شهرهای تاریخی همچون یزد، علاوه بر معرفی جهانی و پاسداشت ارزش‌های معماری و میراثی، محرکی مؤثر برای شکوفایی اقتصادی، ایجاد اشتغال و ارتقای کیفیت زندگی شهری به شمار می‌آید. گسترش فعالیت‌های مرتبط در بافت تاریخی، زمینه‌ساز رونق صنایع وابسته، مرمت بناها و احیای مشاغل بومی شده و با ایجاد پیوند میان حفاظت میراث و توسعه پایدار، نقش بسزایی در پویایی اجتماعی و اقتصادی ایفا می‌کند.

پذیرش تدریجی شاخص‌های رفاه و الگوهای نوین زندگی شهری توسط ساکنان بافت تاریخی، به‌ویژه با دسترسی آسان به آب لوله‌کشی، سبب ایجاد الحاقات کالبدی چون حمام‌های خصوصی در منازل سنتی و جایگزینی الگوی استحمام عمومی گردید. این تغییر با افزایش قابل‌توجه سرانه مصرف آب و دگرگونی عادات زیستی همراه شد، درحالی‌که پیش‌تر ساختار حمام‌های عمومی و محدودیت دسترسی، مصرف را به طور طبیعی کنترل می‌کرد. در این شرایط، فرهنگ‌سازی برای مدیریت بهینه مصرف و ترویج گیاهان بومی سازگار با اقلیم خشک، از راهکارهای کلیدی در کاهش پساب و صیانت از پایداری بافت تاریخی محسوب می‌شود. باوجود اقداماتی محدود مانند انتشار بروشورهای آموزشی توسط پایگاه میراث‌فرهنگی شهر یزد، نبود برنامه‌ریزی فرابخشی و همکاری مؤثر میان دستگاه‌های فرهنگی و آموزشی، دستیابی به نتایج ملموس را مختل کرده است. یزد به‌عنوان یکی از کهن‌ترین مراکز

در مجموع، اثرات اقتصادی و اجتماعی صنعت گردشگری در بافت‌های تاریخی را می‌توان در ابعاد زیر مورد تأمل قرار داد:

افزایش اشتغال‌زایی و درآمدزایی مستقیم و غیرمستقیم از طریق فعال‌سازی صنایع‌دستی، کارگاه‌های بومی، و ارائه خدمات گردشگری.

نقش درآمد‌های مالیاتی حاصل از فعالیت‌های گردشگری در توسعه زیرساخت‌های شهری، بهبود خدمات عمومی و ارتقای امکانات رفاهی جامعه میزبان.

حفاظت و مرمت آثار باستانی و ارتقای جایگاه بناهای تاریخی به‌عنوان منابع درآمدزای پایدار که تداوم حیات فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی شهر را تضمین می‌نماید. توسعه و نوآوری در صنایع‌دستی و احیای هنرها و حرفه‌های محلی از رهگذر رشد تقاضای گردشگری و بازارهای جدید.

بدین ترتیب، یکپارچه‌سازی سیاست‌های حفاظتی با برنامه‌ریزی اقتصادی و بهره‌برداری خردمندانه از ظرفیت‌های میراث معماری و فرهنگی، نقش تعیین‌کننده‌ای در دستیابی به توسعه متوازن و پایدار شهرهای تاریخی ایفا می‌کند (Montazeri & Barati, 2014).

باتوجه به ظرفیت‌های چشمگیر اقتصادی و فرهنگی گردشگری، به‌ویژه در شهرهای تاریخی همچون یزد، ضرورت حفاظت هدفمند از بافت و ابنیه ارزشمند بیش‌ازپیش آشکار است. توسعه پایدار این حوزه مستلزم رویکردی هماهنگ است که تمامی طرح‌های جذب گردشگر و سرمایه‌گذاری را از حیث هم‌سویی با اهداف حفاظتی و مرمتی ارزیابی کند تا توازن میان بهره‌برداری اقتصادی و صیانت بلندمدت از میراث تاریخی حفظ شود. موفقیت این فرایند وابسته به توجه به نیازهای جامعه محلی، بهبود زیرساخت‌ها و احترام به ساختار اجتماعی و اصالت معماری بافت است، چرا که بی‌توجهی به این

ملاحظات می‌تواند موجب نارضایتی و تعارض شود. پیوند میان‌نگرش بومی و پیامدهای اجتماعی گردشگری در منابع و خاطرات معاصر نیز بازتاب یافته است، چنان‌که محمدحسین پاپلی‌یزدی در کتاب «شازده حمام» وضعیت یزد در آغاز این روند را چنین توصیف می‌کند:

روزبه‌روز آدم‌های ثروتمند از کوچه‌پس‌کوچه‌های باریک که ماشین در آنها نمی‌توانست رفت‌وآمد کند مهاجرت می‌کردند و جای آنها را آدم‌های فقیری که از دهات اطراف آمده بودند پر می‌کردند. این کوچه‌ها و پس‌کوچه‌ها و به‌اصطلاح بافت قدیم شهر تحت نظارت میراث‌فرهنگی قرار گرفت. میراث‌فرهنگی نه می‌گذاشت که خیابان درست شود، نه کوچه‌ای پهن شود و یا خانه‌ای بازسازی شود، می‌گفتند خارجی‌ها می‌خواهند ببینند و خانه‌های خشتی و گلی را ببینند. حاجی علی رسولی می‌گفت: کله پدر هر چه خارجی تماشاگر است، ما توی این خانه‌های پر از عقرب و مار و موش با مستراح‌های چندصدساله، بدون آب، با دیوارهای زندان مانندش بمائیم و بیوسیم که خارجی‌ها می‌خواهند ببینند ما را تماشا کنند؟ خود خارجی‌های پدرسوخته اگر راست می‌گویند بیایند یک ماه توی این بیغوله‌ها که اگر یک زلزله بیاید همه‌مان می‌میریم، زندگی کنند (Papoli Yazdi, 2005).

