مطالعهٔ کارکرد سازهٔ آبی حصار سوم محوطهٔ باستانی چغازنبیل با مطالعهٔ میدانی و مدل‌سازی هیدرولیکی- هیدرولوژیکی

صادق پرتانی*
وحید حیدری**

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۳/۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۵/۸

چکیده

محوطهٔ باستانی چغازنبیل به‌عنوان اولین میراث جهانی ثبت‌شده در ایران، دربرگیرندهٔ سه محوطهٔ هم‌مرکز اصلی با مرزهای حصار مرکزی، حصار میانی و حصار بیرونی است که بناهای شاخص مانند زیگورات، مجموعه کاخ‌ها و آرامگاه‌ها و تأسیسات شهری را در خود جای داده است. یکی از مهم‌ترین سازه‌های این محوطه، سازهٔ آبی حصار سوم می‌باشد که مشاهدات و مطالعات ژئوفیزیک این پژوهش، دو آنومالی مدفون دیگر را نیز با مصالح مشابه در نقاط دیگری از حصار سوم شناسایی کرده است. رومَن گیرشمن (۱۸۹۵ـ۱۹۷۹) باستان‌شناس و حفار مجموعه، اعتقاد داشت که آب انتقال‌یافته از رودخانهٔ کرخه، در محل سازهٔ آبی تصفیه شده و مورد استفادهٔ ساکنان شهر قرار می‌گرفته است؛ لیکن مرتفع بودن محوطهٔ باستانی نسبت‌به نقاط اطراف و عدم حضور شواهدی مبنی بر کانال انتقال آب از کرخه به‌سمت حصار سوم در نقطهٔ سازهٔ آبی، سؤال اصلی این پژوهش را مبنی بر نوع و مکانیسم عملکرد سازهٔ آبی موردمطالعه ایجاد می‌کند. دیدگاه عملکرد دفعی سازهٔ آبی موجود با عنایت به نتایج بررسی‌های اخیر نیز به‌عنوان یکی از فرضیه‌های اصلی از دیدگاه مهندسی آب در این پژوهش، موردمطالعهٔ دقیق قرار می‌گیرد. این پژوهش با مطالعات میدانی زمین‌شناسی زهکش‌های طبیعی و بررسی وضعیت تخلیهٔ رواناب و زهاب شهری، مطالعات بیولوژیکی و محیط‌زیستی آغاز شد. مطالعات دقیق ژئوفیزیک حصار سوم برای شناسایی احتمال وجود سازه‌های مشابه و اسکن لیزر سازهٔ آبی موجود برای تشخیص هندسهٔ دقیق مجاری داخلی سازه انجام شد. باتوجه‌به میزان توان تولید هیدرولوژیکی رواناب در زیرحوزه‌های منتهی به سازه‌های آبی موجود و تطبیق آن با ظرفیت گذردهی هیدرولیکی، وضعیت توپوگرافی و زمین‌شناسی و همچنین پلان قرارگیری سایر آنومالی‌های سازهٔ آبی در قسمت‌های دیگر حصار سوم، می‌توان عملکرد زهکشی رواناب و زهاب شهری زیرحوزه‌های محوطه را از دیدگاه مهندسی آب و هیدرولیک، تأیید و تصدیق نمود.

کلیدواژه‌ها:

چغازنبیل، رواناب، سازهٔ آبی، عملکرد، زهکشی، آب‌انبار، دفع آب.

* استادیار دانشکده فنی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران‌مرکزی، s_partani@ut.ac.ir
** مربی دانشکده هنر، دانشگاه سمنان

پرسش‌های پژوهش

۱. عملکرد سازۀ آبی حصار سوم دفع آب بوده است یا انتقال آب به داخل محوطه یا انباشت و ذخیرۀ آب؟
۲. آیا توان هیدرولیکی سازۀ آبی موجود با ظرفیت تولید رواناب زیرحوزه‌های منتهی به آن تناظر دارد؟
۳. شواهد و نتایج بررسی‌های زمین‌شناسی و ژئوفیزیک و مدل‌سازی هیدرولیکی و هیدرولوژیکی زیرحوزه‌ها با کدام‌یک از فرضیه‌های مورد بررسی تطبیق دارد؟

مقدمه

مطالعات درزمینۀ تاریخ فناوری از این باب مهم است که می‌تواند نقش تمدن‌های گوناگون در ارتقای شیوه‌های زیستی بشر را در طی تاریخ نشان دهد. همچنین این موضوع به شناخت صحیح آثار تاریخی کمک کرده و زمینۀ حفاظت و معرفی بهتر آن را فراهم می‌آورد. تاریخ فناوری‌های آبی یکی از این موضوعات است و ازجمله رویکردهای مرتبط با آن، بررسی‌های انجام‌یافته روی سازه‌های استحصال آب مانند سد، بند، چاه، قنات،آب انبار، نهرهای مصنوعی و سیستم‌های تصفیۀ آب، یا سازه‌های دفعی و انتقالی همچون زهکش، کانال‌های دفع پساب، آبراهه و مسیل‌های انحرافی است. همچنین فناوری‌هایی که با انرژی جنبشی آب کار می‌کنند؛ مانند آسیاب، توربین و شناورها و در آخر، مواردی که از تقابل با آب حاصل می‌شوند؛ مانند پُل، آبگذر (آبارِه) و یا خندق‌ها که از آب به‌عنوان سَد دفاعی بهره می‌بردند.

موضوع آب در شهر باستانی دور اونتاش نیز ابعاد مختلفی دارد و تحقیق دربارۀ آن از زمان اولین بررسی‌های باستان‌شناسی مجموعه در دهۀ ۳۰ خورشیدی آغاز می‌شود. مهم‌ترین ساختارهای آبی شناخته‌شدۀ مجموعه عبارت‌اند از: ناودان‌ها (Mofidi NasrAbadi 2015)، چاه‌های جذبی و همچنین سازۀ آجری واقع در حصار سوم (ضلع غربی) محوطه که بررسی آن موضوع نوشتار پیش رو است. این تحقیق با هدف بررسی فرضیه‌های موجود درخصوص عملکرد سازۀ آبی حصار سوم، براساس مطالعات مهندسی آب و مدل‌سازی هیدرولیکی و هیدرولوژیکی با استفاده از مطالعات میدانی و نمونه‌برداری و روش‌های فنی در مهندسی آب انجام شده است.

پس از کاوش‌های گیرشمن (۱۹۵۴)، بررسی‌های باستان‌شناسی دیگری در محوطۀ چغازنبیل انجام گرفته که عمدتاً به شکل حفاری‌های محدود بوده و شناسایی‌ها با استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی و ژئومغناطیسی به انجام رسیده است (Mofidi NasrAbadi 2013).

شناخته‌شده‌ترین نظریه دربارۀ عملکرد سازۀ آبی حصار سوم چغازنبیل در مدارک حفاری رومَن گیرشمن، باستان‌شناس محوطه است که فرضیۀ تصفیه‌خانه را ذیل عنوان مخزن آب، در توجیه عملکرد سازه مطرح می‌سازد (گیرشمن ۱۳۷۳، ۸۵). دومین بررسی قابل‌توجه منسوب به بهزاد مفیدی نصرآبادی است. وی در حین بررسی سیستم دفع آب در محوطۀ حصار دوم، به موضوع سازۀ آبی واقع در حصار سوم پرداخته و فرضیۀ دفع آب از این محل را مطرح می‌سازد (مفیدی نصرآبادی ۱۳۷۸، ۲۴). این نظریات در مقالۀ پیش رو، با شواهد علمی و با رویکرد مهندسی آب و مدل‌های هیدرولیکی موردبحث قرار گرفته و تحلیل می‌شود.

به‌واسطۀ محدودیت کاوش‌های باستان‌شناسی در محوطه، به‌خصوص در سال‌های اخیر، امکان این نوع بررسی در تحقیق پیش رو نیز فراهم نشده است. اما پژوهش پیش رو برای رفع کمبودهای مذکور و دستیابی به سرنخ‌های جدید، روش‌های مکمل تشخیص همچون مستندسازی با استفاده از ابزارهای اسکن لیزری، باستان‌سنجی با استفاده از روش ژئومغناطیس و بررسی‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی را به‌کار برده است.

این پژوهش با قرار دادن دو نظریۀ اصلی پیشین درخصوص عملکرد سازۀ آبی حصار سوم به‌عنوان فرضیه، کوشش می‌کند تا از روش‌های فیزیکی و مطالعۀ میدانی دقیق و با کمک علوم مختلف تجربی مانند زمین‌شناسی، ژئوفیزیک

و مهندسی آب و زهکشی، ابعاد مختلف تطبیق نظری و عملی این فرضیات را با واقعیت موجود بررسی کند. سؤال اساسی این تحقیق را می‌توان به نوع عملکرد مخزن سازهٔ آبی به‌عنوان مخزن ذخیرهٔ آب برای ورود یا مخزنی برای تخلیهٔ زهاب یا تصفیهٔ پساب محدود کرد. بررسی پاسخ به این سؤال، به‌صورت موازی، سؤالاتی مانند تطبیق ظرفیت مخزن در تخلیه یا ورود با وضع موجود محوطه، علت اختصاص کاربرد مرتبط به آب و مکانیسم جریان آب یا پساب در مجموعه عناصر مختلف سازه را نیز می‌تواند پاسخ دهد.

