Research Paper

The Engineering Analysis a Newly Discovered Water Supply System in the Historical Context (Boroujerd City)

Seyed Yaghoub Karimi [1], Safar Marofi [2], Yadollah Heydari Babakamal[3] Ahmad Darvishi, [4] Esmail Hemati Azandariyani [5], Hojatolah Younesi[6]

[1] Postdoc researcher, Department of Water Engineering, Bu Ali Sina University, Iran.
[2] Professor, Department of Water Engineering, Bu Ali Sina University, Iran.
[7]Assistance Professor, Department of Archaeology, Faculty of Cultural Materials Conservation, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran.
[4]freelance researcher.
[5]Assistant Professor, Faculty of Art and Architecture, Bu Ali Sina University, Hamadan, Iran.
[6] Associate Professor, Department of Water Engineering, Lorestan University, Iran.

10.22125/IWE.2023.168315

Received:
January 19, 2021
Accepted:
September 2, 2021
Available online:
April 18, 2023

Keywords:
Borujerd city, Historical Context, Governmental Castel, Clay pipe, Clay pot.

Abstract

Due to construction activities in the Borujerd city of Lorestan province, a water supply system was discovered that there was no trace of it before. This water supply system consists of potted vases that are interconnected through tree clay pipes (each clay section consists of six or seven pieces of water pipe). The main structure of the water supply system starts at an average depth of 1.25 m from the trough and continues at depth of 2.40 m and its relative slope has been determined to be from west to east direction-wise. This structure has been implemented in a very intelligent and accurate manner. However, so far no archaeological, scientific, or hydrologic research has been done about them. This study focuses on this issue. The most important questions about this newly found water supply system are i) what is the main purpose for creating this water supply system in the historical context of Borujerd? ii) What role do the pots between clay pipes play in this water system? According to the presented questions, the authors in this research try to provide scientific answers using field research, library studies, and accurate calculations for these questions. The calculations made through the length of the clay pipe and the intervals of the pots indicate that this water supply system is different from the standards mentioned in the authentic historical sources in the field of water science and suggests that after considering the regional conditions and strengthening the structure and its stability, structural changes have been made to it. The results indicate that the vases embedded in the clay pipe have different applications and it is probable that it has been utilized for dividing the water current and the ventilation of the water supply system. Archaeological evidence suggests that this water supply system has been constructed to supply water to the government castles and for the public consumption purposes such as irrigation and municipal water supply which are related to the late Qajarian period.

1. Introduction

Studying the water supply system of each city provides invaluable information about supplying water and how to solve the challenges related to the water supply. Surface water is one of the main elements of public spaces and historical cities. One of the oldest water monuments discovered in Iran was the water supply installations of the Choghaznabil temple from about 3200 years ago which was related to the Elamite shrine. This temple has hydraulic facilities, including a reservoir, water canals, and a pond that provides city residents with the required water. Aqueducts and water facilities were not changed or damaged in Islamic period because the Arabs paid particular attention to the importance of economic infrastructures. One of which was the aqueduct. Furthermore, in the Islamic era, the role of water became practical in architecture. Accordingly, various evidence of water management, water supply system, and related structures has been bullied in many historical sites. Each of these structures has specific physical and hydrological roles. Therefore, as a result, it is essential to search for them in archaeology, architecture, hydrology, and other related sciences.

Since the discovered system belonged to the Qajar period, cities used different water supply methods due to their geographical distribution in other climates. Water was directed into the towns through qanats, aqueducts, and channels. Also, in some of the northern areas of Iran, people used water from wells dug in their homes. In some cities, clay pipes were used on water piping networks (continuous horizontally) placed in clay cement. The mentioned cement becomes an impermeable coating after drying. Using tanbushe was another technique that was common in this period. A model is a newly developed structure that has not been researched. So, the authors intend to do their research on this issue. This study tries to answer the outlined related questions using field methods and library studies.

2. Materials and Methods

The most important questions raised are: i) which part of the historical district was this structure intended to supply water, and ii) what is the role of the pots between the clay pipes in the water supply system? According to the questions set forth, this study attempts to provide scientific answers to these questions using field methods (documentation, reference to historic districts, and image preparation) and library studies.

3. Results

The main structure of the discovered water supply system starts from an average depth of 1.25 m from the passage surface and continues to a depth of 2.40 m, whose relative slope is from west to east. According to the dimensions and measurements taken along the pots and the distance between the pots, it was found that this water supply system is different from the standards mentioned invalid historical sources in the field of water sciences. These structures have been changed according to regional conditions to increase the durability and strength of the design.

According to the estimated water supply volume of the historical district of Boroujerd (64 and 66 L/s using velocity-cross-section and the Manning equations for the east-west pipeline and 94 and 116 L/s for the north-south pipeline), the system was able to provide drinking and household needs of the city about 40,000 populations.

4. Discussion and Conclusion

Water amount estimated was more than the government citadel consumption used. The jars were located in a structure similar to aerated wells. Also, considering the apparent difference between the two types of networks (which is due to the connection and non-connection of each with the ground surface), it was used as a ventilator in the water transmission system. In this structure, the distance between the jars is considered to be less than 50 meters which depends on the type and capacity of the aerator, the amount of air density in the water transmission system, the sensitivity of the structure, and the number of water hammer along the water transfer path.

Moreover, the close distance of earthenware jars and the lines branching from them have caused these jars to have other uses as water dividers.

5. Six important references

1) Anonymous, 2014, Deputy of President for Strategic Planning and Oversight, vol. 3-117. Ministry of Energy: Water and ABFA Engineering and Technical Standards Office.
2) Karajji, A., 1995, Extraction of hidden waters, Vol.1, Tehran: Institute for Humanities and Cultural Studies.
3) Semsar Yazdi, A., 2015, A historical review of the aqueducts and historical water structures of Iran from the first millennium BC, People's culture, Vol. 51, 52. Pp. 59-75.
4) Khosravi, M., 1992, *Kallat e Naderi*, Mashhad: Qods e Razavi.
5) Koorus, Q., 1977, Irrigation technique in ancient Iran, Tehran: Ministry of Water and Electricity.
6) Alizadeh, A., 2014, Principles of Applied Hydrology, Mashhad: Imam Reza University Press.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to …..

نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال سیزدهم. شماره پنجاه و یک . بهار ۱۴۰۲

تحلیل مهندسی سیستم آبرسانی نویافته در بافت تاریخی شهر بروجرد

سید یعقوب کریمی[۱] ، ،صفر معروفی[۲*]، یداله حیدری باباکمال[۳]، احمد درویشی[۴] ، اسماعیل همتی ازندریانی[۵] و حجت اله یونسی [۶]

تاریخ ارسال:۱۳۹۹/۱۰/۳۰
تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۰۶/۱۱

مقاله پژوهشی

چکیده

در اثر اقدامات عمرانی گودبرداری در شهرستان بروجرد واقع در استان لرستان، سیستم آبرسانی مربوط به حدود دو سده قبل شناسایی گردید. این سیستم شامل چهار گلدان سفالی بوده که از طریق سه لوله سفالی درونی به هم متصل شده‌اند، به گونه‌ای که هر بخش لوله سفالی شامل ۶ یا ۷ قطعه تنبوشه سفالی است. تاکنون هیچ‌گونه پژوهش علمی در مورد نحوه کار سازه یاد شده انجام نشده است. در راستای مسئله مطرح شده سوالات مهمی قابل طرح‌اند: ۱ـ هدف اصلی از ایجاد سازه، آبرسانی به کدام بخش از بافت تاریخی شهر بروجرد است؟ ۲ـ گلدان‌های بین لوله‌های سفالی چه نقشی در سیستم آبرسانی دارند؟ این پژوهش در نظر دارد تا با استفاده از روش‌های میدانی از قبیل مستندنگاری، رجوع به بافت تاریخی و تهیه تصویر و مطالعات کتابخانه‌ای به این پرسش‌ها پاسخ علمی ارائه نمایند. با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام گرفته در طول تنبوشه‌ها و فاصله گلدان‌ها، مشخص شد که این سیستم آبرسانی با استانداردهای ذکر شده در منابع معتبر تاریخی در زمینه علوم آب متفاوت است و با توجه به شرایط منطقه‌ای و به منظور دوام و استحکام سازه، تغییراتی در سازه مربوطه اعمال شده است. گلدان‌های تعبیه شده در بین لوله‌های سفالی کاربردهای متفاوتی داشته‌اند؛ چنانکه از آنها به‌عنوان مقسم و هواگیری سیستم انتقال آب استفاده شده است. همچنین شواهد باستان‌شناختی نشان می‌دهد سیستم آبرسانی مکشوفه به منظور تأمین آب ارگ حکومتی و اهداف عام‌المنفعه مانند آبیاری و آبرسانی احداث شده و بر اساس مقایسه تطبیقی قدمت آن به اواخر دوره زندیه و اوایل دوره قاجار بر می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: شهر بروجرد، دوره قاجار، سیستم آبرسانی، ارگ حکومتی، تنبوشه سفالی.

[۱] محقق پسادکتری مهندسی منابع آب، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. ایمیل(karimi.sdbs@yahoo.com)

[۲] گروه علوم ومهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ایران، نویسنده مسئول، ایمیل(Marofisafar59@gmail.com)

[۳] استادیار گروه باستان‌شناسی دانشکده حفاظت آثار فرهنگی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران. ایمیلy.heydari@tabriziau.ac.ir

[۴] پژوهشگر آزاد.

[۵] استادیار گروه باستان‌شناسی دوران تاریخی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ایران.E.hemati@bacu.ac.ir

[۶] گروه علوم ومهندسی آب، دانشگاه لرستان، ایران ایمیلYonesi.h@lu.ac.ir

مقدمه

مطالعه سیستم آبرسانی هر شهری، اطلاعات ارزشمندی را در خصوص تأمین منابع آب شهر و چگونگی حل چالش‌های مربوط به تأمین آب در آن به دست می‌دهد. یکی از قدیمی‌ترین بناهای آبی مکشوفه در ایران، تأسیسات آبرسانی معبد چغازنبیل مربوط به حدود ۳۲۰۰ سال پیش مربوط به نیایشگاه مردمان عیلامی بوده است. این معبد دارای تأسیسات هیدرولیکی شامل مخزن، کانال‌های انتقال آب و حوضچه بوده که آب مورد نیاز ساکنین شهر را تأمین می‌کرده است (سمسار یزدی، ۱۳۹۳). به نظر *رومَن گیرشمن* در حدود اواسط قرن سیزدهم قبل از میلاد، پشته وسیعی به ارتفاع بیش از ۳۰ متر از رودخانه آب دز، توسط شاه ایلام (اونتاش گال) انتخاب شد تا در آن شهرکی مذهبی بنیان گذاشته شود و تبدیل به مرکزی زیارتی برای مردم ایلام گردد. این شهرک *دور ـ اونتاش* نامیده شد که برگرفته از نام بنیانگذار آن بود (گیرشمن، ۱۳۷۳). شواهد تاریخی نشان می‌دهند که پادشاهان هخامنشی تأسیسات آبی مهمی در قلمرو خود بنا کرده‌اند. بسیاری از این سازه‌ها، یا در طول تاریخ به کلی از بین رفته‌اند و یا توسط پادشاهان سلسله‌های بعدی همچون ساسانیان تعمیر و به‌نام آن‌ها در تاریخ ثبت شده است (سمسار یزدی، ۱۳۹۳).

ورود اسلام به ایران که با فروپاشی سلسله ساسانی همراه بود، تغییرات مشهود مذهبی، سیاسی، اجتماعی و زبانی در ایران به وجود آورد. قنات‌ها و تأسیسات آبی در این رهگذر تغییراتی نیافته و لطمه ندیدند، علت آن بود که اعراب به اهمیت زیرساخت‌های اقتصادی که یکی از آن‌ها قنات بود توجه داشتند (سمسار یزدی، ۱۳۹۳). همچنین معماران دوران اسلامی کاملاً آگاهانه سعی کردند تا بر طبیعت تسلط یافته و آن را به نظم درآورند. آن‌ها به کمک منطق و تکنولوژی زمان خود، به آب و طبیعت حیاتی رام‌شدنی داده و آن‌را غنی‌تر ساختند. بر همین اساس در بسیاری از محوطه‌های تاریخی، شواهد گوناگونی از مدیریت آب، سیستم آبرسانی و سازه‌های مرتبط با آب موجود است. این سازه‌ها که هر کدام قوانین مشخص فیزیکی و هیدرولوژیکی دارند از نظر مطالعات باستان‌شناسی، معماری و مهندسی آب بسیار مهم و ارزشمند بوده و می‌تواند در پیشبرد آنها مفید باشند.

اهمیت یاد شده در تمامی دوران اسلامی و تا دوره قاجار قابل پیگیری است. در دوره قاجار شهرها بنا به پراکندگی جغرافیایی آنها در اقلیم‌های گوناگون از شیوه‌های متفاوت آبرسانی استفاده می‌کردند. *درووِیل* نقل می‌کند که در شهرها برای لوله‌کشی آب، لوله‌هایی از گل پخته [تنبوشه] را سر هم‌بندی کرده و آنها را در همین حال و به‌صورت افقی در ملاتی از گل رس قرار می‌دهند. ملات مزبور پس از خشکیدن به‌صورت پوشش نفوذناپذیری در می‌آید. به نظر ایشان لوله‌های سفالی با اینکه بیش از یک یا چند متر زیر زمین نیست؛ اما سالیان طولانی دوام می‌آورد (درووِیل، ۱۳۸۷: ۵۱). با استفاده از لوله‌کشی مزبور، بسیاری از شهرها از آب آشامیدنی سالم برخوردار بودند. در بسیاری از شهرها به منظور خنک نگه‌داشتن آب، مکان‌هایی به نام «آب‌انبار» (فلاندن، ۱۳۵۹: ۹۰) ساخته می‌شد که شامل یک اتاق در گودی و سایه‌بانی در زیر زمین بود؛ از یک طرف آب به آن وارد می‌شد و به خاطر عدم تابش نور خورشید به این مکان آب آن همواره خنک و قابل شرب بود. استفاده از تنبوشه سفالی از دیگر تکنیک‌های بود که در این دوره رایج بود از جمله می‌توان به سازه نویافته اشاره کرد که تاکنون هیچ‌گونه پژوهشی در مورد آن انجام نگرفته؛ به طوریکه نگارندگان در نظر دارند به این مهم بپردازند. نگارندگان در این پژوهش با استفاده از روش‌های میدانی از قبیل بازدید میدانی، مستندنگاری و تهیه تصویر، پلان و انجام اندازه‌گیری‌های لازم به‌همراه مطالعات کتابخانه‌ای شامل استفاده از اسناد، گزارش‌ها و منابع مکتوب دست اول در تلاش هستند تا به سؤالات مطرح شده در پژوهش پاسخ دهند.