افزایش حضور گردشگران در یزد، انگیزه ایجاد هتل‌ها، رستوران‌ها و مجموعه‌های اقامتی و پذیرایی سنتی را در بافت تاریخی تقویت کرده و باعث تغییر کاربری شمار زیادی از خانه‌های سنتی به فضاهای خدماتی شده است. در این روند، در بناهایی که پیش‌تر فاقد حمام اختصاصی بودند، به‌ازای هر اتاق اقامتی، حمام و سرویس بهداشتی مستقل اجرا شده است؛ موضوعی که در یک‌خانه چند اتاق به معنای چندبرابر شدن امکانات یادشده و به دنبال آن، افزایش قابل توجه مصرف آب و حجم فاضلاب است. این تغییر، ضمن دگرگونی الگوی مصرف، چالش‌هایی در زمینه حفاظت کالبدی و مدیریت پایدار منابع آب ایجاد کرده و

بهسازی سطحی در بافت تاریخی یزد پیامدهای قابل توجهی بر نظام رطوبتی و زیرساختی ابنیه و معابر بر جای گذاشته است. اتکای روزافزون ساکنان و گردشگران به وسایل نقلیه سبک و موتوری، همراه با الزامات ارتقا دسترسی و تسهیل حرکت، مدیران و سرمایه‌گذاران را به انجام مداخلات در معابر واداشته است. فقدان هماهنگی میان نهادهای مسئول مانند شهرداری، نظام‌مهندسی، شرکت آب‌وفاضلاب و میراث‌فرهنگی با مراکز دانشگاهی، سبب اجرای طرح‌هایی فاقد مطالعات مقدماتی و ارزیابی میراثی کافی شده است. از نمونه‌های شاخص آن، اجرای گسترده کف‌فرش سازی معابر تاریخی با آسفالت، سنگ‌فرش، موزاییک و آجر است که در مواردی نه تنها به ارتقا کیفیت بافت منجر نشده؛ بلکه با برهم زدن تعادل آبی و رطوبتی، خطرات بیشتری برای پایداری سازه‌های ارزشمند ایجاد کرده است. انتخاب مصالح نامتناسب و بی‌توجهی به عملکرد هیدرولوژیک سطوح، باعث افزایش رطوبت خاک و تشدید آسیب به ابنیه شده است. پیش‌ازین، در زمان بارندگی، آب حاصل از هدایت بام‌ها و رواناب معابر خاکی به طور گسترده در سطح نفوذ می‌کرد و با جذب در لایه‌های فوقانی زمین، بار هیدرولیکی چاه‌های جذبی کاهش یافته و شدت جریان کنترل می‌شد و به این ترتیب از آسیب به جداره چاه‌ها و سازه‌های اطراف و تجمع رطوبت جلوگیری می‌گردید.

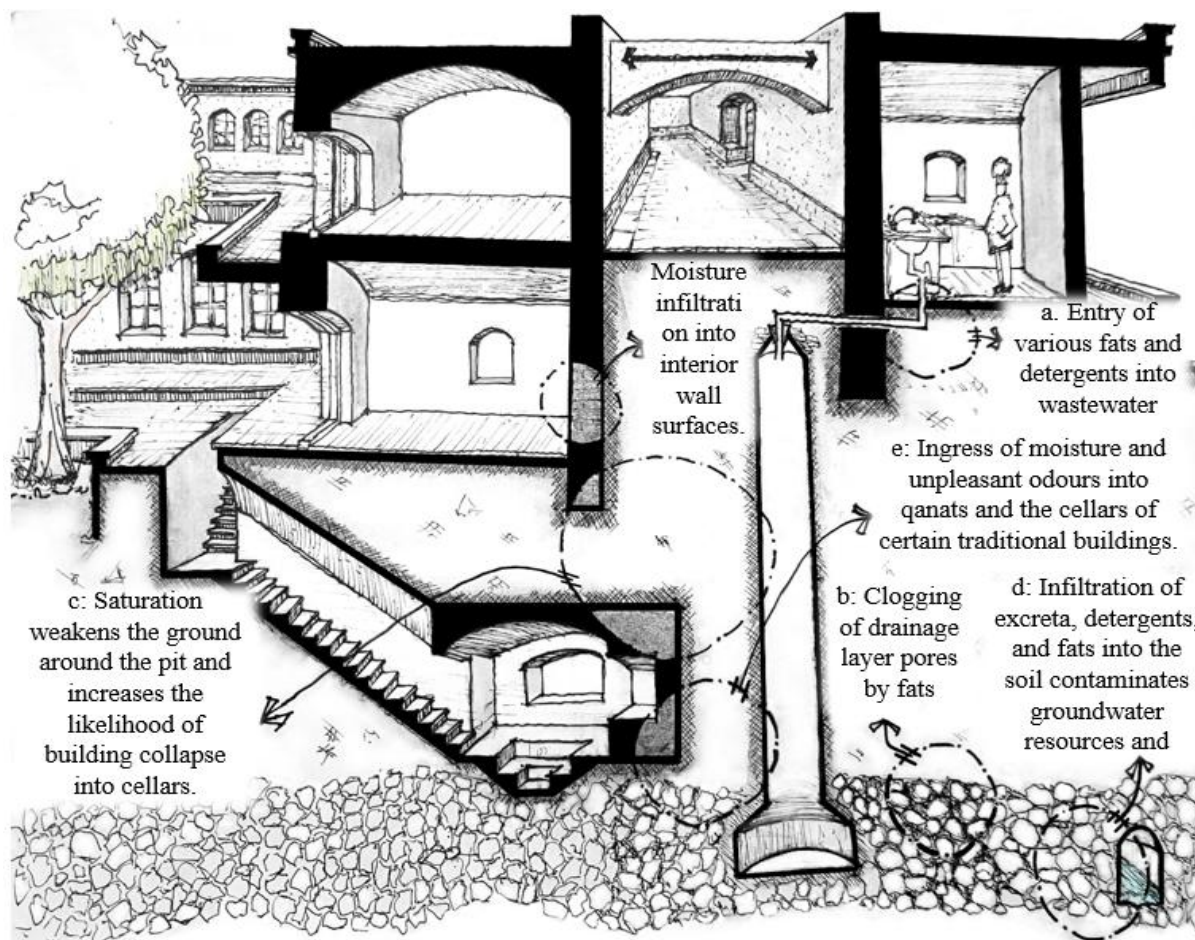
در مقابل، پس از اجرای پوشش‌های غیرقابل نفوذ مانند آسفالت، سنگ‌فرش یا سایر مصالح جدید در معابر بافت تاریخی، مسیر حرکت آب‌های سطحی به طور مصنوعی به سمت چاه‌های جذبی محدود گردید و به‌ویژه در دوره بارش‌های شدید، سبب تمرکز حجم بالای آب در نقاط معین و افزایش فشار هیدرواستاتیک بر دیواره‌های این چاه‌ها شد.