۱. روش تحقیق

روش انجام این پژوهش مبتنی بر مطالعات کتابخانه‌ای و روش‌های بررسی میدانی است. اسکن لیزری یک تکنولوژی (EYGM 2015) ثبت جزءبه‌جزء عناصر و مصالح ساخت است که با دقت میلی‌متری (Beraldin 2002)، از موضوع مستندسازی، مدل سه‌بعدی تهیه می‌کند (Jones 2011). مهم‌ترین جزئیات به‌دست‌آمده از این روش، در این پژوهش، شیب و ابعاد آبراهه‌های داخلی سازه، ترکیب عناصر ساختارهای آبی با یکدیگر، فرم حوضچه‌های هدایت و تخلیهٔ آب و همچنین دیوارهای هدایتگر و پشت‌بندهاست. در باستان‌سنجی به روش ژئومغناطیس، ساختارهای پنهان در دل خاک مورد جست‌وجو قرار می‌گیرد (Boschi 2012). ازجمله نتایج این پیگردی در تحقیق انجام‌یافته، شناسایی سازه‌های مشابه در خاک نواحی دیگر حصار سوم است. در مطالعات هیدرولوژی، با فرض دفعی بودن سازهٔ آبی، احتمال مذکور با مدل‌سازی سازه در زمان حیات و بر مبنای حداکثر دبی، نسبت به ابعاد هر زیرحوزه، بررسی شده و نتایج قابل‌ملاحظه‌ای به‌دست آمده است.

همان‌طور که اشاره شد، استفاده از شیوه‌های نوین (EYGM 2015) همچون اسکن لیزری، ژئوفیزیک و بررسی‌های هیدرولوژیکی و مدل‌سازی هیدرولیکی سازهٔ آبی، از مهم‌ترین وجوه تمایز این پژوهش با سایر تحقیقات پیشین انجام‌شده در محوطهٔ باستانی چغازنبیل است. در بررسی‌های کتابخانه‌ای، مدارک مکتوب و ادلهٔ علمی پیشین، بازخوانی و نقد شده‌اند و در بررسی‌های میدانی، عوامل تأثیرگذار خاصه کیفیت مسیل‌ها، شیب زمین منطقه و وجود ساختارهای مرتبط با سازهٔ آبی، بررسی و عکس‌برداری شد. همچنین با استفاده از شیوه‌های جدید و بازدیدهای میدانی و بررسی‌های به‌روز زمین‌شناسی، داده‌های تکمیلی موردنیاز فراهم شده و فرضیات مطرح از دیدگاه علوم مهندسی آب و هیدرولیک، موردبررسی قرار گرفت. درنهایت، نتیجهٔ بررسی‌ها در قالب مدل‌سازی هیدرولیکی مجاری زهکش اصلی و هیدرولوژیکی زیرحوزه‌های کوچک‌تر به‌عنوان عامل اصلی تولید جریان رواناب انجام شد. مدل‌سازی هیدرولیکی مجاری نه‌گانه با استفاده از روابط هیدرواستاتیک و انرژی جنبشی آب و مخزن انجام شد. در نقاط تخلیه، وضعیت احتمال فرسایش با استفاده از میزان سرعت و عدد فرود (Froude No.) نیز بررسی شد. در مدل‌سازی هیدرولیکی، برای تخمین ضرایب ثابت جریان مانند ضریب مانینگ یا شزی و وضعیت آبراههٔ اصلی جهت واسنجی از دیدگاه‌های زمین‌شناسی و بیولوژیکی برای تشخیص مجرای اصلی و تخمین ثوابت استفاده شد. سپس ظرفیت مجاری نه‌گانه سازهٔ دفع آب با میزان آورد زهکش‌های منتهی به سازهٔ آبی اصلی، مورد ارزیابی و سازه‌های آبی که به‌عنوان آنومالی* سازهٔ دفع آب شناسایی شده‌اند، موردبررسی تطبیقی قرار گرفت.

۲. مطالعات مهندسی و مدل‌سازی هیدرولوژیکی و هیدرولیکی محوطه و سازهٔ آبی

۲. ۱. مطالعات زمین‌شناسی

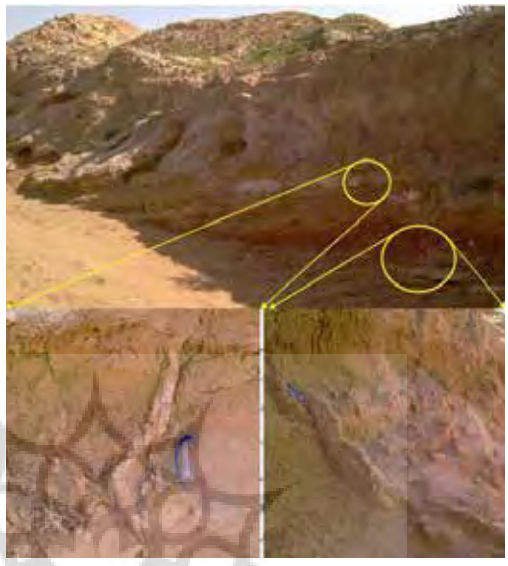
مطالعات زمین‌شناسی ساختمانی با هدف شناسایی گسل‌های فعال و تأثیرگذار بر مورفولوژی منطقه، همچنین شناسایی دستهٔ درزه‌ها و اثرات جانبی آن‌ها بر معبد چغازنبیل انجام شد. گسل‌های محدودهٔ طرح اغلب به‌صورت طولی بوده و در تقسیمات گسل‌ها، در ردهٔ گسل‌های کواترنری قرار می‌گیرند. این گسل‌ها جابه‌جایی چندانی از خود نشان نمی‌دهند و به‌صورت کلی و تنها بر مبنای مشاهدات تصاویر ماهواره‌ای با دقت بالا، می‌توان سازوکار قائم و شیب لغز برای آن‌ها به‌صورت عمومی در نظر گرفت. در واقع، شواهد مورفوتکتونیکی گسل‌ها به‌قدری تحت تأثیر فرسایش است که تنها در تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی می‌توان آن‌ها را شناسایی کرد. تصویر ۱ نتیجهٔ مطالعات گسل‌ها را که طی آن تعداد پنج گسل شناسایی شده، بر روی تصویر ماهواره‌ای ارائه می‌کند.

تصویر ۱: موقعیت گسل‌های محدودهٔ معبد بر روی تصویر ماهواره‌ای

همان‌گونه که پیش‌تر نیز اشاره شد، عمده مساحت محدودهٔ مطالعاتی با پوششی از رسوبات کواترنری پوشیده شده است. ازاین‌رو، رخنمون سنگ بستری که بتوان در آن عملیات درزه‌نگاری را انجام داد، بسیار محدود بوده؛ لذا عملیات گستردهٔ میدانی درخصوص یافتن سنگ بستر سالم و هوانزده در منطقه صورت پذیرفت. در این راستا، تنها در محدودهٔ آبراههٔ واقع در خارج از محدودهٔ دیوار سوم، در دیواره‌های این آبراهه رسوبات سازند آغاجاری به‌صورت سالم و هوانزده مشاهده شد. در این محل، تعدادی درزه تقریباً قائم قابل‌مشاهده است که به‌کمک کمپاس (قطب‌نمای زمین‌شناسی) پارامترهای امتداد، شیب، جهت شیب و همچنین پارامترهای توصیفی این درزه‌ها شامل میزان بازشدگی، پرشدگی و نوع مصالح پرکننده برداشت شد. بررسی‌های درزه‌نگاری نشان می‌دهد که محدودهٔ موردمطالعه تحت‌تأثیر دو دسته درزهٔ اصلی J1 و J2 قرار گرفته است. دسته درزه‌های مذکور اغلب دارای بازشدگی کمتر از پنج میلی‌مترند. این درزه‌ها عموماً به‌وسیلهٔ بلورهای گچ، کلیست یا رس پر شده‌اند. برخی از درزه‌ها نیز فاقد پرشدگی هستند. سطوح درزه‌ها عمدتاً صفحه‌ای است که به‌لحاظ زبری نیز تقریباً از نوع زبر و در برخی مواقع صاف هستند. در این درزه‌ها سطوح پلکانی یا آثار خش لغزش مشاهده نمی‌شود. این دسته درزه‌ها یک تا دو متر طول دارند.

نکتهٔ حائز اهمیت درخصوص این درزه‌ها شیب قائم آن‌هاست. باتوجه‌به اینکه درزه‌های مذکور دارای بازشدگی بوده و تقریباً در هستهٔ تاقدیس سردارآباد قرار گرفته‌اند، می‌توان چنین استنباط کرد که این درزه‌ها در ارتباط با فعالیت چین‌خوردگی این تاقدیس بوده و ارتفاع گرفتن چین مذکور، درزه‌های قائم و کششی در محور چین ایجاد کرده است. بدیهی است چنین درزه‌هایی مسیر آب‌های سطحی را به عمق باز نموده و می‌توانند یکی از عوامل اصلی در شروع فرسایش و درواقع سرمنشأ این پدیده باشند. در تصویر ۲ نمونه‌ای از این درزه‌ها نشان داده شده است.