پیشینه پژوهش

پژوهشگران متعددی به مطالعه سیستم‌های انتقال آب و سازوکارهای آنها پرداخته‌اند. برخی از آنها به‌صورت تخصصی به مبحث قنات‌ها، تاریخچه، نحوه احداث و اجزای تشکیل دهنده آنها پرداخته و نحوه انتقال آب از مظهر قنات با استفاده از کانال‌ها و آب‌بندها را به طور کامل شرح داده‌اند (احمدی، ۱۳۸۴). از این میان نوشتارهای دیگری به شرح کامل مواد و مصالح سنّتی (کول و تنبوشه) به کاربرده شده در قنات و سیستم انتقال آب پرداخته و نحوه تهیه و اجرای این مصالح را شرح داده است. فخار تهرانی در پژوهشی به بررسی اصلی‌ترین مصالحی که در ساختمان قنات به‌کار می‌رود، اشاره دارد که این مصالح از نوع مصالح مقاوم و تثبیت کننده ریزش خاک هستند (فخارتهرانی، ۱۳۷۹). علاوه بر آن برخی محققین به آب‌شناسی، منابع آب، قنات و شرح کار آن، نهر و کانال‌کشی، پل‌های آب‌بند و آب‌بند کردن مجاری آب به‌وسیله تنبوشه و طرز نصب آن پرداخته‌اند (رضا و کوروس، ۱۳۵۰). برخی از پژوهشگران نیز به بررسی چگونگی طرّاحی (مهندسی) شبکه تأمین آب در کاروانسرای کویری نوگنبد بر پایه نتایج به‌دست آمده از بررسی باستان‌شناختی منطقه نوگنبد ـ ارکان در نائین پرداختند. نتایج پژوهش یاد شده نشان داد که مهندسان ایرانی ضمن شناخت کامل از وضعیت توپوگرافیک، منابع آب زیرزمینی و موقعیت جغرافیایی محل، با اندازه‌گیری دقیق شیب زمین، اقدام به احداث آبراهه جهت انتقال آب به مراکز اقامتی بین راهی نموده‌اند. در این زمینه دو تکنیک ایجاد کانال سنگی جهت انتقال آب از چشمه‌ای در هفت کیلومتری کاروانسرای عین‌الرشید، احداث شبکه انتقال آب قنات اریکا به وسیله تنبوشه سفالی و انتقال آن به طول ۱۵ کیلومتر به مجموعه بناهای اقامتی نوگنبد، شاهد کوچکی از تلاش مهندسان ایرانی در فناوری‌های استحصال، انتقال، ذخیره و توزیع آب است که اولی در اواخر دوره تیموری و اوایل دوره صفوی و دومی در دوره مغول و به دستور وزرای ایرانی آن‌ها احداث می‌گردد و حداقل تا اواخر دوره قاجار از آن استفاده می‌شده است (اسمعیلی جلودار و صفی‌نژاد، ۱۳۸۸). به‌طورکلی پژوهش‌هایی که در زمینه بررسی سیستم‌های انتقال آب انجام گرفته کمتر از دیدگاه علوم و مهندسی آب بوده و در نتیجه تحلیل این‌گونه سازه‌ها و نحوه کارکرد آنها، آن‌چنان که باید به نحوی شایسته انجام نگرفته است. این پژوهش بر آن است تا با استفاده از یافته‌های باستان‌شناسی، علوم و مهندسی آب و تحلیل‌های کارکردی آنها به بررسی این‌گونه سازه‌ها بپردازد.

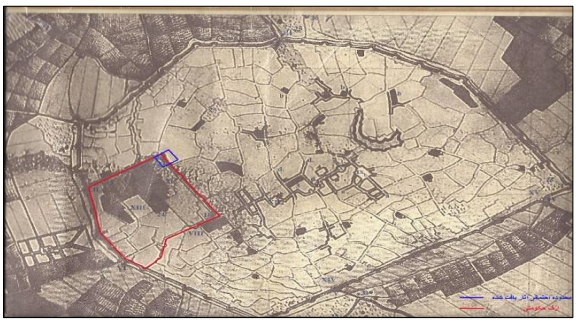
سؤالات پژوهش

مهمترین سؤالات قابل طرح در مورد سیستم نویافته بروجرد عبارتند از: ۱ـ هدف اصلی از ایجاد این سازه، آبرسانی به کدام بخش از بافت تاریخی شهر بروجرد است؟ ۲ـ گلدان‌های بین لوله‌های سفالی چه نقشی در سیستم آبرسانی مکشوفه دارند؟

سیستم آبرسانی نویافته در بافت تاریخی شهر بروجرد

بروجرد از شهرهای قدیمی دوران اسلامی‌ست که حداقل از قرن سوم هـ‌ق مرکزیت شهری داشته است (ابن حوقل، ۱۳۶۶: ۳۶۶). این شهر در زمان زندیه گسترش یافت و در دوره قاجار به اوج رونق خود رسید. شهر بروجرد متشکل از دو بخش بوده است: ارگ و خود شهر که به‌صورت ارگانیک به‌وجود آمده بود. این دو بخش از نظر طراحی شهری و عملکردی مکمل یکدیگرند. ارگ، بخش غربی شهر را از خیابان خرم، خیابان حافظ تا خیابان سعدی نزدیک میدان رازان در بر گرفته است. محدوده ارگ وسیع (۴۳۰ × ۴۳۰ متر) و از سه جهت، به واسطه محله‌های مسکونی با ابعاد و هیئت مختلف محصور شده است. این محدوده شامل محله یخچال واقع در خیابان شهداء کنونی، محله باغ شاه و محله غدغون است. در مرکز ارگ میدان نظامی واقع می‌شده که اطراف آن توپخانه، عسکرخانه (سربازخانه)، انبار باروت، کوشک محمدخان و سلسله