مستقیماً با افزایش حجم و تغییر ترکیب پساب‌های ناشی از کاربری‌های گردشگری مرتبط است. فاضلاب‌های کنونی، حاوی مقادیر بالایی از چربی و مواد شوینده شیمیایی بوده و عمدتاً از این کاربری‌ها منشأ می‌گیرند (شکل ۵-ا). ورود این ترکیبات به چاه‌های جذبی موجب انسداد تدریجی لایه زهکش و کاهش کارایی آنها می‌شود و در ادامه، نیاز به حفر چاه‌های جدید برای دفع فاضلاب را به همراه دارد (شکل ۵-ب).

افزایش شمار چاه‌های جذبی و ورود پیوسته پساب‌های حاوی چربی و شوینده، مسیرهای طبیعی زهکشی را مسدود کرده و موجب حبس آب در لایه‌های زیرسطحی می‌شود؛ این فرایند به تدریج خاک را اشباع، جداره چاه‌ها را تخریب و استحکام خاک را در محدوده‌های متأثر کاهش می‌دهد. در موارد شدید، این اشباع می‌تواند به ریزش ناگهانی سازه‌ها یا فروریزش در سردابه‌ها و زیرزمین‌های تاریخی بینجامد (شکل ۵-ج). علاوه بر پیامدهای سازه‌ای، ورود آلوده‌کننده‌های جدید به آبخوان‌ها و قنوات تهدیدی جدی برای سلامت زیست‌بوم و تداوم عملکرد قنوات محسوب می‌شود (شکل ۵-د). نشانه‌هایی چون بوی نامطبوع در سردابه‌ها و قنوات که نشان‌دهنده هم‌پوشانی مسیرهای چاه جذبی با پوکه قنات‌ها است، در بررسی‌های میدانی و نمونه‌برداری کیفیت آب قنات تاریخی زارچ به ثبت رسیده است (شکل ۵-ه).

ترکیب چربی‌ها و شوینده‌ها در خاک و تجزیه نیمه‌هوازی توسط میکروارگانیسم‌ها منجر به تولید آمونیاک می‌شود؛ آمونیاک در مقایسه با گازهای متداول در فاضلاب سنتی، پتانسیل تخریب بیشتری بر پی‌های آهکی و ملات‌های سنتی دارد. تداوم این روند، پایداری کالبدی میراث معماری یزد را تهدید کرده و چشم‌انداز توسعه پایدار و گردشگری شهری را در بلندمدت به مخاطره می‌اندازد.

در کنار تهدیدات شیمیایی و زیست‌محیطی ناشی از تغییر ماهیت فاضلاب، روند توسعه کالبدی معابر و پروژه‌های



شکل ۵. مقطع شماتیک جهت نمایش خطرات فاضلاب امروزی.

Fig 5. Schematic cross-section illustrating the hazards associated with contemporary wastewater.

درجه، در لایه‌های زیرساختی و دیوارهای باربر منجر می‌گردد و تهدیدی جدی برای پایداری و یکپارچگی کالبدی بنا به شمار می‌رود. در سال‌های اخیر، افزایش حجم پساب ناشی از رشد جمعیت، دگرگونی الگوهای مصرف و توسعه گردشگری، زمینه‌ساز فزونی تعداد چاه‌های جذبی در بافت تاریخی شده است. این افزایش، با تشدید تمرکز و اشباع موضعی جریان‌های نفوذی، بار هیدرواستاتیک بر جداره‌ها و بستر پی را بالا برده و در نتیجه، احتمال وقوع همین الگوی نشست‌های مخرب و تسریع فرسایش مصالح سنتی را به طور محسوسی افزایش داده است (شکل ۶).

به بیان دیگر، تبدیل جذب یکنواخت و تدریجی رواناب‌های سطحی در سطح وسیع معابر، به نفوذ نقطه‌ای و متمرکز، آسیب‌پذیری بناها و زیرساخت‌های تاریخی را به طرز چشمگیری افزایش داده است.

تمرکز و اشباع رطوبت در نقاط خاص بستر خاک، به‌ویژه در مجاورت پی‌ها و سازه‌های تاریخی، بستر ایجاد نشست‌های موضعی و نامتقارن زمین را فراهم می‌آورد. این نوع نشست‌ها با برهم‌زدن توزیع متعادل تنش‌های ناشی از بارهای مرده و زنده بر سطح پی، موجب تمرکز تنش‌های برشی و فشاری در نواحی محدود می‌شوند؛ پیامدی که اغلب به بروز ترک‌های قطری، به‌ویژه با زاویه حدود ۴۵



(ب)
b)

(الف)
a)

شکل ۶. الف) ترک‌های ۴۵ درجه در دیوار بناهای تاریخی و ب) تعدد چاه‌های حفر شده در فواصل کوتاه.
Fig. 6. (a) Forty-five-degree cracks in the walls of historic buildings, and (b) the concentration of absorption wells excavated at short intervals.