پس از بررسی میدانی دقیق حفرات فرسایشی قابل‌مشاهده در سطح محوطه و خصوصاً در ابتدای آبراهه‌ها و مسیل‌ها (تصویر ۳) که خطر پیشروی آن را تداعی می‌کند، این نکته قابل‌بحث است که این حفرات و مقایسهٔ آن با ساختارهای زمین‌شناسی منطقه، مشخص می‌نماید که هم‌امتداد درزه‌های منطقه‌اند. حال این سؤال مطرح است که چگونه می‌توان میان این ساختارها و حفرات موجود و نحوهٔ فرسایش خاک منطقه ارتباطی برقرار کرد؟ پاسخ این سؤال را این‌گونه می‌توان بیان نمود که به جهت فعال بودن تکتونیک منطقهٔ زاگرس که طرح حاضر در محدودهٔ آن قرار دارد، فشارهای تکتونیکی از ناحیهٔ صفحهٔ عربستان بر پوستهٔ این پهنه از ایران وارد می‌آید. چنین سیستم تکتونیکی به‌صورت گسل‌خوردگی (گسلش) و چین‌خوردگی نمایان می‌شود. درواقع می‌توان گفت تاقدیس سردرآباد کماکان فعال بوده و در حال تکامل و ارتفاع گرفتن است.



تصویر ۲: نمایی از درزه‌های قائم در محدودهٔ معبد چغازنبیل با راستای شمال غربی- جنوب شرقی.
در این بخش، پرشدگی درزه‌ها به‌وسیلهٔ رگه‌های گچ کاملاً مشهود است.

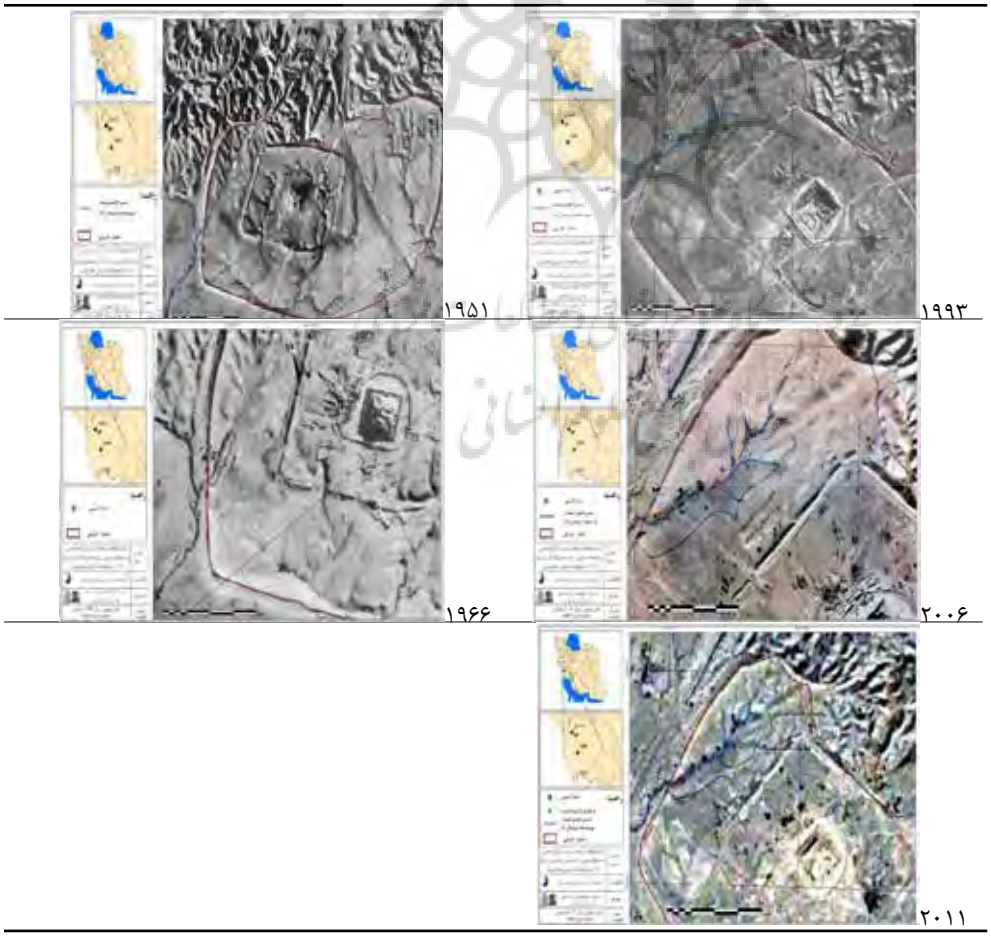
هرچه بر شدت چین‌خوردگی این تاقدیس و دیگر تاقدیس‌های منطقه افزوده می‌شود، درزه‌ها و ریزگسل‌های بیشتری در منطقه، در جهت عمود بر فشارش تشکیل می‌شوند و یا درزه‌های پیشین تکامل بیشتری پیدا کرده و بر میزان بازشدگی آن‌ها افزوده می‌شود. نکتهٔ حائز اهمیت اینجاست که بازشدگی درزه‌ها سبب ایجاد مسیرهای خطی نفوذ آب به زیر سطح زمین تا عمق مشخصی می‌شود. در مرحلهٔ بعد، آب نفوذی موجب فرسایش دیوارهٔ درزه و افزایش بازشدگی آن و درنهایت، ریزش دیواره‌ها و ایجاد کانال می‌گردد. از به هم پیوستن این کانال‌ها و حفرات، آبراهه‌های فرعی شکل می‌گیرند (تصویر ۳).

تصویر ۳: نحوهٔ تکامل درزه‌ها و تبدیل شدن آن‌ها به حفره و درنهایت، کانال آب

۲. ۲. مطالعات ژئومورفولوژی و فرسایش

برای بررسی ژئومورفولوژی آبراهه‌ها در این تحقیق، از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای در پنج دورهٔ زمانی با فواصل نامساوی، که آخرین آن به سال ۲۰۱۱ تعلق دارد، استفاده شد. چهار تصویر قدیمی که مربوط به سال‌های ۱۹۵۱، ۱۹۶۶، ۱۹۹۳ و ۲۰۰۶ است، از پایگاه مطالعاتی چغازنبیل اخذ گردید. نخستین عکس هوایی که در این تحقیق مورداستفاده قرار گرفت، مربوط به سال ۱۹۵۱ میلادی است. در آن تاریخ، هنوز عملیات حفاری به سرپرستی رومن گیرشمن شروع نشده و معبد چغازنبیل و بسیاری از بناهای مربوط به این اثر تاریخی در زیر گل مدفون بوده‌اند.

سال ۲۰۱۱ آخرین و جدیدترین سال بررسی تغییرات بستر طولی رودخانه در محدودهٔ موردمطالعه است. این تصویر که تنها تصویر ماهواره‌ای مورداستفاده در این بخش از مطالعات است، متعلق به ماهوارهٔ spot است (تصویر ۴) و دارای قدرت تفکیک پنج متر است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، میزان فرسایش در دورهٔ پنج‌ساله (از ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱) برابر با ۶۸ متر است که در این صورت، میزان میانگین سالانهٔ فرسایش بستر طولی آبراهه برابر با ۱۳/۶ (بالاترین میزان میانگین فرسایش) خواهد بود. بررسی تصاویر ماهواره‌ای پنج‌گانهٔ موردبررسی نشان داد که نرخ فرسایش در بازه زمانی حد فاصل سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۶ (۱۳ سال)، نسبت‌به بازه زمانی ۱۹۶۶ تا ۱۹۹۳ (سی‌ساله) به میزان تقریباً دو برابر افزایش پیدا کرده است.



تصویر ۴: بررسی روند فرسایش آبراهه‌ای در یکی از آبراهه‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

۲. ۳. مطالعات هیدرولوژیکی

باتوجه‌به عدم وجود ایستگاه هواشناسی در محوطه برای برآورد و محاسبهٔ بارش و رواناب حاصل در محوطه، از ایستگاه‌های هواشناسی اطراف استفاده شد. در برخی از ایستگاه‌های هواشناسی، به‌دلیل خرابی دستگاه‌های اندازه‌گیری، عدم برداشت داده‌ها و یا علل دیگر، در برخی از دوره‌ها اندازه‌گیری انجام نشده است. از طرفی، در مطالعات هواشناسی لازم است در دوره‌های مشخصی آمار کامل وجود داشته باشد. بدین منظور سعی بر این است که به‌جای آمار گمشده، تطویل و تکمیل آمار با حداقل خطا انجام شود. در این مطالعه، از روش همبستگی بین بارندگی سالانهٔ ایستگاه‌ها استفاده شده است؛ لذا منحنی جرم مضاعف برای تکمیل داده‌های مفقود سالانه و ماهانهٔ بارش و دما و برآورد حداکثر بارش محتمل و منحنی‌های شدت، مدت و فراوانی (IDF) در این مطالعه مورداستفاده قرار گرفت. تقسیم‌بندی میکروحوزه‌های محوطهٔ باستانی براساس توپوگرافی در تصویر ۵ قابل‌مشاهده است. یک یا چند میکروحوزه به یکدیگر پیوسته و در انتها وارد آبراهه‌های اصلی می‌شوند که به سازه‌های آبی و آنومالی‌های موجود در حصار سوم منتهی می‌گردند.