باغ‌ها (باغ‌شاه یا خلد برین) قرار داشته است. این محدوده نصف محدوده ارگ را اشغال نموده است. استحکامات مذکور از طریق دروازه ارگ به شهر و به وسیله دروازه سوزنی در مسیر جاده کاروان‌رو به خرم-آباد و به خارج از شهر مرتبط بوده است. محله‌ها با مراکز کوچک خود به تدریج در اطراف ارگ بنا شده‌اند. با این حال محله‌ها از یک نظام مشخص و از مسیر خیابان‌ها تبعیت نکرده‌اند؛ بلکه مردم خانه‌های خود را به نحو متقاعدکننده‌ای در ارتباط با مرکز شهر بنا نمودند؛ در نتیجه یک نظام طراحی خاصی شکل پذیرفته که از نظر عملکردی صحیح است (همان).در حین گودبرداری از قطعه زمینی واقع در خیابان حافظ جنوبی، مقابل اداره ثبت اسناد، سیستم آبرسانی قابل توجهی در دیواره جنوبی آن نمایان شد. محدوده مورد نظر، درون ارگ حکومتی و یا در مجاورت دیوار آن، بیرون از محدوده بوده است (شکل ۱). سیستم نمایان شده از عمق متوسط ۸۰ سانتیمتری از سطح معبر فعلی شروع می-شود. در این سیستم چهار عدد ظرف بزرگ سفالی نمایان شده است که به‌وسیله تنبوشه‌ها با هم مرتبط هستند (شکل ۲ الف). این سیستم از بالا به پایین شامل یک لوله بزرگ سفالی به عرض دهانه ۴۰ سانتیمتر است که با شیبی به طرف جنوب، امتداد آن در طرف دیگر دیواره شمالی زمین خاکبرداری شده، قابل مشاهده است (شکل ۲ ب). این لوله احتمالاً جهت انتقال آب از بخش شمالی شهر به طرف جنوب بوده است.



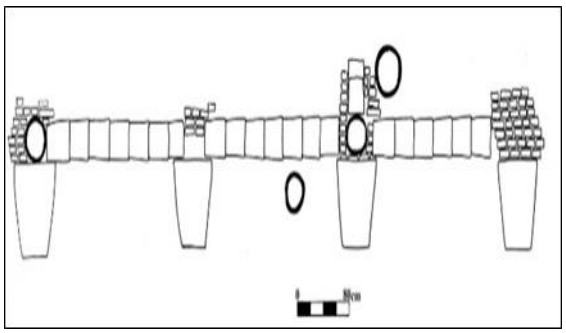
شکل(۱): محدوده شهر بروجرد و ارگ حکومتی آن در دوره قاجار و نمایش سیستم آبرسانی مکشوفه بر روی آن (مهریار و دیگران، ۱۳۷۸: ۶۷).

شکل (۲) الف. نمای کلی از سیستم انتقال آب، ب. لوله سفالی انتقال آب (نگارندگان، ۱۳۹۶)

پایین‌تر از لوله بزرگ سفالی، ساختاری متشکل از تنبوشه‌های سفالی‌ست که در چند مرحله تغییراتی در آن ایجاد شده است. ساختار اصلی از عمق متوسط ۱/۲۵ متری شروع می‌شود و تا عمق ۲/۴۰ متری از سطح معبر ادامه دارد. این لوله‌های سفالی که شیب آن از طرف غرب به شرق است به چند قسمت تقسیم

می‌شوند؛ هر قسمت عبارتند از چند تنبوشه سفالی (بین ۶ تا ۷ عدد) که درون هم جای گرفته‌اند و به هم متصل شده‌اند و انتهای آنها به یک ظرف بزرگ سفالی گلدان‌مانند که به آن «بولونی» گفته شده، ختم می‌شود. بالای سطح هر ظرف بزرگ با ردیف‌هایی از آجر دورچینی شده است که در سمت غرب و جنوب ساختار فعلی امتداد دارد. احتمالاً بخش اصلی سیستم مورد اشاره، در این جهات است

شکل (۳): کوزه‌های پر شده با مواد حاصل از ته نشست (نگارندگان، ۱۳۹۶)



شکل(۴):. برش عمودی سیستم آبرسانی مکشوفه از بافت تاریخی بروجرد (نگارندگان، ۱۳۹۶)

پیچیدگی سیستم آبرسانی یاد شده ناشی از تغییر کاربرد لوله‌ها در مرحله ثانویه بوده است؛ به طوری که بعضی قسمت‌ها با لوله‌های جدید مسدود و یا با گلدان‌های بزرگ، عمدی پر شده‌اند. پیرامون تمامی تنبوشه‌های سفالی ملاتی تیره به ضخامت ۱۵ تا ۲۰ سانتیمتر به منظور پر کردن درزهایی بین تنبوشه‌ها و نیز جهت جلوگیری از جدا شدن شیرازه تنبوشه‌ها به علت فشار آب پوشانده شده است. دانه‌بندی این ملات سخت نشان می‌دهد که ساختاری متشکل از آهک، خاک رس و ماسه دارد. درون تمامی لوله‌ها انباشتی از گل و لای به ضخامت ۵ سانتیمتر رسوب نموده و تمامی سطح داخلی گلدان‌های بزرگ با همین ته‌نشست پر شده (شکل ۳) که نمای کلی آثار کشف شده در قالب برش عمودی (شکل ۴) قابل مشاهده است. امروزه تعیین دقیق محل مظهر آب بدون انجام کاوش‌های باستان‌شناسی امکان‌پذیر نیست؛ با این حال اعتمادالسلطنه به‌همراه ناصرالدین‌شاه در سال ۱۳۰۹هـ‌ق به بروجرد سفر می‌کند و از رشته قناتی در شمال شهر یاد می‌کند که توسط حاج غلامعلی نامی وقف امامزاده جعفر شده است. ظاهراً این قنات منشأ

آب شرب و مصرفی مردمان شهر بروجرد در دوره قاجار بوده است (اعتمادالسلطنه، ۱۳۷۸: ۲۳۶ـ۲۴۲).

مواد و روش‌ها

بسیاری از فرمول‌هایی که در طراحی سیستم‌های آبی به کار برده می‌شود از روی داده‌های تجربی و اندازه‌گیری‌های صحرایی به دست آمده‌اند. از جمله اندازه‌گیری‌هایی که تحت عنوان آب‌سنجی یا هیدرومتری صورت گرفته و در تحلیل‌های هیدرولوژیکی از نتایج آن‌ها استفاده می‌شود عبارتند از:

۱ـ اندازه‌گیری دبی آب (مقدار جریان)

۲ـ اندازه‌گیری سرعت آب

محاسبه دبی متوسط در یک جریان به روش‌های مختلف مانند روش سرعت ـ سطح مقطع و روش مانینگ امکان‌پذیر است. انتخاب روش به شرایط محل، دقت مورد نیاز در اندازه‌گیری و در اختیار بودن امکانات بستگی دارد (علیزاده، ۱۳۸۷: ۵۵۸). روش سنتی اندازه‌گیری مقدار جریان، واحد سنگ است. یک سنگ آب در واقع، عبارت است از مقدار آبی که از دهانه‌ای به ابعاد ۲۰×۲۰ سانتیمتر برابر با ۴۰۰ سانتیمتر مربع در زمینی بدون شیب و آرام که هر دقیقه به طول ۱۵ قدم حرکت نماید. برای این اندازه‌گیری، محلّ بدون شیب و مناسبی را نزدیک محل مظهر قنات یا چشمه انتخاب نموده و حدود ۱۰۰ متر آن را لایروبی و آماده کرده و حجم آب را در نقطه آجرچین شده در نظر گرفته و از آن نقطه، ۱۵ قدم بلند (هر قدم یک متر) در طول خلاف مسیر آب دور شده علامت‌گذاری می‌کنند؛ آن گاه کمی کاه یا گل و یا سبزه بسیار سبک که در آب غوطه‌ور نشود می‌ریزند؛ با ساعت، زمان آغاز حرکت را در نظر گرفته پس از یک دقیقه (۶۰ ثانیه) نقطه‌ای را که کاه یا سبزه بدانجا رسیده بود، علامت‌گذاری می‌کنند. اگر کمتر از ۱۵ قدم بود، آب، کمتر از یک سنگ و گرنه بیش از یک سنگ محاسبه می‌شود (صفی‌نژاد، ۱۳۵۹: ۶۷).