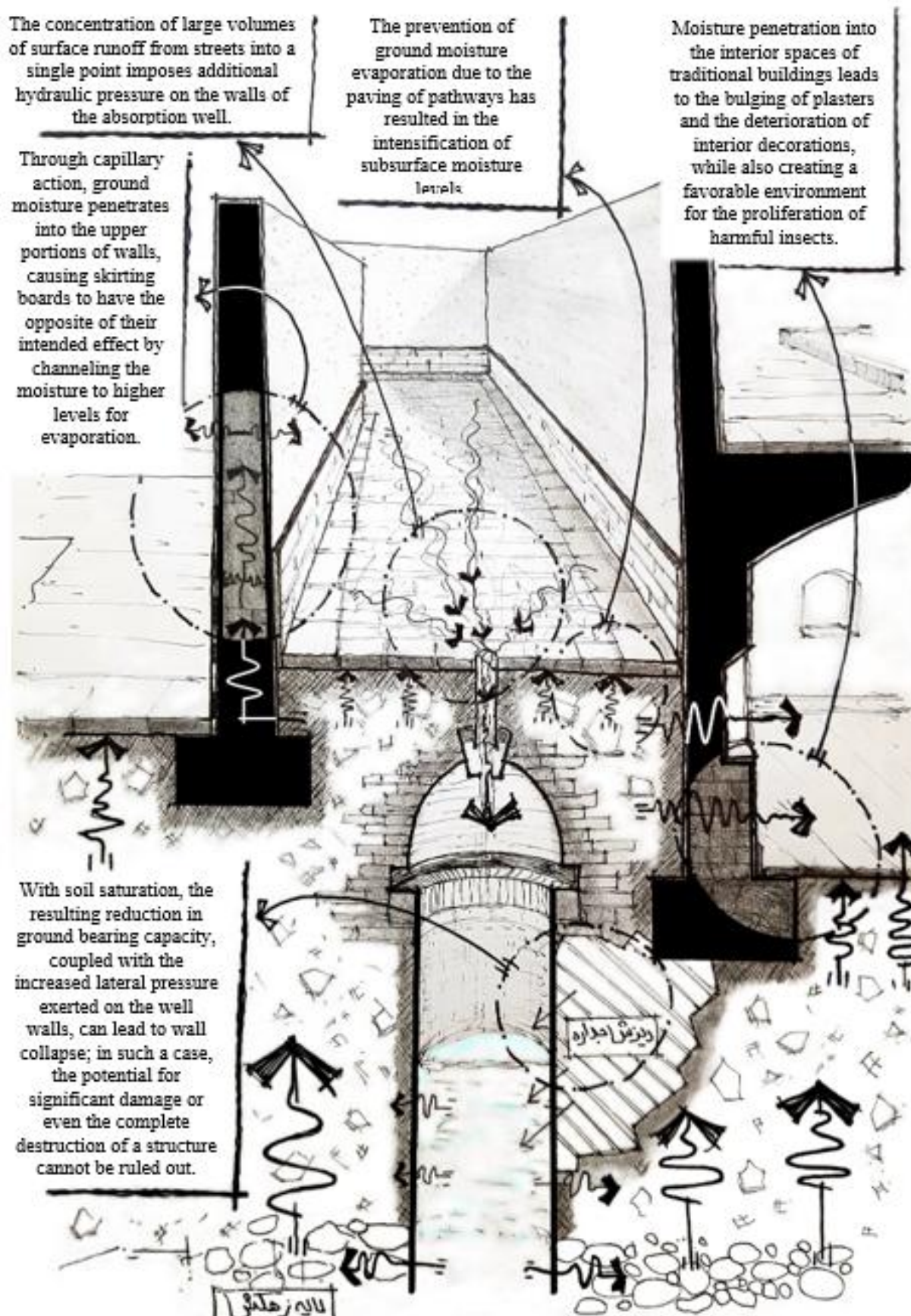
خاک و پی‌های بنا هدایت می‌کند. تداوم این شرایط باعث نفوذ تدریجی رطوبت به دیوارهای ابنیه تاریخی، تضعیف پایداری سازه و اختلال در چرخه طبیعی خشک‌شدن و تهویه خاک می‌شود.

هم‌زمان، ضعف در مدیریت منابع و پایش مصرف آب، چالشی مضاعف بر این بستر کالبدی تحمیل کرده است. فقدان کنتر در بخش‌هایی از بافت، علاوه بر ایجاد انگیزه اندک برای صرفه‌جویی، مصرف را به‌صورت بی‌رویه و کنترل‌نشده افزایش داده و امکان برآورد دقیق حجم پساب تولیدی هر واحد را دشوار کرده است. این نارسایی، تخصیص ظرفیت خدماتی و برنامه‌ریزی کاربری متناسب با توان دفع پساب را با ریسک بالا همراه می‌کند.

در غیاب داده‌های منظم و قابل‌اعتماد درباره مصرف آب و تولید پساب، مدیریت شبکه زهکش و تصمیم‌گیری برای توسعه جمعیتی و فعالیت‌های جدید مختل می‌شود. استقرار نظام پایش دقیق و به‌روزرسانی سیاست‌های مدیریتی بر اساس ظرفیت هیدرولیکی و سازه‌ای موجود، پیش‌شرط حفاظت پایدار از میراث معماری و حفظ ارزش‌های کالبدی بافت است. بی‌توجهی به این ضرورت، تهدیدی جدی برای سلامت و اصالت ابنیه تاریخی به شمار می‌رود.

در بافت‌های متراکم تاریخی، اختلاف ارتفاع محسوس سطح معابر با کف ابنیه، نفوذ رطوبت به دیوارها را تشدید کرده و موجب بروز آسیب‌هایی نظیر طبله، شوره‌زدگی و تخریب تزئینات داخلی می‌شود؛ پدیده‌ای که در سازه‌های دارای در و پنجره چوبی، سرعت پوسیدگی اجزاء را به‌مراتب افزایش می‌دهد. در گذشته، تماس خاک معابر با هوای آزاد همچون سامانه‌ای طبیعی برای تهویه و تبخیر رطوبت زیرسطحی عمل می‌کرد. پوشش معابر با مصالح نفوذناپذیر، این چرخه را مختل نموده و با انتقال مویبگی، رطوبت را تا سطوح بالاتر دیوارها بالا می‌برد. در شرایط پربارش، این فرایند شدت یافته و خطر یخ‌زدگی، طبله و تخریب عناصر خارجی را افزایش می‌دهد. ارزیابی تطبیقی وضعیت دیوارهای مجاور معابر فرش شده و خاکی، افزایش عمق نفوذ و شدت آسیب‌ها را تأیید می‌کند (شکل‌های ۷ و ۸).

در بافت تاریخی یزد، عمق ناکافی چاه‌های جذبی و قرارگیری در لایه‌های سطحی زهکش در بسیاری از نقاط باعث شده چاه‌های جذبی عملاً تنها در نخستین لایه نفوذپذیر عمل کنند. این وضعیت، همراه با افزایش حجم آبریز و کاهش سرعت حرکت آب در خاک، پدیده مویبگی را تشدید کرده و رطوبت را تا سطوح فوقانی



شکل ۷. مقطع شماتیک از معابر ناحیه تاریخی شهر یزد.

Fig 7. Schematic cross-section of alleys in the historic district of Yazd.