تصویر ۵: میکروحوزه‌ها و مسیر آبراهه‌ها زهکش هریک

با روش منطقی (Rational)، میزان سیلاب و رواناب هریک از میکروحوزه‌ها و مقدار تجمعی هریک در جدول ۱ مشاهده می‌شود. مقادیر ضریب رواناب برای زیرحوضه‌ها و دبی پیک در محل خروجی هر حوضه، با استفاده از روش منطقی و برای دورهٔ بازگشت‌های مختلف، در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: ضریب رواناب و مقدار سیلاب و رواناب هریک از میکروحوزه‌ها

FID	Area (m2)	شیب متوسط حوضه (درصد)	C						Qp 2hr (cms)						Qp 4hr (cms)						Qp 6hr (cms)						Qp 24hr (cms)					
			2 year	5 year	10 year	25 year	50 year	100 year	2 year	5 year	10 year	25 year	50 year	100 year	2 year	5 year	10 year	25 year	50 year	100 year	2 year	5 year	10 year	25 year	50 year	100 year	2 year	5 year	10 year	25 year	50 year	100 year
0	168169	7.24	0.320	0.320	0.320	0.407	0.504	0.525	0.187	0.241	0.282	0.411	0.595	0.687	0.104	0.135	0.157	0.229	0.331	0.383	0.079	0.102	0.120	0.174	0.252	0.291	0.023	0.032	0.039	0.058	0.080	0.092
1	102056	2.92	0.270	0.270	0.270	0.352	0.444	0.463	0.096	0.124	0.145	0.216	0.318	0.367	0.053	0.069	0.081	0.120	0.177	0.204	0.041	0.052	0.061	0.091	0.135	0.155	0.012	0.017	0.020	0.031	0.043	0.049
2	56103	6.68	0.320	0.320	0.320	0.407	0.504	0.525	0.062	0.081	0.094	0.137	0.198	0.229	0.035	0.045	0.052	0.076	0.111	0.128	0.026	0.034	0.040	0.058	0.084	0.097	0.008	0.011	0.013	0.019	0.027	0.031
3 4	328114	4.37	0.270	0.270	0.270	0.352	0.444	0.463	0.308	0.398	0.465	0.694	1.022	1.180	0.172	0.221	0.259	0.387	0.569	0.657	0.130	0.168	0.197	0.294	0.433	0.499	0.037	0.053	0.063	0.098	0.138	0.157
5	20948	-	-	-	-				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	316292	1.87	0.270	0.270	0.270	0.352	0.444	0.463	0.297	0.383	0.448	0.669	0.985	1.138	0.166	0.213	0.250	0.373	0.549	0.634	0.126	0.162	0.190	0.283	0.417	0.481	0.036	0.051	0.061	0.095	0.133	0.152
7	413316	3.88	0.270	0.270	0.270	0.352	0.444	0.463	0.388	0.501	0.586	0.874	1.288	1.487	0.216	0.279	0.326	0.487	0.717	0.828	0.164	0.212	0.248	0.370	0.545	0.629	0.047	0.067	0.080	0.124	0.173	0.198
8	285316	2.05	0.270	0.270	0.270	0.352	0.444	0.463	0.268	0.346	0.404	0.604	0.889	1.026	0.149	0.193	0.225	0.336	0.495	0.572	0.113	0.146	0.171	0.255	0.376	0.434	0.032	0.046	0.055	0.085	0.120	0.137
9	272011	3.89	0.270	0.270	0.270	0.352	0.444	0.463	0.256	0.330	0.385	0.575	0.847	0.978	0.142	0.184	0.215	0.321	0.472	0.545	0.108	0.139	0.163	0.244	0.359	0.414	0.031	0.044	0.053	0.081	0.114	0.130

۲. ٤. مطالعات هیدرولیکی

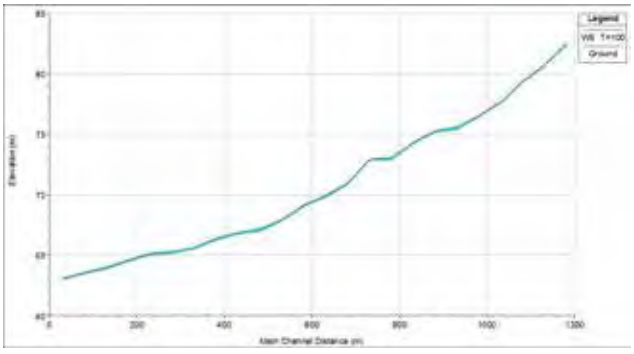
هندسهٔ رودخانه جزء اولین و اصلی‌ترین اطلاعات لازم برای شبیه‌سازی هیدرولیک رودخانه است. درواقع بر مبنای شکل سطح مقطع رودخانه است که پارامترهای هیدرولیکی آن نظیر سرعت، عمق و سطح آب‌گرفتگی مشخص می‌شود. در این پروژه، با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰ در محیط ArcGIS اقدام به تهیهٔ مقاطع عرضی با فواصل ۵۰ متر شد. نحوهٔ نام‌گذاری آبراهه‌ها در مدل هیدرولیکی اصلاح شده و منطبق با تقسیم‌بندی زیرحوزه‌هاست. بر این اساس، مدل هیدرولیکی دارای آبراهه‌های شمارهٔ ۱، ۲ (با دوشاخه)، ۳ و ۵ است. نام‌گذاری گزارش هیدرولوژی و مدل هیدرولیکی در تصویر ۶ـالف نشان داده شده است.

ضریب مقاومت جریان (ضریب مانینگ) از دیگر پارامترهای موردنیاز جهت مدل‌سازی است. باتوجه‌به جامعیت روش Cowan و ورود پارامترهای مختلف در تعیین ضریب مانینگ، در این مطالعه، از این روش برای تعیین ضریب مانینگ آبراهه‌های موردمطالعه استفاده شده است (علیزاده ۱۳۷۳، ۱۰۴). مقدار ضریب زبری به‌صورت دست‌بالا و به‌مقدار ۰/۰۵۹ برآورد شده و با اعمال این مقدار در مدل هیدرولیکی و افزایش دبی هر زیرحوضه، مقدار دبی معادل مقطع پر در هر آبراهه محاسبه شده است. نتایج در جدول ۲ ارائه شده است. دبی جریان سیلابی نیز عامل مهمی در مدل‌سازی هیدرولیکی و ارائهٔ طرح ساماندهی در مطالعات مهندسی رودخانه است. برای تعیین مقدار دبی سیلابی، از نتایج جدول ۱ استفاده شده است.

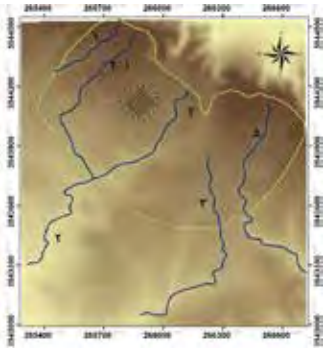
ازآنجاکه اطلاعات مناسبی درخصوص شرایط مرزی ورودی و خروجی مدل موجود نیست، فرض شده جریان در مرز پایین‌دست و مرز بالادست، شرایط نرمال را تجربه می‌کند. باتوجه‌به برابری شیب سطح آب با شیب کف آبراهه در شرایط نرمال، شیب متوسط آبراهه‌های موردمطالعه به‌عنوان شرط مرزی به مدل معرفی شده است. شرایط مرزی درنظرگرفته‌شده در هریک از آبراهه‌های موردمطالعه به شرح جدول ۲ است.

با معرفی مشخصات هندسی، ضریب مانینگ، دبی سیلاب و شرایط مرزی به مدل هیدرولیکی، اجرای مدل برای دبی‌های سیلابی انجام شده است. براساس نتایج مذکور، نیمرخ‌های طولی و عرضی برای هریک از نتایج حاصل از شبیه‌سازی هیدرولیک جریان آبراههٔ اصلی که به سازهٔ آبی موجود منتهی می‌شود، در تصویر ۶ـب ارائه شده است.

در این پژوهش، حجم آب در حوزهٔ مربوط بر مبنای حداکثر بارش ممکن، که براساس ماکزیمم سیلاب با دورهٔ بازگشت صدساله محاسبه شده بود ـ فرض گردید (داودمقامی ۱۳۸۱، ۲۳) و ظرفیت عبوری آبراهه‌های نه‌گانه بررسی شد. این بررسی نشان داد سازهٔ آبی موجود حتی با داشتن کمترین شیار (۱ عدد) هم قابلیت دفع حداکثر بارش در یک نوبت را دارد. با این فرض، حتی اگر تعدادی از شیارهای سازه نیز دچار گرفتگی موضعی شوند، امکان دفع آب از محل سازهٔ آبی امکان‌پذیر است (نقش‌آوران توس ۱۳۹۲، ۲۵۴).