با تعریف فوق، محاسبه یک سنگ عبارتست از: (اسمعیلی جلودار و صفی‌زاده، ۱۳۸۸: ۶).

$$\frac{20\ cm*20cm*100cm*15}{60s}=10000cm$$

محاسبه به روش واحد سنگ در واقع همان محاسبه دبی به روش سرعت ـ سطح مقطع است که به طریق زیر محاسبه می‌شود: (علیزاده، ۱۳۸۷: ۵۵۸)

$$Q=Vm*A$$

در این رابطه، Q دبی جریان بر حسب مترمکعب بر ثانیه است. Vm و A به ترتیب سرعت متوسط جریان بر حسب متر بر ثانیه و سطح مقطع جریان بر حسب متر مربع است.

در این روش سرعت به روش جسم شناور اندازه گیری می‌گردد. این روش ساده‌ترین روش اندازه‌گیری سرعت است. فاصله زمانی که جسم شناور بین دو نقطه از مسیر طی می‌کند (T) اندازه گیری می‌شود. اگر (L) فاصله بین دو نقطه باشد سرعت سطحی آب (VS) عبارت است از:

$$Vs=\frac{L}{T}$$

$$Vs=\frac{1500}{60}=25cm/s$$

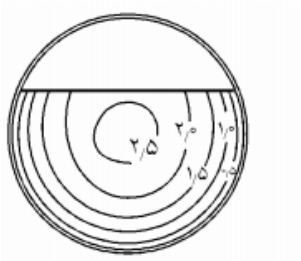
تجربه نشان داده که بین سرعت متوسط آب در یک مقطع (Vm) و سرعت سطحی (VS) یک رابطه خطی به صورت زیر وجود دارد.

$$V_m=K*V_S$$

ضریب K بستگی به عمق آب داشته و معمولا ۰/۸ در نظر گرفته می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۷: ۵۵۹). بنابر این سرعت متوسط در این روش عبارت است از:

$$V_m= 0.8 * 25= 20\ Cm/s$$

چگونگی توزیع سرعت در یک مقطع از لوله در شکل ۵ نشان داده شده است (شکل۵).



شکل (۵): منحنی هم سرعت در مقطع لوله (نجمایی، ۱۳۷۲: ۲۸).

در رابطه (واحد سنگ) اگر مقدار سرعت متوسط جریان در تنبوشه را برای زمین بدون شیب و مسطح برابر با ۲۰ سانتیمتر در ثانیه در نظر گرفته شود، این مقدار برای زمین‌هایی که مقداری شیب دارند بیش از مقدار محاسبه شده خواهد بود و دبی جریان عبوری افزایش خواهد یافت. از طرفی به منظور جلوگیری از رسوب‌گذاری در لوله‌ها و تغییر شرایط کیفی آب از جمله بو و مزه، حداقل سرعت آب در خطوط انتقال آب شرب تحت فشار باید بیش از ۰/۳ متر بر ثانیه باشد (معاونت برنامه‌ریزی راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۲: ۳۶). از طرفی اگر تنبوشه‌های سفالی به‌عنوان یک کانال پوشش داده شده (غیر فرسایشی) در نظر گرفته شود حداقل سرعت مجاز می‌بایست به گونه‌ای تأمین شود تا مواد معلقی که همراه آب وجود دارند در کانال ته‌نشین نشوند. همچنین این سرعت اجازه ندهد جلبک‌ها و گیاهان آبزی مشابه در کانال استقرار یافته و رشد نمایند. رسوب سیلت و مواد معلق در کانال و یا رشد جلبک‌ها باعث می‌شود که کانال از نظر سطح مقطع تغییر شکل بدهد و جریان از حالت یکنواخت خارج شود. به‌علت اهمیت این موضوع، کانال‌های غیر فرسایش را بر مبنای حداقل سرعت مجاز طراحی می‌کنند. تجربه نشان داده که حداقل سرعت در کانال‌های غیر فرسایشی حدود ۰/۷۵ تا ۱ متر در ثانیه است (نجمایی، ۱۳۷۲: ۱۵۴). ما کمترین مقدار را (۰/۷۵ متر در ثانیه) در محاسبات لحاظ می‌کنیم. با رعایت ضوابط مربوطه، حجم جریان آب جاری در تنبوشه‌های با مقطع دایره‌ای (۳۸ سانتی متر طول و ۳۳ سانتی متر عرض) که در جهت شرق ـ به غرب سیستم انتقال آب توسعه یافته‌اند عبارت است از:

$A=16.5*16.5*3.14=854.86\ cm2$
$V=75\ Cm/s$
$Q=854.86*75=64114/1000=64\ Litr/sec$

اگر لوله بزرگ سفالی به عرض دهنه ۴۰سانتیمتر را که در جهت شمالی- جنوبی توسعه یافته است در نظر بگیرم حجم جریان آب جاری در لوله عبارت است از:

$Q=(20*20*3.14*75)/1000=94\ Litr/sec$

محاسبه دبی جریان آب در سیستم آبرسانی مشکوفه (با استفاده از رابطه مانینگ)

معادله‌های تجربی که در طراحی کانال‌ها استفاده می‌شود مانند معادله مانینینگ می‌بایست در ارتباط با توازن بین نیروهای ثقلی که آب را به جلو حرکت می‌دهد و نیروهای مقاومت بدنه کانال (که باعث کندی حرکت آب می‌شود) باشد. کاراترین کانال از نظر انتقال آب کانالی است که به ازای سطح مقطع مشخص کوچک‌ترین محیط خیس شده را داشته باشد. در هر شکل هندسی کاراترین کانالی که بتواند مقدار بیشتری آب را از خود عبور دهد بهترین مقطع هیدرولیکی گفته می‌شود. در بین مقاطع نیم‌دایره و دایره بهترین مقطع هیدرولیکی است که در طراحی سازه مورد نظر بهترین مقطع دایره در نظر گرفته شده است. دانش فنی طراحان سیستم در انتخاب هوشمندانه این نوع سطح مقطع، از برجستگی‌های این طرح است. مانینینگ در سال ۱۸۸۹ برای محاسبه سرعت و دبی جریان معادله ساده و دقیقی را ارائه نمود (نجمایی، ۱۳۷۲: ۲۶) که به صورت فرمول زیر بیان می‌شود:

$$V=\frac{1}{n}*R^{\frac{2}{3}}*S_f^{1/2}$$

V سرعت متوسط جریان است.