(ب)

b)

(الف)

a)

شکل ۸. (الف) نمونه‌ای از دیوار بنا در معابر آسفالت شده و نفوذ رطوبت به قسمت‌های بالایی دیوار و (ب) عدم نفوذ رطوبت به قسمت‌های بالایی در معابر خاکی (هر دو تصویر مربوط به یک روز می‌باشد)

Fig 8. (a) Example of a building wall along an asphalt-paved alley, showing moisture penetration into the upper portions of the wall; and (b) absence of moisture penetration into the upper portions along an unpaved alley (both images taken on the same day).

نتایج و بحث

باتوجه به فشارهای اقتصادی ناشی از تحریم‌ها و محدودیت منابع مالی، اجرای طرح‌های گسترده فاضلاب‌کشی در بافت تاریخی یزد عملاً در اولویت‌های پایین‌تری قرار دارد. افزون بر هزینه‌های سنگین، موانع فنی و کالبدی قابل توجهی نیز وجود دارد که پیشبرد چنین پروژه‌هایی را دشوار می‌سازد. از مهم‌ترین چالش‌ها، امکان‌ناپذیری تردد ماشین‌آلات عمرانی در کوچه‌های باریک و پیچ‌درپیچ، و اختلاف چشمگیر تراز ارتفاعی میان سطح معابر و کف حیاط خانه‌های تاریخی است؛ در مواردی این اختلاف به بیش از ۱۰ متر می‌رسد و برخی حیاط‌ها حتی از سطح شبکه فاضلاب شهری پایین‌تر قرار دارند، امری که شرایط را برای اجرای شبکه فاضلاب یکپارچه تقریباً ناممکن

می‌سازد. شیب ملایم توپوگرافی و ضرورت حفاری در عمق‌های بسیار پایین نیز هزینه و پیچیدگی کار را بیشتر می‌کند. در کنار این عوامل، گسست‌های کالبدی میان بخش‌های قدیم و جدید شهر، مانع جدی در مسیر طراحی و اجرای شبکه فاضلاب سراسری است. برآیند این عوامل نشان می‌دهد که الگوهای متداول فاضلاب‌کشی شهری با ویژگی‌ها و محدودیت‌های منحصربه‌فرد بافت تاریخی یزد همخوانی ندارد و استفاده از راهکارهای جایگزین، کم‌مداخله و متناسب با شرایط اقتصادی، محیطی و کالبدی منطقه ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. این بافت با مجموعه‌ای پیچیده و درهم‌تنیده از چالش‌های مدیریت پساب، حفاظت محیط‌زیست و پایداری سازه‌ای مواجه است، و پاسخ مؤثر نیازمند

با طراحی مخزن‌های متناسب با شرایط منحصربه‌فرد ناحیه تاریخی، می‌توان از تداوم روند آلودگی آب‌های زیرزمینی و قنات ارزشمند زارچ پیشگیری نمود.

• انواع متنوعی از مخازن سپتیک قابلیت اجرا دارند که برخی از آن‌ها امکان بهره‌برداری مجدد از آب خاکستری برای مصارفی همچون آبیاری گیاهان و شست‌وشو را نیز برای کاربران فراهم می‌کنند؛ موضوعی که موجب کاهش مصرف آب شرب و بالطبع، کاهش تولید پساب خواهد شد.

• در مقایسه با هزینه‌های سنگین حفر متعدد چاه‌های جذبی یا احداث شبکه سراسری فاضلاب شهری و نیز ریسک بالقوه آسیب‌های جبران‌ناپذیر ناشی از فقدان مدیریت صحیح پساب، هزینه اجرا و نگهداری سیستم سپتیک نسبتاً اندک و کاملاً قابل‌توجیه ارزیابی می‌گردد.

چالش‌ها و ملاحظات:

○ نیاز به فضای کافی: هرچند به‌صورت زیرزمینی نصب می‌شوند، اما نیازمند فضای مشخص برای نصب و دسترسی برای تخلیه لجن هستند.

○ تخلیه و نگهداری منظم: تانک‌های سپتیک نیاز به تخلیه دوره‌ای لجن ته‌نشین شده دارند که مستلزم برنامه‌ریزی و زیرساخت‌های مناسب برای جمع‌آوری و دفع لجن است.

○ آموزش عمومی: آموزش ساکنین در مورد نگهداری صحیح و عدم تخلیه مواد غیرمجاز به تانک سپتیک ضروری است.

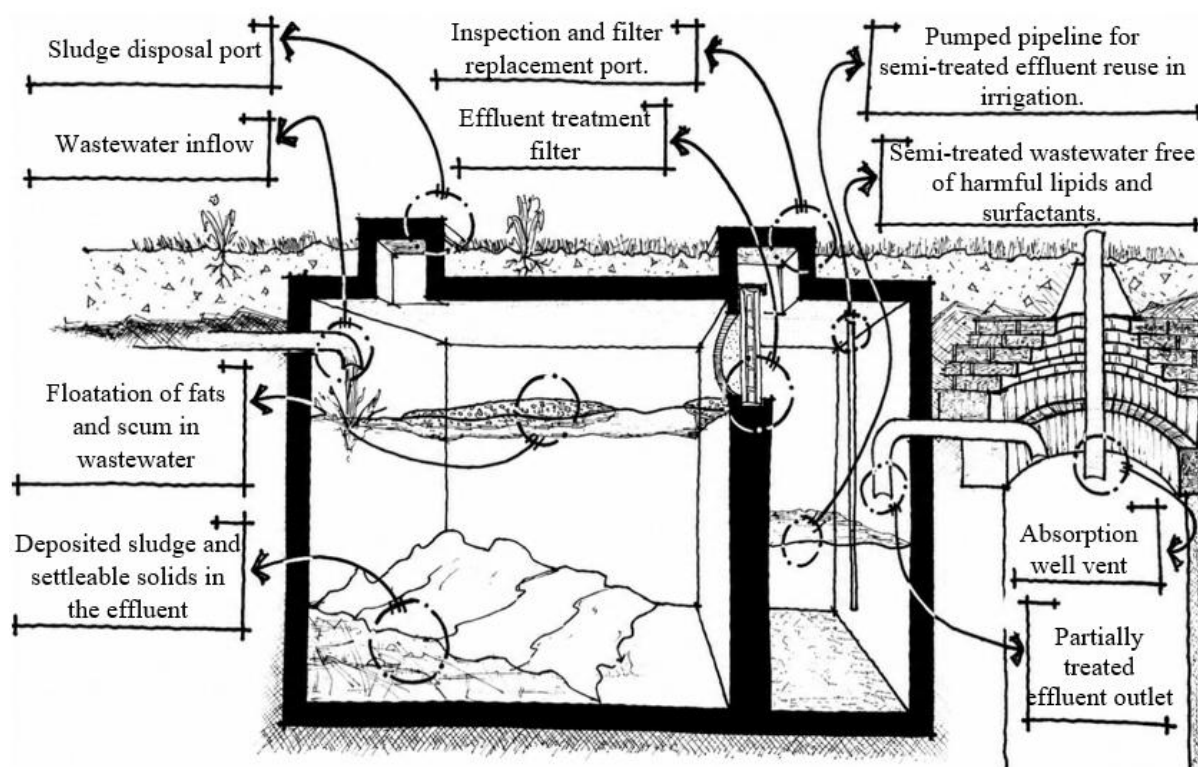
○ بدین ترتیب، الزامی شدن استفاده از سیستم‌های سپتیک در بافت تاریخی، به‌عنوان یکی از راهبردهای کلیدی برای حفاظت از زیست‌بوم، ابنیه تاریخی و تأمین پایداری اکولوژیک منطقه مطرح می‌شود و می‌تواند به‌عنوان زیرساخت سایر راهکارهای مکمل تلقی گردد.