تصویر ۶-الف



تصویر ۶-ب

تصویر ۶. الف. تقسیم‌بندی میکروحوزه‌ها و آبراهه‌های اصلی؛ ب. پروفیل طولی سطح آب در آبراههٔ شمارهٔ یک (منتهی به سازهٔ آبی موجود)

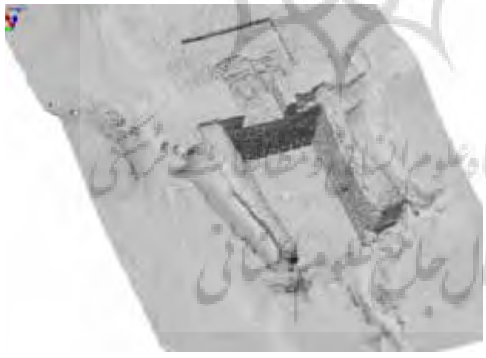
جدول ۲: شرایط مرزی مورد استفاده در تحلیل هیدرولیک آبراهه‌های موردمطالعه

نام رودخانه	شرط مرزی بالادست	شرط مرزی پایین‌دست
۱	۰/۰۳۳	۰/۰۰۸۹
۲	۰/۰۱۲	۰/۰۰٤۳
۳	۰/۰۲۳	محل تقاطع
٤	۰/۰۱۸	۰/۰۰۸
٥	۰/۰٦۷	۰/۰۰۹٦

۲. ۵. نتایج عملیات ژئوفیزیک و اسکن لیزر

مستندسازی به روش اسکن لیزری، اولین شیوهٔ بررسی تکمیلی به‌کارگرفته شده بود. این تکنیک با هدف تهیهٔ یک مدل سه‌بعدی، از ریزترین جزئیات سازهٔ آبی و تشخیص شیب‌بندی در اطراف و اجزای سازه، ماهیت شیارهای انتقال آب و ابعاد دقیق آن‌ها و همچنین امکان تهیهٔ نقشهٔ برش‌های متعدد از سازه انجام پذیرفت. نتایج به‌دست‌آمده از بررسی مذکور، نشان داد شیب عمومی در محوطهٔ اطراف و سازهٔ آبی در جهت دفع آب از داخل شهر باستانی به خارج از حصار سوم است. این جهت شیب در مسیر شیارها و کف‌سازی حوضچه‌های کوچک و بزرگ نیز بارز است. علاوه بر این، در انتهای دیواره‌های پشت‌بند، سازهٔ یک دیوارهٔ مورب کوچک مشخص است که به‌نظر می‌رسد بخش‌های بازمانده از دو دیواری است که خروج آب را هدایت می‌کرده‌اند (تصویرهای ۷ و ۸).

تصویر ۷:
سازهٔ آبی چغازنبیل حین عملیات اسکن لیزری
(نقش‌آوران توس ۱۳۹۲، ۱۸۴)



تصویر ۸:
مدل سه‌بعدی برداشت‌شده از سازهٔ آبی چغازنبیل با تکنیک اسکن لیزری (نقش‌آوران توس ۱۳۹۲، ۱۸۵)

دومین شیوهٔ بررسی تکمیلی، استفاده از روش مغناطیس‌سنجی است. این بررسی با هدف اطلاع از وضعیت لایه‌های پنهان، خصوصاً در محل‌های مشکوک به وجود سازه‌های مشابه انجام پذیرفت که عمدتاً در محل تلاقی مسیل‌های محوطه با حصار سوم بوده‌اند. با وجود برخی دشواری‌ها، به‌خصوص در تشخیص آنومالی‌های واقعی از غیرواقعی، ساختارهایی در ابعاد بزرگ در سه محل تشخیص داده شد که منطبق بر محل تلاقی مسیل‌های اصلی محوطه با حصار سوم است (تصویرهای ۹ و ۱۰).

تصویر ۹:
جزئیاتی از آنومالی‌های مشخص‌شده در مغناطیس‌سنجی، که امکان وجود سازه‌های آجری مشابه را تأیید می‌کند
(نقش‌آوران توس ۱۳۹۲، ۲۴۱).

تصویر ۱۰:
محل‌هایی که مطابق بررسی‌های ژئومغناطیس، آنومالی‌های بزرگ در آن‌ها شناسایی شد
(نقش‌آوران توس ۱۳۹۲، ۲۴۰).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مطالعات معماری ایران
دو فصلنامه معماری ایرانی
شماره ۱۱ ـ بهار و تابستان ۹۶

۳. شناخت و نقد مطالعات پیشین در باب عملکرد سازۀ آبی حصار سوم

ازجمله مهم‌ترین آثار بازمانده از شهر باستانی دوراونتاش می‌توان به زیگورات چغازنبیل، حصارهای سه‌گانه و دروازه‌های آن‌ها و مجموعۀ کاخ‌ـ آرامگاه‌ها اشاره کرد (استو ۱۳۷۳، ۷۳). باوجوداین، نمی‌توان آثار به‌جای‌مانده از این تمدن عظیم را تنها به این ابنیه محدود ساخت. سیستم‌های دفاعی شهر، یعنی حصارهای سه‌گانه که در اثر عوامل فرسایشی از ارتفاع آن‌ها تا حد زیادی کاسته شده، کارگاه‌های صنعتی و تأسیسات شهری که بیشتر آن‌ها در ارتباط با آب هستند، همگی از موارد قابل‌توجه در معماری و شهرسازی دوراونتاش محسوب می‌شوند.

در محوطۀ شهر باستانی دوراونتاش، تأسیسات آبی متنوعی وجود داشته که برخی از آن‌ها تا امروز باقی مانده‌اند. از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به ناودان‌ها، چاه‌های جذبی و سازۀ آبی حصار سوم اشاره کرد. بررسی ناودان‌های شهر باستانی دوراونتاش عموماً در گزارش‌های گیرشمن و همکارش اوبرسون آمده و در کتاب *چغازنبیل* موجود است (گیرشمن ۱۳۷۱، ۶۷). در این بررسی، ناودان‌ها براساس موقعیت قرارگیری و ویژگی‌های فرمی همچون ابعاد، مصالح و کیفیت ساخت تحلیل شده‌اند. جامع‌ترین بررسی موجود دربارۀ چاه‌های جذبی محوطه نیز توسط مفیدی نصرآبادی (۱۳۷۸) انجام گرفته است.

وی ضمن بررسی سیستم‌های دفع آب‌های سطحی محوطه، به حفاری و بررسی ۹ چاهک موجود در محوطه باستانی پرداخته و کارکرد آن‌ها را دفع آب‌های سطحی ناودان‌های مجاور پلکان‌ها بیان می‌کند (Mofidi-Nasrabadi 2015).

بزرگ‌ترین عنصر آبی بازمانده از شهر باستانی دوراونتاش، سازه‌ای آجری است که در ضلع شمال غرب و در محل حصار سوم محوطه قرار دارد. ابعاد بخش‌های بازمانده از سازهٔ مذکور، حدوداً ۱۲ متر پهنا و ۲۲ متر درازا دارد و مشخصاً از دو حوضچه با عمق‌های متفاوت تشکیل شده است. این دو فضا به‌کمک آبراهه(شیار)هایی نه‌گانه، با جهت شیب از حوضچهٔ کوچک به بزرگ، به یکدیگر راه می‌یابند. حوضچهٔ بزرگ فرمی تقریباً ذوزنقه‌ای‌شکل دارد که قاعدهٔ بزرگ آن (دیوار شیاردار) به طول تقریبی ۷/۵۰ متر، به‌سوی حوضچهٔ کوچک است. قاعدهٔ کوچک‌تر که به دیوارهٔ گلین ختم می‌شود، حدوداً ۶/۵۰ متر است. دیواره‌های اطراف حوضچهٔ بزرگ از جنس آجر بوده و چنین به‌نظر می‌رسد که هیچ‌گونه چفت و اتصالی با دیواره (شیاردار) ندارد؛ لذا بیش از آنکه شبیه دیوارهٔ یک فضای محصور باشند، به پشت‌بند حصار یا دیواره هدایتگر سیلاب شبیه‌اند. همچنین فرم هر دو دیواره، هرمی‌شکل بوده و از کف تا رأس، به‌تدریج، از عرض قاعدهٔ آن‌ها کاسته می‌شود (پورادا ۱۳۷۳، ۴۹).

تصویر ۱۱:
در این تصویر هوایی، موقعیت شهرباستانی دوراونتاش (چغازنبیل) در مرکز تصویر نسبت‌به رودخانهٔ دزآب و ناهمواری موسوم به طاقدیس سردارآباد مشخص است (گیرشمن ۱۳۷۳، ۱۹۸).