R شعاع هیدرولیکی در حالتیکه سطح مقطع پر باشد ($\theta=2\pi$)از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$R=\frac{A}{P}=\frac{1}{4}\left(1-\frac{Sin\theta}{\theta}\right)*d0=\frac{r}{2}$$

A سطح مقطع جریان و P محیط خیس شده کانال در حالی که سطح مقطع پر باشد ($\theta=2\pi$) از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$A=\frac{1}{8}(\theta-Sin\theta)*d0^2=\pi r^2.$$

$$P=\frac{1}{2}\theta*d0=2\pi r.....$$

$S_f=S_0$ شیب خط انرژی است که در سیستم مورد نظر برابر شیب زمین (۰/۰۰۶) در نظر گرفته شده است.

n ضریب مانینینگ و عامل زبری بستر کانال است که برای تنبوشه‌های سفالی، ۰/۰۱۳ در نظر گرفته می‌شود ولی به علت اینکه لوله‌های سفالی به هم متصل شده‌اند و خط لوله صاف نیست این مقدار را برابر ۰/۰۱۵ در نظر می‌گیریم. با توجه به به مقادیر بالا دبی جریان در لوله با قطر ۳۳ سانتیمتر با استفاده از رابطه مانینینگ به شکل زیر محاسبه می‌شود: (نجمایی، ۱۳۷۲: ۲۶)

V=1/0.015*((3.14*0.165*0.165)/
(2*3.14*0.165))^2/3*0.006^1/2=0.83m/s
A=0.08

$$Q=\frac{1}{n}*\left(\frac{A^{\frac{5}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}}\right)*S_f^{\frac{1}{2}}$$

Q =0.066 m^3/s=66 Litr/sec

سرعت و دبی جریان برای لوله‌ای با قطر ۴۰ سانتی متر برابر است با:

V=1/0.015*((3.14*0.20*0.20)/
(2*3.14*0.20))^2/3*0.006^1/2=0.97m/s
A=0.12

$$Q=\frac{1}{n}*\left(\frac{A^{\frac{5}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}}\right)*S_f^{\frac{1}{2}} \quad =0.116/1000 \quad m^3/s=116$$

Litr/sec

نتایج و بحث

سرانه آب مورد نیاز بافت قدیم شهر بروجرد با جمعیت ۴۰ هزار نفر از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

۱- انتخاب مصرف سرانه خانگی در پایان دوره طرح از جدول (۱) ۱۳۰ لیتر بر شبانه روز برای هر نفر.

مقادیر مصرف سرانه خانگی (معاونت برنامه‌ریزی راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۲: ۲۰):

جدول (۱):. مقدار مصرف سرانه خانگی (بدون فضای سبز و دام و طیور) بر حسب جمعیت (همان)

Per capita consumption (liters per person per day)	Population (thousand)
90-75	villages
110-75	cities less than 20
130-100	100-20
140-120	500-100
150-130	>500

۲- محاسبه حداکثر مصرف روزانه آب:

(130*40000)/24=125000/3600=60 Litr/sec

با توجه به محاسبات حجم تأمین آب (۶۴ و ۶۶ لیتر بر ثانیه با استفاده از روابط سرعت ـ سطح مقطع و مانینگ برای خط لوله شرقی- غربی و ۹۴ و ۱۱۶ لیتر بر ثانیه برای خط لوله شمالی- جنوبی) می‌توان دریافت که این سیستم قادر بوده نیازهای شرب و خانگی جمعیت ۴۰ هزار نفری شهر را که بالغ بر ۶۰ لیتر در ثانیه بوده را تامین نماید و این مقدار آب، مازاد بر نیازهای ارگ حکومتی بوده است.

در گذشته به منظور انتقال آب از عناصر طبیعی به شکل گسترده استفاده می‌شد. ساده‌ترین و کارآمدترین ابزار انتقال آب استفاده از تنبوشه‌های سفالی بوده است. طبق گفته کرجی تنبوشه را به دو سبب در مجرای آب نصب می‌کردند؛ یا آن که نقب حفر شده آب را فرو می‌برد، یا برای جلوگیری از نفوذ پلیدی‌ها در آب است، هنگامی که آب بر سطح زمین در نقب‌های کم ژرفا جریان دارد و از میان آبادی عبور می‌کرد. شکل تنبوشه به جهت انتقال آب باید چنان باشد که یکی از دو سرش از سر دیگر فراخ‌تر باشد تا در هنگام نصب سر تنگ به اندازه دو انگشت در داخل سر گشاد جای گیرد. طول تنبوشه بایستی چهار برابر قطر دایره سر فراخ آن باشد. هر چه تنبوشه بلندتر باشد نشانه آن است که چسبندگی خاکش بیشتر بوده و دوامش افزونتر است.

ضخامت سفال سر تنگ تنبوشه باید کمتر از سر فراخ آن باشد. تنبوشه باید راست باشد و از گل شیرین بدون شن تهیه شده و به‌خوبی پخته شده باشد. گل خالصی که ریگ و شن آن به‌وسیله آب گرفته شده باشد تنبوشه‌اش بادوام‌تر است (کرجی، ۱۳۷۳: ۳۴). اولین تنبوشه را در محل نقب باید طوری قرار دهند که آب از دهانه فراخ آن وارد شود و از دهانه تنگش خارج شود. سر تنگ تنبوشه را تا اندازه دو انگشت با خمیر آهک باید آهک‌اندود کنند و سپس آن را در جوف سرگشاد تنبوشه قبلی جای دهند و محل اتصال را با همان خمیر آهک محکم کنند. همچنین باید در فاصله هر صد ذراع (معادل ۱۰۴ متر) در داخل این تنبوشه‌ها هواکشی باقی گذارند تا از تراکم باد و هوا و درهم شکستن تنبوشه‌ها جلوگیری شود. هرگاه نصب تنبوشه به شیوه فوق پایان پذیرفت، سه روز یا بیشتر، تنبوشته‌ها را در آن محل به حال خود می‌گذارند و سپس به آرامی آب در آن می‌اندازند. اگر داخل تنبوشه را پیش از نصب با پیه مذاب و یا روغن رومالی کنند، دوام تنبوشه در نگهداری آن بیشتر خواهد بود. بنابراین هرگاه تنبوشه را به شیوه‌ای که گفته شد در جایش استوار کنند، باید اطراف آن‌را با گل رس پر کنند تا در قسمت‌های زیرینش محل خالی باقی نماند (کوروس، ۱۳۵۵). با توجه به مطالب یاد شده تفسیر فنی مطالب کرجی (کرجی، ۱۳۷۳) درباره نصب تنبوشه در موارد زیر خلاصه می‌شود:

۱. لوله‌های قدیمی از تنبوشه تشکیل می‌شده است. بین قطر داخلی تنبوشه و طول آن نسبت ۱:۴ پیشنهاد شود؛ به این معنی که برای دهانه ۲۰ سانتی‌متر، طول تنبوشه ۸۰ سانتی‌متر مناسب است.

۲. تسطیح کف لوله‌گذاری و طرز نصب تنبوشه‌ها به یکدیگر کاملاً منطقی است.

۳. تعبیه حوضچه هواکش در هر صد زراع (۵۰ متر) و علت ترکیدن لوله‌ها در اثر جمع شدن باد و هوا موضوعی است که امروزه ما به آن ضربه قوچ می‌گوییم. علت در هم شکستن اغلب لوله‌های آب، وجود هوا و عدم هواگیری در نقاط مرتفع بوسیله شیرهای هواگیر و حرکت هوا در لوله هنگام پر کردن آن با آب است.