به‌کارگیری مجموعه‌ای از اقدامات مکمل و هم‌زمان است تا هریک بخشی از مشکل را برطرف ساخته و تأثیر کلی را افزایش دهد. باتوجه‌به وضع موجود، حتی تمام راهکارهای مطرح‌شده در این پژوهش در همه معابر و محلات قابل‌اجرا نیست و ممکن است در یک معبر تنها امکان اجرای یک راهکار فراهم باشد و در معبری دیگر اجرای هم‌زمان چند گزینه امکان‌پذیر گردد. از این‌رو، بررسی دقیق این شرایط بستر مناسبی برای شناسایی و معرفی مجموعه‌ای از مداخلات کاربردی فراهم می‌آورد؛ مداخلاتی که در ادامه به‌عنوان راهکارهای پیشنهادی ارائه شده‌اند:

الزامی‌سازی سیستم دفع فاضلاب به روش سپتیک برای کلیه کاربری‌ها در بافت تاریخی: به‌منظور کاهش مخاطرات زیست‌محیطی ناشی از فضولات، چربی‌ها و شوینده‌های موجود در پساب شهری، استقرار سامانه‌های دفع فاضلاب به روش سپتیک در کلیه کاربری‌های بافت تاریخی یزد ضرورتی جدی و قابل‌اجرا محسوب می‌شود. شکل (۹) نشان می‌دهد که ترکیب سپتیک با چاه‌های جذبی از منظر فنی و محیطی مزایای قابل‌توجهی دارد. باتوجه‌به کمبود منابع آبی، استفاده از سپتیک تانک برای همه کاربری‌ها باید اجباری شود؛ با این حال، برای کاربری‌هایی مانند اقامتگاه‌ها و رستوران‌ها که تولید پساب آلوده‌تر و پرچرب‌تر دارند، ضرورت الزام و اقدام فوری در نصب سپتیک تانک دوچندان است. در ادامه، مهم‌ترین مزایای این رویکرد عبارت‌اند از:

• با انجام فرایند فیلتراسیون نسبی چربی‌ها، شوینده‌ها و مواد آلی، از مسدودشدن منافذ لایه‌های زهکش جلوگیری می‌شود و در نتیجه، فرایند دفع پساب در این لایه‌ها تسهیل می‌گردد.

• پساب خروجی سیستم سپتیک، به واسطه نوع طراحی و فیلترهای تعبیه شده، درصد بالایی از ذرات و آلاینده‌های آسیب‌رسان به محیط‌زیست را حذف می‌کند.



شکل ۹. مقطع شماتیک از یک نمونه مخزن سبتیک (منبع: نگارنده)

Fig 9. Schematic cross-section of a typical septic tank (Source: Author).

مشکلات هیدرولوژیکی محله را تشدید کند. تلفیق این الزام با بهره‌گیری از سبتیک تانک و اصلاح ساختار چاه‌های جذبی، توان مضاعفی برای حفاظت اکولوژیک و سازه‌ای و پایداری سیستم سنتی دفع پساب در بستر میراث معماری یزد ایجاد خواهد کرد.

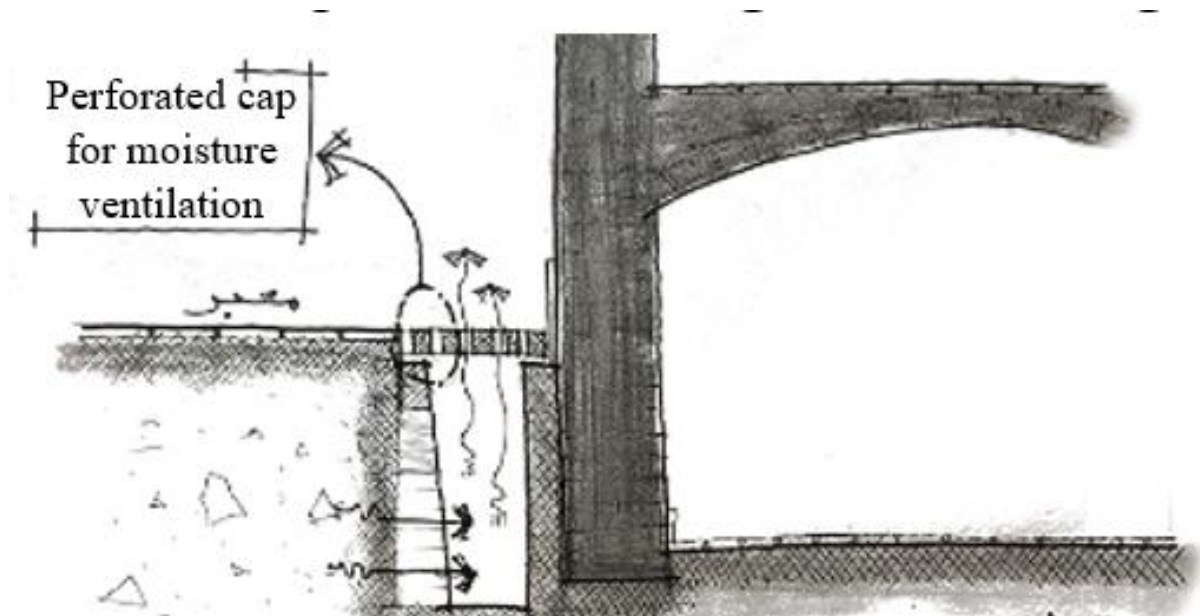
بهره‌گیری از کانال‌های ناکش در معابر به‌منظور بهبود تهویه و تبخیر رطوبت خاک: برای کاهش انتقال رطوبت به بخش‌های میانی و بالایی دیوارها و مهار صعود مویینگی، پیشنهاد می‌شود در معابر بافت تاریخی کانال‌های تهویه‌ای اجرا شود. کانال ناکش یا تهویه‌ای، سیستم هدایت آب است که با جریان‌یابی آب اضافی، از تجمع آن و آسیب‌های ناشی از رطوبت جلوگیری می‌کنند و با بهبود جریان هوا در لایه‌های فوقانی خاک، شرایط تبخیر تدریجی رطوبت محبوس را فراهم می‌کنند. بدین ترتیب، تراکم رطوبت در مجاورت پی و جداره‌های بنا به حداقل می‌رسد و از صعود رطوبت به ارتفاعات بالاتر دیوارها که