در مرمت‌هایی که در زمان گیرشمن، هم‌زمان با حفاری اثر صورت گرفته، بخش بالایی سازهٔ آجری تکمیل و استحکام‌بخشی شد، لیکن به دلایلی ـ شاید حفظ شواهدی از مرمت اثر ـ دیوارهٔ بالایی دریچه‌ها به شکل یک مستطیل سرتاسری تکمیل نشده و همین الگو در مرمت‌های بعدی نیز تکرار شد که به شکل ردیف آجرهای هشت و گیر در نما مشخص است. به‌نظر می‌رسد ضلع اصلی سازه، که همان دیوارهٔ آجری شیاردار باشد، بخشی از حصار سوم شهر باستانی بوده و به‌واسطهٔ تماس مکرر با رطوبت و نیاز به استحکام بیشتر، کاملاً با آجر و ملات گچ نیم‌پخته و ترکیبات هیدروکربنی (قیر) اجرا شده است (گیرشمن ۱۳۷۳، ۲۷). همچنین قطعه‌سنگ‌هایی سرتاسری نیز در فاصلهٔ چند رج بالاتر از شیارهای آب قرار گرفته‌اند. کیفیت مصالح مورد استفاده در ساخت سازه به‌لحاظ فرم متفاوت‌اند، به‌نحوی‌که در دیوارهٔ شیاردار،

آجرها مرغوب‌تر بوده و با نظم بهتری اجرا شده‌اند و دیواره‌های پشت‌بند، چه به‌لحاظ جنس و چه به‌لحاظ نحوهٔ چیدمان مصالح، از کیفیت نازل‌تری برخوردارند. مطابق بازدیدهای میدانی و اندازه‌گیری‌های در محل و آزمایشگاه، در دیوارهٔ جنوبی بخش‌هایی وجود دارد که در نگاه اول، خشکه‌چین به‌نظر می‌آیند. ابعاد خروجی شیارها حدوداً ۱۵ در ۸۰ سانتی‌متر بوده و از آجر در ساخت آن‌ها استفاده شده است. کف‌سازی کل فضا نیز با آجرهای مربع انجام پذیرفته است و شیب ملایمی از جانب دیوار شیاردار به خارج وجود دارد. حوضچهٔ کوچک با ابعاد تقریبی ۷/۷۰ در ۵/۳۰ متر، قبل از دیوارهٔ حصار و داخل شهر قرار دارد و سازهٔ آن نیز آجری است (تصویر ۱۲ و ۱۳). رومَن گیرشمن در حین بررسی دربارهٔ شیوهٔ تأمین آب شرب شهر باستانی دوراونتاش، فرضیه‌ای درخصوص انتقال آب از رودخانهٔ کرخه- در ۲۰ کیلومتری محوطه- و تصفیهٔ آن در محل سازهٔ آبی مطرح می‌کند. او این سازه را مخزن آب معرفی کرده و عملکرد تصفیه‌خانه را نیز در ضمن آن می‌آورد.

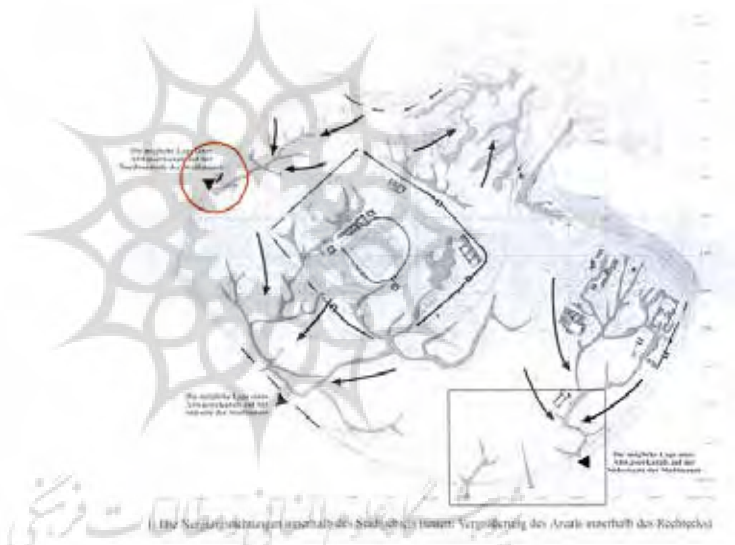
دلیل ارائه‌شده از سوی گیرشمن (۱۹۵۴) در این بخش، بیش از هر چیز معطوف به کیفیت آب انتقال‌یافته از کرخه است که آن را با وجود راه طولانی و منابع آبی نزدیک‌تر (دزآب) آن‌چنان مهم می‌داند که گویا ارزش حفر کانالی به فاصلهٔ مذکور را داشته است. همچنین وی در بخش دیگری از توصیفات، به لوحی گلین، یافته‌شده از زیگورات اشاره می‌کند که نهری را توصیف کرده و حفر آن را عملی عظیم و عام‌المنفعه قلمداد می‌کند، اما به محل دقیق نهر اشاره نشده است؛ لیکن گیرشمن (۱۹۵۴) آن را مرتبط با سازهٔ آبی می‌داند. اما آنچه در این سیستم فرضی از دید گیرشمن دور مانده، توجه به مرتفع‌تر بودن شهر باستانی نسبت‌به محوطه‌های اطراف و به‌خصوص، سرمنشأ نهر مذکور در محل رودخانهٔ کرخه است که عملاً انتقال آب را تا این نقطه دشوار می‌ساخته، همچنین است وجود رودخانهٔ کوچک‌تری به نام شائور که در نزدیکی شهر شوش و در حد فاصل کرخه تا شهر باستانی قرار دارد؛ با این اوصاف، لازم بوده نهر فرضی گیرشمن از فراز شائور انتقال یابد و تاکنون شواهدی از این آبراهه در مجاورت محوطهٔ چغازنبیل به‌دست نیامده است.

تصویر ۱۲:
موقعیت ساختار آبی چغازنبیل در ضلع غربی حصار سوم مطابق تصویر هوایی بعد از حفاری‌های باستان‌شناسی (گیرشمن ۱۳۷۳، ۲۰۱)

تصویر ۱۳:
نمایی کلی از سازهٔ آبی در وضعیت کنونی؛ زیگورات چغازنبیل در انتهای تصویر مشاهده می‌شود (نقش‌آوران توس ۱۳۹۲، ۱۳۵).

از سوی دیگر، مفیدی نصرآبادی (۱۳۷۸) در بررسی سیستم دفع آب باران در محوطهٔ تمنوس (محوطهٔ حصار دوم) و شهر باستانی، به تحلیل ساختارهای مرتبط با آب در ضلع شمال غربی حصار سوم پرداخته و اظهاراتی متفاوت با فرضیهٔ اول مطرح می‌سازد که در این نوشتار، آن را با عنوان فرضیهٔ دوم- عملکرد دفعی سازهٔ آبی- بررسی کرده‌ایم. مفیدی در تحلیل نقش عملکردی سازهٔ آبی در دفع رواناب محوطهٔ باستانی پیش‌بینی می‌کند در محل‌های خروج مسیل‌های محوطه از حصار سوم، سازه‌های مشابهی وجود داشته است که به‌جز یکی، همگی تخریب شده‌اند. این سازه در نقطهٔ مقابل سازهٔ آبی موجود و در ضلع شمال شرق محوطه، به شکل یک تودهٔ آجری کوچک‌تر مشهود است

(تصویر ۶). نظر مفیدی با شواهد موجود تطبیق بیشتری دارد، لیکن نکاتی همچنان باقی است که به بررسی بیشتری نیاز دارد. ازجمله اینکه با وجود نزدیکی محوطه به رودخانهٔ دز، هنوز شواهدی در انتقال آب رودخانهٔ مذکور به محل شهر باستانی در مقیاس وسیع به‌دست نیامده و موضوع شیوهٔ تأمین آب آن همچنان مبهم است. نکتهٔ دیگر در پذیرش فرضیهٔ کارکرد دفعی، توان سازهٔ مذکور در زهکش نمودن آب محوطه است. گرچه بنا به شواهد موجود در سایر نقاط شهر باستانی و ازجمله در اجرای ناودان‌ها، ایلامیان مردمانی چیره‌دست در ساخت این نوع سازه‌ها بودند، دقت در حجم بارندگی‌ها و سیلاب‌های حاصل از آن در زمانی اندک، این نکته را موردتردید قرار می‌دهد که آیا شیارهای نه‌گانهٔ موجود توان دفع سیل یک حوزهٔ آبگیر چندین هکتاری را داشته است؟ نکتهٔ اخیر پرسشی است که بیش از پژوهش‌های باستان‌شناختی، معطوف به بررسی‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی است.