۴. برای آنکه تنبوشه‌ها در مقابل نفوذ آب به خارج آببندی شوند، پیشنهاد کرجی این است که درون لوله‌ها با پیه مذاب یا روغن آغشته شود. امروزه درون لوله‌ها را برای جلوگیری از زنگ‌زدگی با قیر و یا ورقه‌ای از سیمان آغشته می‌کنند.

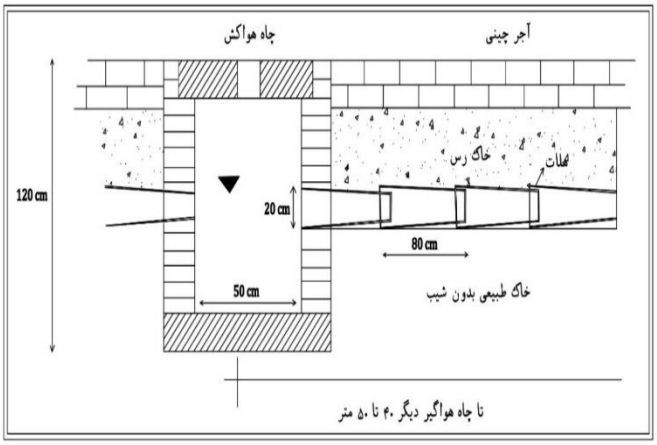
مواد و مصالح تشکیل‌دهنده تنبوشه، خاک رس است که با مرغوبیت بیشتر و با چرخ سفالگری به شکل نیمه مخروط و یا شبه استوانه به ابعاد مختلف ساخته می‌شود. سه نوع تنبوشه موش‌رو، گربه‌رو و شغال‌رو وجود دارد.

با توجه به مطالب یاد شده، در تنبوشه‌های یافت شده در بافت تاریخی بروجرد، فاصله بین کوزه‌ها کمتر از ۵۰ متر و نسبت قطر تنبوشه به طول آن کمتر از نسبت ۱:۴ است. البته به نظر می‌رسد طول و نسبتی که کرجی برای تنبوشه‌ها بیان نموده با توجه به جنس خاک منطقه، عمق قرارگیری تنبوشه‌ها و جنس و خلوص خاکی که تنبوشه‌ها از آن ساخته می‌شوند، در مکان‌های مختلف متفاوت باشد. به گونه‌ای که در سازه کشف شده نسبت طول به قطر تنبوشه‌ها کمتر ۱:۴ است (طول تنبوشه ۳۴ و قطر آن ۳۱ سانتیمتر). دلایل این کاهش نسبتی را می‌توان با جنس خاکی که تنبوشه‌ها با آن ساخته شده‌اند و استحکام کافی ندارند مرتبط دانست و یا اینکه میزان باری که بر روی تنبوشه-ها قرار دارد زیاد بوده و با تغییر این نسبت سعی شده از شکستن تنبوشه‌ها جلوگیری شود.

جنس ملات به کار رفته به منظور اتصال و آب‌بندی تنبوشه‌ها، ملات ماسه آهک است. ماسه آهک بهترین ملات برای ساختن دیوارهای سنگی و آجری در بناهای آبی است. در ساختن این ملات ابتدا ماسه شسته تمیز که دانه‌بندی آن به اندازه عدس است را انتخاب می‌کردند، سپس گَرد آهک را به صورت خمیر در آوردند. به خمیر آهک به صورت تدریجی ماسه شسته اضافه می‌کردند سپس به خمیر حاصل مدت هفت روز

صبح و شب آب می‌دادند. این ملات به مراتب محکم‌تر از سیمان امروزی بود. ماسه آهک برای دیوارهای مجاور آب کاربرد دارد. جهت چسبندگی بیشتر به این ملات کمی خاک رس اضافه می‌کردند.

با توجه به نحوه قرارگیری کوزه‌ها در سازه کشف شده و مشابهت آن با شیوه طراحی چاه هواکش (شکل ۶) و نیز با در نظر گرفتن تفاوت ظاهری بین هر دو نوع سازه که ناشی از ارتباط و عدم ارتباط هر کدام از آن‌ها با سطح زمین است، از کوزه به عنوان هواگیر در سیستم انتقال آب استفاده شده است. در این سازه فاصله بین کوزه‌ها کمتر از ۵۰ متر در نظر گرفته شده است که وابسته به نوع و ظرفیت هواکش، میزان تراکم باد و هوای موجود در سیستم انتقال آب، حساسیت سازه به شدت و تعداد ضربات قوچی در طول مسیر انتقال آب می‌باشد.



شکل(۶). طرز نصب تنبوشه‌های سفالی و چاه هواکش (کورس، ۱۳۵۵: ۱۳۲؛ بازترسیم نگارندگان، ۱۳۹۸)

علاوه بر آن فاصله نزدیک کوزه‌های سفالی از همدیگر و خطوط انشعاب یافته از آن‌ها موجب شده تا این کوزه‌ها کاربردهای دیگری به‌عنوان مقسم آب داشته باشند.

از دیگر کاربردهایی که برای ظرف‌های سفالی بزرگ در مسیر تنبوشه‌ها می‌توان در نظر گرفت، گرفتن بخشی از گل ولای و شن و ماسه‌های معلق در آب است که آب وارده شده به آنها را پاک‌تر و قابل استفاده‌تر نموده است. در گذشته پس از عبور آب از تنبوشه‌ها و برای رسیدن آب به فواره حوض در زیر فواره یک بولونی (خمره سفالی) کار می‌گذاشتند که به آن لجن‌گیر نیز می‌گفتند. این عمل باعث می‌شد همه رسوبات در داخل بولونی رسوب کند و در مجرای فواره آشغال، گیر نکند و راه آن بسته نشود (فرشته‌نژاد، ۱۳۸۹: ۱۵۷). بنابراین در گذشته در طراحی سازه‌های آبی، کوزه و سازه‌های مشابه آن (چاه هواکش) کاربرد گسترده‌ای (مانند مقسم آب، لجن‌گیر و هواگیری مسیر جریان) داشته است.

نتیجه‌گیری

شواهد باستان‌شناسی نشان از آن دارد که گذشتگان و مهندسان ایرانی ضمن شناخت کامل از وضعیت توپوگرافی، منابع آبهای زیرزمینی و موقعیت جغرافیایی محل با اندازه‌گیری دقیق شیب زمین، اقدام به احداث آبراهه جهت انتقال آب به مراکز اقامتی شامل اماکن نظامی و مناطق مسکونی نموده‌اند. سیستم انتقال آب کشف شده در شهر بروجرد از این اصل مستثنی نیست. توسعه این سیستم در راستای غربی ـ شرقی و شمالی ـ جنوبی و برآورد حجم انتقال آب این سیستم و همچنین برآورد سرانه آب جمعیت شهر بروجرد (۴۰ هزار نفر) در دوره قاجار با توجه به استانداردهای امروز، به خوبی نشان می‌دهد که این سیستم علاوه بر تأمین نیاز ارگ حکومتی، قادر بوده پاسخگوی مصارف شهری نیز باشد. همچنین با مطالعه نحوه قرارگیری کوزه (بولونی) در سازه کشف شده و مشابهت آن با شیوه طراحی چاه هواکش و تفاوت ظاهری بین هر دو نوع سازه که ناشی از ارتباط و عدم ارتباط هر کدام از آن‌ها با سطح زمین می‌باشد، از کوزه (بولونی) به‌عنوان هواگیر در سیستم انتقال آب استفاده شده است. اما با توجه به خطوط انشعاب یافته از کوزه‌ها می‌توان استنباط نمود که این کوزه‌ها به عنوان مقسم آب نیز می‌توانستند کاربرد داشته باشند. گرفتن بخشی از گل و لای و شن

و ماسه‌های معلق در جریان عبوری از لوله‌های سفالی
از دیگر کاربردهای کوزه‌های سفالی (بولونی) است.