اصلاح اصولی عمق و ساختار چاه‌های جذبی متناسب با لایه‌های زهکش زمین: در تکمیل راهکار نخست و به‌منظور ارتقا اثربخشی سامانه‌های سبتیک، یکی دیگر از اقدامات مؤثر، شناسایی دقیق عمق و ساختار لایه‌های زهکش و افزایش عمق چاه‌های جذبی تا رسیدن به لایه‌های دوم و سوم زهکش است. این مداخله می‌تواند نقش مهمی در کاهش سطوح رطوبت باقی‌مانده در خاک بافت تاریخی ایفا نماید و از اشباع موضعی لایه‌های سطحی که همواره تهدیدی برای پایداری پی‌ها و سازه‌های مجاور است، جلوگیری کند.

به‌منظور صیانت مؤثر از بافت تاریخی، لازم است نهادهای مسئول، به‌ویژه شهرداری، در ضوابط شهرسازی الزام حفر و بهره‌برداری از چاه‌های جذبی با عمق استاندارد در تمام املاک را به‌طور هماهنگ اجرا کنند؛ زیرا اقدامات محدود و موضعی می‌تواند با تغییر مسیر پساب، چاه‌های عمیق‌تر را به مخزن زهکش چاه‌های سطحی مجاور بدل کرده و

کمک می‌کند، بلکه با تقویت فرایندهای طبیعی تعادل رطوبتی، زمینه‌ساز افزایش دوام و بقای ابنیه ارزشمند تاریخی در بلندمدت خواهد بود (شکل ۱۰).

منشأ آسیب‌های سازه‌ای، فیزیکی و آثار تخریبی بر روی مصالح تاریخی است به طور مؤثری جلوگیری خواهد شد. این مداخله نه تنها به حفظ پایداری و سلامت مصالح



شکل ۹. یک نمونه دتایل کانال ناکش یا تهویه‌ای.

Fig 10. Example detail of a ventilation drainage channel.

تاریخی یزد، هم‌زمان با تأمین نیازهای زیست‌محیطی و بهداشتی شهروندان بوده است.

نتیجه‌گیری

بررسی حاضر، استناداً به شواهد میدانی و مطالعات تطبیقی، نشان می‌دهد که اثر رطوبت در ۸۰ درصد بناهای نمونه قابل مشاهده بوده و تحلیل داده‌ها حاکی از نشست پی در ۳۰ درصد از سازه‌های مورد بررسی است. با توجه به ثبت جهانی بافت تاریخی یزد در فهرست میراث جهانی یونسکو و ثبت قنات‌ها به عنوان میراث فرهنگی و طبیعی ارزشمند در این فهرست، حفاظت از این میراث نیازمند رویکردی بین‌المللی و هم‌راستا با استانداردهای جهانی است.

تحلیل و استنتاج:

- اهمیت وضعیت موجود: گسترش آسیب‌های ناشی از رطوبت و نشست پی، ضرورت مداخله فوری و برنامه‌ریزی

چالش‌ها و ملاحظات:

- حفظ یکپارچگی بصری: طراحی این کانال‌ها باید به گونه‌ای باشد که با بافت تاریخی یزد همخوانی داشته باشد و از ایجاد ناهنجاری بصری جلوگیری شود.
- ایمنی: گریل‌ها و پوشش‌ها باید از نظر ایمنی برای عابران پیاده و وسایل نقلیه مناسب باشند.
- محدودیت فضا: در برخی معابر باریک، فضای کافی برای ایجاد کانال‌های وسیع وجود ندارد.

تمامی این مداخلات پیشنهادی با توجه به استانداردهای حفاظت میراث فرهنگی، به‌ویژه منشور (ICOMOS, 2013) تدوین شده‌اند. این منشور بر لزوم حفظ اصالت، یکپارچگی و پیوستگی فرهنگی بناهای تاریخی تأکید دارد و هرگونه مداخله‌ای را مشروط به رعایت اصول دقیق اخلاقی و فنی می‌داند. راهکارهای ارائه‌شده در این پژوهش نیز با پایبندی به این اصول، در پی حفظ ارزش‌های فرهنگی و

دانش بومی قنات‌ها و فناوری‌های نوین مدیریت آب، ظرفیت بالایی برای ارائه راه‌حل‌های پایدار فراهم می‌آورد. تجربه یزد اثبات می‌کند که نگاه بین‌رشته‌ای و تلفیق عناصر سنتی و نوین در مدیریت منابع آب، نه فقط به حفظ اصالت تاریخی شهر کمک می‌کند، بلکه ضامن توسعه پایدار و بهبود کیفیت زیست‌بوم شهری خواهد بود. استمرار پژوهش‌های دقیق‌تر، شامل پایش مداوم کیفیت آب قنات‌ها و مدل‌سازی هیدرولیکی حرکت آب و فاضلاب، می‌تواند پشتوانه علمی تصمیم‌گیری و حفاظت مؤثرتر از این بافت ارزشمند را تقویت کند. رویکردی جامع و علمی، کلید موفقیت در پاسخگویی به چالش‌های پیچیده بافت تاریخی یزد است.

منابع

- Development, 34(3), 455-471.
<https://doi.org/10.1080/07900627.2017.1326884>
 Kalantari Khalil Abad, H., & Pourahmad, A. (2005). Management and planning for rehabilitating the historical district of Yazd city. *Geographical Research Quarterly*, 54, 77-92. [In Persian]
 Mofidi, M., Hooshyaripor, F., Kardan Moghadam, H. & Noori, R. (2025). Trend Analysis of Groundwater Quality Changes Using Groundwater Quality Index (Study Area: Ghazvin Aquifer). *Journal of Aquifer and Qanat*, 6(1), 107-130.
<http://10.0.86.61/jaaq.2025.9864.1120>
 Montazeri, M., & Barati, N. (2014). [Title of the article in English translation]. *Haft Shahr Magazine*, 47-48, [In Persian]
 Haji Qasemi, K., Sotudeh, H., Dehghanmehr, S., Khansari, D., Abedi, A., & others. (2004). *Ganjnameh: Houses of Yazd*. Tehran: Shahid Beheshti University, Faculty of Architecture and Urban Planning. [In Persian]
 Hajizadeh Meymandi, M., & Yousefi, F. (2013). *A study on some social factors related to the consumption among women in Yazd city* [In Persian]. *Women's Cultural and Social Council Quarterly*, 16(61), 233-271.
 Sharafoddin, S. H. (2015). *Consumerism in modern and religious lifestyles* [In Persian]. *Lifestyle Studies Biannual*, 1(1), 7-30.
 Sharifnejad, M., Nasarian, Z., Beizae, M., & Shakiba, A. (2016). *Comparative assessment of compactness in historical and newly developed fabrics of Yazd city* [In Persian]. *Geography and Environmental Planning*, (64), 18-1.

دقیق در حوزه مرمت و نگهداری ابنیه تاریخی را بیش از پیش نمایان می‌سازد.

• ضرورت رویکرد بین‌المللی: با توجه به اهمیت جهانی قنات‌ها و بافت تاریخی یزد، به‌کارگیری دانش و تجربیات بین‌المللی در راستای حفظ و احیای این میراث فرهنگی، امری اجتناب‌ناپذیر است.

• تجربیات موفق سایر کشورها: بررسی تجربیات کشورهای موفق در زمینه حفظ و احیای قنات‌ها، مانند مالزی، ژاپن و ایران، می‌تواند به‌عنوان منبع الهام و راهنمایی برای تدوین استراتژی‌های اجرایی در یزد مورد استفاده قرار گیرد.

• نقش سازمان‌های بین‌المللی: همکاری با سازمان‌های بین‌المللی مرتبط با میراث فرهنگی و آب، می‌تواند در تقویت ظرفیت‌های فنی و مدیریتی یزد در زمینه حفاظت از قنات‌ها و بافت تاریخی، نقشی محوری ایفا نماید.

توصیه‌های عملی به نهادهای مسئول:

- شهرداری یزد: تدوین و اجرای طرح جامع مدیریت آب و فاضلاب، با اولویت‌بندی مناطق آسیب‌دیده و تخصیص بودجه و یا در نظر گرفتن تدابیری برای به‌روزرسانی زیرساخت‌ها و اجرای سامانه‌های پیش‌تصفیه.
- میراث فرهنگی یزد: بازنگری در ضوابط مرمت ابنیه تاریخی و به‌روزرسانی ضوابط مرمت ابنیه تاریخی با تأکید بر سازگاری با محیط زیست.
- شرکت آب و فاضلاب یزد: سرمایه‌گذاری در توسعه زیرساخت‌های تصفیه فاضلاب و کاهش میزان ورودی فاضلاب به شبکه‌های قنات و آبخوان‌ها. همچنین، اجرای برنامه‌های آموزشی برای افزایش آگاهی عمومی در خصوص مدیریت صحیح مصرف آب و فاضلاب.
- در نهایت باید توجه داشت که رویکردی جامع و علمی، کلید موفقیت در پاسخگویی به چالش‌های پیچیده بافت تاریخی یزد و حفظ این میراث ارزشمند برای نسل‌های آینده است. همچنین یافته‌ها نشان می‌دهد که همگرایی

- Tabatabaei, S.M. (2024). Investigating successful methods for reviving the Qanat through physical protection and artificial nutrition: A case study of Khamsian Qanat Ashkezar, Mazreano of Dehshir, and Dihok Kharanagh. *Journal of Aquifer and Qanat*, 4(2), 67–82. <https://doi.org/10.22077/jaaq.2024.7340.1065>
- Talebi, M.S. & Hashemi, S.R. (2026). Foresight of water resources in Yazd Province based on Geo-Political Drivers. *Journal of Aquifer and Qanat*, 7(1), 273–307. <https://doi.org/10.22077/jaaq.2026.11657.1150>
- Sarai, M. H., & Alian, M. (2015). Sanjesh va arzyabi mizan payadari dar baft-e tarikhi-ye shahr-e Yazd [Measurement and assessment of the level of sustainability in the historical fabric of Yazd city. [In Persian]. *Jografiya, Barnameh-rizi va Amayesh-e Faza*, 19(1), 79–108. Retrieved from <http://hsmasp.modares.ac.ir/article-21-8023-fa.html>
- Fotouhi Firoozabad, F., Ekhtesasi, M. R., Sefid, M., & Morovati Sharifabadi, A. (2019). Strategic management of separation of drinking water from sanitation water in the city of Yazd by using AHP and SWOT analysis. *Water and Wastewater*, 30(2), 113–120. <https://sid.ir/paper/104101/en>
- Jokilehto, J. (2017). *A history of architectural conservation* (2nd ed.). New York: Routledge.
- Farhadi, M. (2017). Makl makl makegi (“Divche” Chahi). *Social Sciences Quarterly of Allameh Tabataba’i University*, 77(Special Issue on Water), 91- 114. [In Persian]