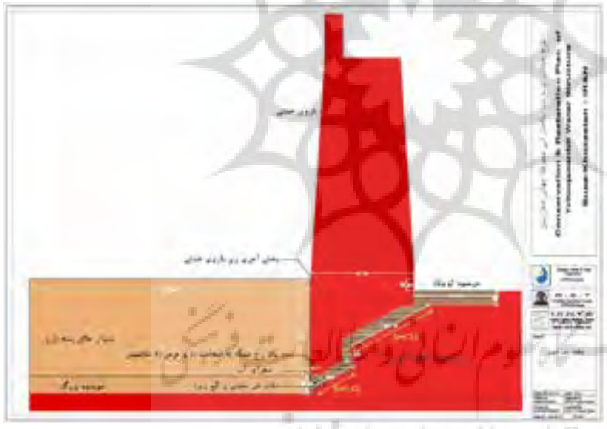
تصویر ۱۴:
نقشهٔ محل‌هایی که آب از حصار سوم خارج می‌شود و مشکوک به داشتن سازهٔ دفع آب هستند. موقعیت سازهٔ آبی موردبررسی ما در چپ تصویر (داخل دایره) و موقعیت سازهٔ شمال شرقی در راست تصویر (داخل مربع) مشخص است (مفیدی نصیرآبادی ۱۳۷۸، ۱۳۸).

از سوی دیگر، اقلیم خوزستان علی‌رغم برخورداری از رودخانه‌های دائمی بزرگ، به‌لحاظ بارندگی منطقه‌ای نیمه‌خشک محسوب می‌شود؛ لذا جمع‌آوری هرگونه آب شیرین سیلابی، اگرچه یک ضرورت نباشد، در فصولی از سال یک امکان محسوب می‌شود که نمونهٔ مشابه این کارکرد را می‌توان در برکه‌های تاریخی متأخرتر در ناحیهٔ هرمزگان مشاهده کرد. این فرضیه (عملکرد آب‌انباری) به‌لحاظ تطبیق با جهت حرکت آب‌های سطحی در محوطه، فرم معماری سازهٔ آبی، فرم شیارهای عمودی، کف‌سازی آجری فضا، فرم دیواره‌های اطراف و ماهیت حوضچهٔ کوچک (که می‌تواند نوعی حوضچهٔ آرامش تلقی گردد) تا حدودی قابل پذیرش است؛ و از نگاه دیگر با پذیرش مذهبی بودن شهر باستانی، جاری شدن آب از سطح محوطهٔ مقدس و زیگورات و جمع‌شدن آن در مخزنی این‌چنینی، به‌نحوی‌که بتواند به‌عنوان تبرک مورد استفادهٔ زوار قرار گیرد، شاید دلیلی ضمنی بر ماهیت آب‌انباری سازهٔ آبی باشد. باوجوداین، فرضیهٔ اخیر با کاستی‌هایی نیز توأم است؛ مهم‌تر از همه نقصی است که از نبود دیوارهٔ چهارم- ضلع مقابل دیوار شیاردار- در حوضچهٔ بزرگ‌تر پیش می‌آید و امکان ذخیره‌سازی آب را ناممکن می‌کند. موضوع دیگر عدم وجود اثر اندود بر سطح دیواره‌های سازهٔ آبی است که ضرورتی برای عایق‌سازی فضاست، مگر آنکه بپذیریم سازهٔ مذکور پیش از تکمیل نهایی و بهره‌برداری، به دلیلی، ناتمام مانده است.

٤. بررسی‌های تکمیلی بر روی سازهٔ آبی و استفاده از فناوری‌های نوین

همان‌طور که پیش از این اشاره شد، علی‌رغم بررسی‌های پیشین بر روی سازهٔ آبی و تحلیل فرضیات موجود، برخی اشکالات و نارسایی‌ها وجود دارد که جز با رفع آن‌ها اظهار نظر دربارهٔ عملکرد سازهٔ مذکور عملاً ناممکن است. بر این اساس، سه شیوهٔ بررسی دیگر انتخاب شد که با توجه به امکانات کنونی، کمک زیادی به روشن شدن فرضیات موجود می‌کند.

در مجاورت بنای تاریخی چغازنبیل و در مختصات جغرافیایی x=265471 و y=3544308 یک سازهٔ آبی شناسایی شده است. این سازه دارای یک مخزن به همراه ۹ عدد مجرای خروجی است. تصویر ۱۵ نمایی از این سازهٔ آبی را نشان می‌دهد. عرض هریک از مجاری خروجی سازهٔ آبی در حدود ۱۵ سانتی‌متر است. حداقل ارتفاع این مجراها نیز در حدود ۴۵ سانتی‌متر است. همچنین شیب طولی هریک از آن‌ها ۰/۵۳ محاسبه شده است. با بررسی آبراهه‌های پایین‌دستِ این سازهٔ آبی مشخص شد که آبراههٔ شمارهٔ یک (تصویر ۵ و تصویر ۶الف) به بالادست این سازه منتهی می‌شود. باتوجه‌به ظرفیت گذردهی برآورد شده برای سازهٔ آبی (۵/۷۶ مترمکعب بر ثانیه) می‌توان نتیجه گرفت که این سازه، ظرفیت کافی برای گذردهی سیلاب با دورهٔ بازگشت دوسالهٔ آبراههٔ شمارهٔ یک را که مقدار آن ۵/۴۸ مترمکعب بر ثانیه برآورد شده است، دارد (جدول ۳).



تصویر ۱۵:
برشی از سازهٔ آبی چغازنبیل در وضعیت فرضی اولیه که ابعاد و فرم شیارها را در محاسبات هیدرولیکی مشخص می‌سازد
(نقش‌آوران توس ۱۳۹۲، ۲۴۷).

جدول ۳: نحوهٔ محاسبهٔ مجاری موردنیاز سازهٔ آبی در آبراههٔ مطالعاتی

تعداد مجاری مورد نیاز در سازه آبی	دبی با دوره بازگشت ۲ ساله آبراهه (متر مکعب بر ثانیه)	ظرفیت گذردهی هر مجرا cms	شیب طولی مجرا	ارتفاع مجرا	عرض مجرا	شماره آبراهه
۹	٥.٤٨	0.64	0.53	0.45	0.15	1

آنچه تاکنون از تحلیل فرضیات پیشین و تکمیل آن‌ها با روش‌های جدید حاصل آمد، چنین به‌نظر می‌رسد که فرضیهٔ انتقال آب از محل رودخانهٔ کرخه و تصفیهٔ آن در محل سازهٔ آبی برای شرب (فرضیه اول) ناممکن است. و قدر مسلم سازهٔ آبی عملکرد دفعی داشته است؛ خاصه آنکه نمونه‌های مشابهی در محل سایر سیلاب‌های محوطهٔ

باستانی مشخص است. همچنین با وجود یک دیوارۀ مورب کوچک در انتهای سازه- که به‌نظر نقش هدایتگری در دفع آب دارد- شاهدی بر وجود جدارۀ چهارم محصورکننده، که لازمۀ مخزن بودن سازۀ آبی است (فرضیۀ دوم) به‌دست نیامد. از دیگر دشواری‌های بررسی عملکردی سازۀ آبی، عدم وجود نمونه‌های مشابه کافی در ایران، بین‌النهرین و سایر نقاط بود؛ گرچه وجود یک لوح گلین از دورۀ ایلامی تا حدودی توانست به کشف ماهیت کالبدی و کارکردی سازۀ آبی کمک نماید. تصویر موجود از لوح مذکور (تصویر ۱۶) نشان‌دهندۀ بخشی از حصار بیرونی یک شهر باستانی است که در فواصلی از آن، پشت‌بندهایی برج‌مانند قرار گرفته‌اند. در میانۀ سازۀ مذکور مقطعی به چشم می‌خورد که در کروکی مرتبط با آن، به شکل کانال تصویر شده است. حتی در دیوارۀ مقابل این کانال دریچه‌هایی وجود دارد که شباهت زیادی به شیارهای نه گانۀ سازۀ آبی چغازنبیل دارد. مجیدزاده (۱۳۸۶) در توصیف این لوح و نمونه‌ای مشابه، لوح مکشوفه را پایۀ مجسمه تعبیر کرده و فضای میانی سازه را دروازه می‌نامد. از بررسی تطبیقی لوح مذکور و شواهد به‌دست‌آمده چنین می‌توان تفسیر کرد که در اطراف شهر باستانی دوراونتاش و در محل تلاقی مسیل‌های محوطه با حصار سوم (از جنس خشت) برای ممانعت از تخریب حصار، چندین سازۀ آجری وجود داشته است. این سازه‌ها در زمان حیات شهر باستانی، آب‌های سطحی محوطه را به پشت حصار که احتمالاً یک خندق سرتاسری بوده دفع می‌کرده‌اند؛ یعنی در واقع زهکش شهر محسوب می‌شدند (تصویر ۱۷). با تخریب و متروک شدن شهر باستانی در هزارۀ دوم پیش از میلاد (گیرشمن ۱۳۷۳)، به‌تدریج در اثر عدم نگهداری، سازه‌ها از کارکرد خارج شده و در اثر عوامل جوّی، فرسوده و تخریب شده‌اند، به‌نحوی‌که سیلاب آن‌ها را از میان برده است. البته محتمل است بخش‌هایی از آن‌ها همچنان در زیر توده‌های خاک مدفون باشند. مطابق بررسی‌های هیدرولوژیکی مشخص شد سازۀ آبی ضلع شمال غربی در ارتباط با حوزۀ آبی نسبتاً کوچک‌تری است؛ لذا حجم آب عبوری از آن کمتر بوده و سازه سالم‌تر مانده است. در واقع، مسیلِ کنونی در برخورد با سازۀ آجری، آن را دور زده و از مجاورش عبور می‌کند. سایر ساختارهای آبی احتمالی که معمولاً در سطوح زیرین محوطه پنهان هستند، بیشتر از سازۀ ضلع غربی آسیب دیده و مخدوش شده‌اند. علت این موضوع مشخص نیست، لیکن به‌نظر می‌رسد دبی آب عبوری از محل این سازه‌ها- مطابق با قرائن کنونی- بیشتر بوده و یا شاید به نسبت سازۀ موجود کوچک‌تر و ضعیف بوده و آسیب بیشتری دیده‌اند. احتمال دیگر آن است که ساختارهای آبی، از همان ابتدا با مشکلاتی در سیستم دفع آب مواجه بوده‌اند و به‌تدریج، بلااستفاده و مخروبه شده‌اند. از موارد مؤثر در ضعف این عناصر، می‌توان به صلب بودن زیاد ساختارها در برابر عبور آب اشاره کردکه منجر به تغییر جهت مسیل‌ها شده است. همچنین مسدود شدن شیارهای آبگذر، در اثر فقدان نگهداری، عامل مهمی در متروک ماندن سازه‌های آبی بوده است.