سپاسگزاری

نگارندگان از سازمان میراث فرهنگی و صنایع دستی و گردشگری استان لرستان به‌خاطر در اختیار قرار دادن برخی مستندات و اطلاعات تاریخی نهایت تشکر و قدردانی را دارند

منابع

ابن حوقل، محمد. ۱۳۶۶، سفرنامه ابن حوقل: ایران در صوره‌الارض، ترجمه جعفر شعار، تهران: امیرکبیر.

احمدی، رضا .۱۳۸۴. «تاریخچه، ساختار، جایگاه، نقش و اهمیت قنات در ایران»، مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین‌المللی قنات در کرمان، جلد ۱، کرمان: مرکز کرمان‌شناسی.

اسمعیلی جلودار، محمد اسماعیل، صفی نژاد، جواد. ۱۳۸۸. «پیشنهادی در چگونگی طرّاحی (مهندسی) شبکهٔ تأمین آب در کاروانسرای کویری نوگنبد بر پایهٔ نتایج به دست آمده از بررسی باستان شناختی منطقهٔ نوگنبد ـ ارکان در نائین»، نشریه مطالعات باستان‌شناسی، شماره ۱، ۱-۲۰.

اعتمادالسلطنه، محمدحسن‌خان. ۱۳۷۸. روزنامه ایران، وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، تهران: مرکز مطالعات و تحقیقات رسانه‌ها.

بی‌نام. ۱۳۹۲. معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، ضوابط طراحی سامانه های انتقال و توزیع آب شهری و روستایی، بازنگری اول، نشریه شماره ۳-۱۱۷، وزارت نیرو: دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا.

دروویل، گاسپارد. ۱۳۸۷. سفرنامه دروویل، مترجم جواد محیی، تهران: انتشارات گوتنبرگ.

رضا، عنایتالله و کوروس، غلامرضا. ۱۳۵۰. آب و فن آبیاری در ایران باستان، تهران: وزارت آب و برق.

سمسار یزدی، علی اصغر. ۱۳۹۳. «مروری تاریخی بر قنوات و سازه‌های تاریخی آبی ایران از اولین هزاره قبل از میلاد»، فرهنگ مردم (ویژه نامه آب و قنات)، سال چهاردهم، (۵۱ و ۵۲)، ۵۹-۷۵

صفی‌نژاد، جواد. ۱۳۵۹. نظام‌های آبیاری سنّتی در ایران، جلد اول، تهران: مؤسسهٔ مطالعات و تحقیقات دانشکدهٔ علوم اجتماعی دانشگاه تهران.

علیزاده، امین. ۱۳۹۲. اصول هیدرولوژی کاربردی، مشهد: انتشارات دانشگاه امام رضا.

فخار تهرانی، فرهاد. ۱۳۷۹. «معماری و مصالح سنّتی در قنات ایران»، مجموعه مقالات همایش بین‌المللی قنات، صفحات ۱۸۶-۲۰۴.

فرشته نژاد، مرتضی. ۱۳۸۹. فرهنگ معماری و مرمت معماری، تهران: نشر ارکان دانش.

فلاندن، اوژن. ۱۳۵۹. سفرنامه اوژن فلاندن به ایران در سال‌های ۱۸۴۰ـ۱۸۴۱م.، ترجمه حسین نور صادقی، چاپ دوم، تهران: انتشارات اشراقی.

کرجی، ابوبکر محمد ابن الحسن. ۱۳۷۳. استخراج آب‌های پنهانی، جلد ۱، تهران: پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، کمیسیون ملی یونسکو.

کوروس، غلامرضا. ۱۳۵۵. فن آبیاری در ایران باستان، تهران: وزارت آب و برق.

گیرشمن، رومن. ۱۳۷۳. چغازنبیل، ج ۲، ترجمعه اصغر کریمی، تهران: انتشارات سازمان میراث فرهنگی کشور

مهریار، محمد، فتح‌الله، شامبل، فخارتهرانی، فرهاد و قدیری، بهرام. ۱۳۷۸. اسناد تصویری شهرهای ایرانی دوره قاجار، تهران: انتشارات دانشگاه شهید بهشتی و سازمان میراث فرهنگی کشور.

نجمایی، محمد. ۱۳۷۲. ضربه قوچ، تهران: انتشارات دانشگاه علم و صنعت

The Engineering Analysis a Newly Discovered Water Supply System in the Historical Context (Boroujerd City)

Seyed Yaghoub Krimi[1], Safar Maroufi [2*], Yadollah Heidari Babakamal[3], Ahmad Darvishi[4], Esmail Hemati Azandariyani [5] and Hojatolah Younesi[6]

Abstract

Due to construction activities in the Borujerd city of Lorestan province, a water supply system was discovered that there was no trace of it before. This water supply system consists of for potted vases that are interconnected through tree clay pipes (Each clay section consists of six or seven pieces of water pipe). However, so far no archaeological, scientific or hydrologic researches has been done about them. This study focuses on this issue. The most important questions about this newly found water supply system are (I) What is the main purpose for creating this water supply system in the historical context of Borujerd? (II) What role do the pots between clay pipes play in this water system? According to the presented questions, the authors in this research try to provide scientific answers using Field research, library studies and accurate calculations for these questions. The calculations made through the length of the clay pipe and the intervals of the pots indicates that this water supply system is different from the standards mentioned in the authentic historical sources in the field of water science. And suggests that after considering the regional conditions and in order to strengthen the structure and its stability, structural changes have been made to it. The results indicate that the vases embedded in the clay pipe have different applications and it is probable that it has been utilized for dividing the water current and the ventilation of the water supply system. Archaeological evidence suggests that this water supply system has been constructed to supply water to the government castles and for the public consumption purposes such as irrigation and municipal water supply which are related to the late Qajarian period.

Keywords: Borujerd city, Qajar Period, water supply system, Governmental Castel, Clay pipe.

[1] PhD Candidate of Water Engineering Department, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.

[2] *. Professor, of Water Engineering Department, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.

[3] Assistance Professor, Department of Archaeology, Faculty of Cultural Materials Conservation, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran. Email: y.heydari@tabriziau.ac.ir

[4] Freelance researcher

[5] Assistant Professor, Faculty of Art and Architecture, Bu Ali Sina University, Hamadan, Iran. E.hemati@bacu.ac.ir

[6] Associate Professor, Department of Water Engineering, Lorestan University, Iran. Yonesi.h@lu.ac.ir