تصویر ۱۶:
بازسازی تصویری از سازۀ آبی چغازنبیل در زمان حیات
(نقش‌آوران توس ۱۳۹۲، ۲۶۹)

تصویر ۱۷:
پایۀ مجسمه به شکل برج و بارو از دوران ایلام جدید، قرن ۸و۷ ق.م از جنس سنگ اهک به طول ۵۵ سانتیمتر، موزۀ لوور
(مجیدزاده ۱۳۸۶، ۱۹۱)

نتیجه

بررسی مطالعات انجام‌گرفته دربارهٔ عملکرد سازهٔ آبی حصار سوم محوطهٔ چغازنبیل در این تحقیق مشخص ساخت که این اثر تاریخی، به‌رغم نظریهٔ متداول پیشین (تصفیه‌خانه) احتمالاً با کارکرد دفع آب (زهکش) در محل حصار سوم ساخته شده است. جهت غالب شیب محوطه به‌سوی خارج از حصار سوم، فرم عناصر ساختاری و جزئیات اجرایی و همچنین وجود برخی آنومالی‌های مشابه از شواهد پنهان در دل خاک، در محل تلاقی سایر مسیل‌های محوطه با حصار سوم، این فرضیه را بیش از سایر فرضیات قوت می‌بخشد که سازهٔ مذکور در ارتباط با آب و دارای عملکرد دفعی بوده است. در تشریح وضعیت کنونی سازه می‌توان گفت در اطراف شهر باستانی، حصارهای مرتفعی قرار داشته که به‌علت داشتن ماهیت خشتی، بعدها با متروکه‌شدن شهر تخریب شده‌اند و در حال حاضر، پشته‌ای از آن‌ها باقی مانده است. لیکن ساختار آبی به‌علت آجری بودن و صلبیت نسبی در برخورد با آب، به‌تدریج سبب انحراف جریان مسیل شده و از آسیب بیشتر مصون مانده است.

باوجوداین، نگارندگان اعتقاد دارند اطلاع از کارکرد سازهٔ آبی حصار سوم چغازنبیل، زمانی جامع می‌شود که بررسی‌های باستان‌شناسی جدیدی در قالب طرح بازنگری در محل سازهٔ کنونی و نیز در نقاط مشکوک، به وجود سازه‌های مشابه تعریف گردد.

در واقع نتیجه‌ای که از این محاسبات می‌توان گرفت، فرضیه‌ای مبنی بر کارکرد تخلیه‌کننده برای سازهٔ آبی موجود در ضلع شرقی حصار سوم است. در حقیقت، یکی از فرضیه‌های موجود درخصوص عملکرد سازهٔ آبی در دوران باستان، از دیدگاه فنی و مهندسی آب تقویت می‌شود. لذا با توجه به اینکه دو آنومالی دیگر دربارهٔ دو سازهٔ آبی مدفون شناسایی در نقطهٔ تخلیه زهکش‌ها و زیرحوزه‌های دیگر قرار دارند، می‌توان به عملکرد تخلیهٔ زهکش‌ها برای هر سه سازهٔ آبی اشاره کرد.

در نهایت، تحقیق پیش رو با تحلیل مطالعات پیشین و کنترل نتایج جدید، فرضیهٔ دوم (عملکرد دفعی) را منطقی‌تر تشخیص داد؛ لیکن تا رسیدن به قطعیت گام بزرگ‌تری لازم است و آن انجام مطالعات باستان‌شناسی در قالب طرح بازبینی سازهٔ آبی حصار سوم چغازنبیل است که امیدواریم در آیندهٔ نزدیک انجام پذیرد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

سپاس

این پژوهش با حمایت معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران‌مرکز، موضوع قرارداد پژوهشی شمارهٔ ۱۴۰/۱۵۷۲۹۱ به انجام رسیده است. این مقاله یکی از نتایج اصلی و خروجی این طرح است؛ لذا نگارندگان کمال سپاس را از دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران‌مرکز دارند. همچنین از شرکت مهندسین مشاور نقش‌آوران توس و پایگاه میراث جهانی چغازنبیل، به‌دلیل همکاری در انجام مطالعات میدانی و آزمایشگاهی و در اختیار قرار دادن برخی از اسناد و مدارک بسیار سپاسگزاریم.

پی‌نوشت

* منظور از آنومالی (anomaly) در این تحقیق، محل‌هایی است که به‌سبب داشتن خاصیت مغناطیسی از محیط اطراف خود، قابل‌تشخیص است. در موضوع سازهٔ آبی، خاصیت مغناطیسی آجر (ذرات گل پخته) این کنتراست را نسبت به زمین بکر اطراف ایجاد می‌کند.

منابع

ـ استو، م. ج. ۱۳۷۳. *چغازنبیل، متون ایلامی و اکدی*. ج۳. ترجمهٔ گروه مترجمان. تهران: انتشارات سازمان میراث‌فرهنگی کشور.

ـ پورادا، ادیث. ۱۳۷۳. *چغازنبیل، حکاکی‌ها*. ج۴. ترجمهٔ گروه مترجمان. تهران: انتشارات سازمان میراث‌فرهنگی کشور.

ـ داودمقامی داریوش، عبدالرضا عمادی، و ابراهیم بیاتیان. ۱۳۸۱. *استخراج منحنی‌ها و ارائهٔ مدل‌های ریاضی* شدت‌ـ مدت‌ـ

فراوانی در ایستگاه باران‌نگار اصفهان.
ـ علیزاده، امین. ۱۳۷۳. روابط شدت‌ـ مدت‌ـ تناوب بارندگی در مشهد. *مجلهٔ علوم و صنایع کشاورزی* ۸ (۱): ص ۵۵-۶۶.
ـ گیرشمن، رومن. ۱۹۵۴. *چغازنبیل*. ترجمهٔ اصغر کریمی. ۱۳۷۳. تهران: انتشارات سازمان میراث‌فرهنگی کشور.
ـ مجیدزاده، یوسف. ۱۳۸۶. *تاریخ تمدن ایلام*. تهران: انتشارات مرکز نشر دانشگاهی.
ـ مفیدی نصرآبادی، بهزاد. ۱۳۷۸. *حفاری‌های چغازنبیل در زمستان ۱۳۷۸*. پایگاه میراث جهانی چغازنبیل. گزارش عملیات حفاری بین‌المللی.
ـ نقش‌آوران توس، شرکت مهندسین مشاور. ۱۳۹۲. *شناخت، علاج‌بخشی، مرمت و استحکام‌بخشی کلیهٔ سازه‌ها و بناهای آبی محوطهٔ تاریخی چغازنبیل*. مجموعه گزارش‌ها. گنجینهٔ آب سازمان آب و برق خوزستان.
- Beraldin, J.-A., Picard, M., El-Hakim, S.F., Godin, G., Valzano, V., Bandiera, A., and Latouche, D. 2002. Virtualizing a Byzantine Crypt by Combining High-resolution Textures with Laser Scanner 3D Data. In: Proceedings of VSMM. 3- 14.
- Boschi, Federica 2012. Magnetic Prospecting for the Archaeology of Classe (Ravenna). Archaeological Prospection 19: 219–227.
- EYGM. 2015. Cultural times The first global map of cultural and creative industries.
- Jones, David M. 2011. 3D Laser Scanning for Heritage (second edition) Advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture. English Heritage.
- Mofidi Nasrabadi, B. 2013. Planning aspects and the structure of the ancient oriental newly founded city in Chogha Zanbil (Reports of the science of history). in German language. Planungsaspekte und die Struktur der altorientalischen neugegründeten Stadt in Chogha Zanbil (Berichte aus der Geschichtswissenschaft). Shaker Press. ISBN-10: 384402333X.
- Mofidi-Nasrabadi, B. 2015. Reconstruction of the Ziqqurrat of Chogha Zanbil. Elamica 5: 37-51.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی