

زیرساخت‌های آبی و الگوهای بهره‌برداری از آب در محوطه دهقاید

Hydraulic Infrastructures and Patterns of Water Use at the Dehqaed Site

Zohreh Zehbari ^{1*}, Mehrdad Parsaei Borazjani ²,

Nasrollah Ebrahimi ³, Naghmeh Rafiee ⁴,

Samran Asiabani ⁵

زهره زهری ^{۱*}، مهرداد پارسی‌بrazجانی ^۲، نصرالله ابراهیمی ^۳، نغمه رفیعی ^۴، سامران آسیابانی ^۵

^۱ پژوهشگر پس‌دکترای دانشگاه فلیپس، ماربورگ، آلمان. نویسنده مسئول: zohreh.zehbari@gmail.com

^۲ دانشجوی دکتری باستان‌شناسی دانشگاه مازندران و اداره میراث فرهنگی استان بوشهر، بوشهر، ایران.

^۳ فارغ التحصیل دکتری باستان‌شناسی دانشگاه تهران و اداره میراث فرهنگی استان بوشهر، بوشهر، ایران.

^۴ کارشناسی ارشد باستان‌شناسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

^۵ دانشجوی دکتری باستان‌شناسی دانشگاه مونستر، آلمان.

¹ Postdoctoral researcher, Philipps-Universität Marburg, Germany.

Corresponding author: zohreh.zehbari@gmail.com

² PhD candidate in archaeology, University of Mazandaran; ICHTO, Bushehr

Branch, Bushehr, Iran.

³ PhD in archaeology, University of Tehran; ICHTO, Bushehr Branch, Bushehr,

Iran.

⁴ MA in archaeology, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.

⁵ PhD candidate in archaeology, Universität Münster, Germany.

چکیده

روستای دهقاید در ۴ کیلومتری شمال شهر برازجان، در شهرستان دشتستان استان بوشهر واقع است. در شمال این روستا، محوطه‌ای باستانی با همین نام قرار دارد که متشکل از ۳۶ تپه باستانی است. شواهد سفالی و معماری نشان می‌دهد که اگرچه استقرار در این محوطه از دوره‌های پیشین آغاز شده بود، اما اوج شکوفایی آن به دوره ساسانی بازمی‌گردد. تمرکز اصلی این نوشتار بر سازه‌های آبی این محوطه است که شامل چندین رشته کاریز، کانال‌های آب، پل‌بند و یک سازه کمتر شناخته‌شده به نام نرولاس است. در این پژوهش، با بهره‌گیری از روش‌های گوناگون و به‌ویژه روش‌های سنجش‌ازدور، مانند «یادگیری عمیق»، به مطالعه این سامانه‌های هیدرولیکی پرداخته شده است. با توجه به مباحث مطرح‌شده در مقاله، می‌توان دست‌کم برخی از این سازه‌ها را متعلق به دوره ساسانی دانست.

اطلاعات مقاله

تاریخ‌ها

دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۷

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۹

واژگان کلیدی

برازجان

محوطه دهقاید

زیرساخت‌های آبی

سنجش‌ازدور

روش «یادگیری عمیق»

کاریز

کانال‌های آبی

ساسانی

Abstract: The village of Dehqaed is located 4 km north of the city of Borazjan in Dashtestan County, Bushehr Province. To the north of the village lies an archaeological site bearing the same name, consisting of 36 archaeological mounds. Ceramic and architectural evidence indicates that, although occupation at the site began in earlier periods, its peak prosperity dates to the Sasanian period. The primary focus of this study is the water-management structures of the site, which include several qanat systems, water channels, a bridge-dam, and a lesser-known structure known as *nar-o-las*. These hydraulic systems have been investigated using various methods, particularly remote sensing techniques such as deep learning. Based on the discussions presented in this article, at least some of these structures can be attributed to the Sasanian period.

History

Received: April 06, 2025

Accepted: June 09, 2025

Keywords

Borazjan

Dehqaed site

Water Infrastructure

Remote Sensing

Deep Learning

Qanat

Water Channels

Sasanian

استناد: زهری، زهره، پارسی‌بrazجانی، مهرداد، ابراهیمی، نصرالله، رفیعی، نغمه، آسیابانی، سامران (۱۴۰۴). «زیرساخت‌های آبی و الگوهای بهره‌برداری از آب در محوطه دهقاید».

باستان‌شناسی، ۵ (۱): ۷۷-۱۰۵.

<https://doi.org/10.22034/archj.5.1.4>

© ۱۴۰۴ (۲۰۲۵) نویسندگان مقاله، مجله باستان‌شناسی، مجله پژوهشکده باستان‌شناسی ایران.

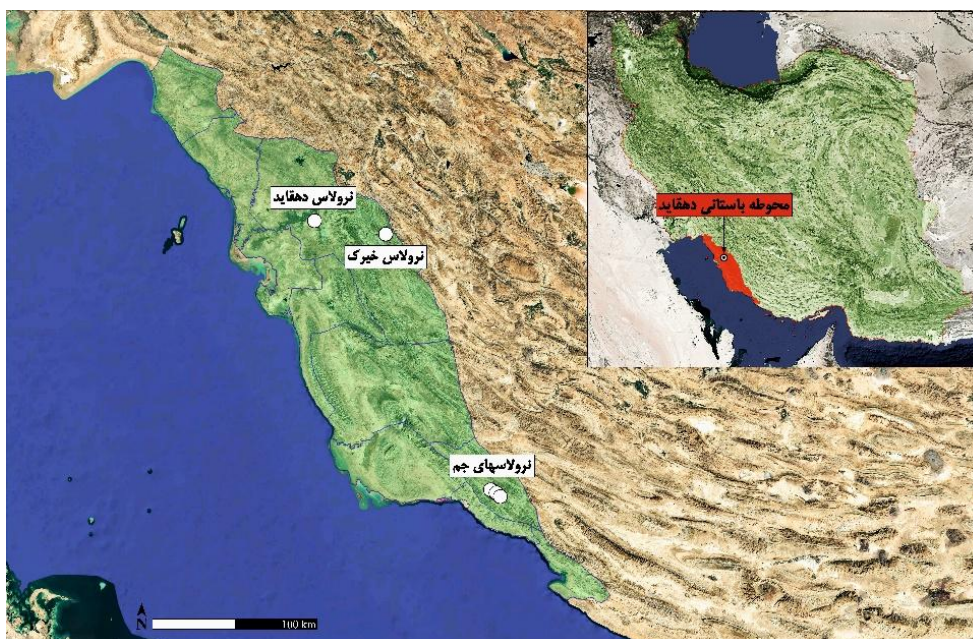
پیش‌برآوردان اسماعیل نیایی، به پاس سال باکوشش او در پژوهش‌های دشت برازجان

مقدمه

استان بوشهر در جنوب ایران، از استان‌های ساحلی کشور است و شامل ده شهرستان به نام‌های دیلم، گناوه، بوشهر، دشتستان، تنگستان، دشتی، دیر، جم، کنگان و عسلویه است (شکل ۱). این استان از نظر جغرافیایی به دو گروه اصلی کوهستانی و جلگه‌ای تقسیم می‌شود. در نواحی مرزی بوشهر با استان‌های فارس و کهگیلویه و بویراحمد، بیشتر نواحی کوهستانی هستند و هرچه بیشتر به سوی خلیج فارس پیش برویم، با نواحی جلگه‌ای مواجه می‌شویم. دشتستان بزرگ‌ترین شهرستان این استان است و بیشتر مساحت آن را دامنه‌های جنوبی زاگرس جنوبی دربر می‌گیرد که شامل چندین دشت و دره‌های میان‌کوهی می‌شود. در این بخش‌های میان‌کوهی، شواهد روشنی از سکونتگاه‌های گوناگون، به‌ویژه مربوط به دوره ساسانی و اوایل دوران اسلامی، مشاهده می‌شود. از جمله مهم‌ترین و پرتعدادترین مسیرهای باستانی کوهستان‌های فارس به جنوب ایران، مسیری است که از مجاورت دشت برازجان می‌گذرد. این دشت که به‌واسطه نزدیکی به شهر برازجان به این نام خوانده می‌شود، دربرگیرنده بخش‌هایی از دو

رود دائمی دالکی و شاپور است. دشت برازجان از بزرگ‌ترین دشت‌های استان بوشهر است که از سوی شرق با ارتفاعات زاگرس جنوبی و از غرب با نواحی پس‌کرانه خلیج فارس محدود می‌شود. شواهد روشنی از دوران مس‌سنگی تا دوران اسلامی در این دشت مشاهده می‌شود. اگرچه بیشتر محوطه‌ها مربوط به دوره ساسانی و اوایل دوران اسلامی هستند، اما وجود سه بنای شاهی هخامنشی به نام‌های چرخاب، سنگ سیاه و بردک سیاه، بیانگر اهمیت اداری - سیاسی این دشت، دست‌کم از دوره هخامنشی، است. در میانه این دشت و در جنوب رود دالکی، روستای دهقاید و در شمال آن، محوطه باستانی دهقاید قرار دارد (شکل‌های ۱ و ۲).

دشت برازجان از دیرباز محل فعالیت‌های کشاورزی بوده است. این دشت به‌واسطه برخورداری از خاک مناسب، مجاورت با دو رود دائمی و همچنین وجود شواهد مشخصی از سازوکارهای مدیریت آب، مانند رشته‌کاریزها، کانال‌های آبی، اُبردک^۱، نرولاس و پل‌بند، بیانگر مکانیزم کنترل آب و بهره‌گیری از آن به منظور کشت و برداشت محصولات کشاورزی بوده است. یکی از هسته‌های اصلی این فعالیت‌های کشاورزی، محوطه دهقاید است که نوشتار حاضر به بررسی این سازه‌ها در این محوطه می‌پردازد.



شکل ۱: محدوده استان بوشهر، محوطه دهقاید و نرولاس‌های دهقاید، خیرک و جم (نقشه پایه: Google Earth Pro؛ تهیه نقشه: ز. زهبری).

^۱ نوعی سازه آبی برای انتقال آب چاه به سطح زمین. بنگرید به

محوطه دهقاید

دهقاید نام روستایی در شمال شهر برازجان است که گاهی با نام محمدآباد نیز شناخته می‌شود (شکل ۱). در شمال این روستا، انبوهی از تپه‌های باستانی قرار دارد که در مجموع محوطه باستانی دهقاید را شکل می‌دهند.^۲ این محوطه باستانی با وسعت ۹/۸۰ کیلومتر مربع، دربردارنده دست‌کم ۳۶ تپه باستانی است که بیشتر آن‌ها بر تپه‌ماهورهای این منطقه ساخته شده‌اند و با توجه به وضعیت و تجمع تپه‌ها، احتمالاً با یک فضای شهری/روستایی مواجه هستیم (شکل ۲).

به‌نظر می‌رسد نخستین باستان‌شناسی که از محوطه باستانی دهقاید بازدید کرد، دانلد ویتکام^۳ بوده است. براساس آنچه وی منتشر کرده است، به‌نظر می‌رسد که ویتکام در سال ۱۹۷۳ تنها سه تپه از محوطه دهقاید را مشاهده کرده است (Whitcomb, 1987: 320, fig. E). پس از آن، این منطقه توسط باستان‌شناسان دیگری مورد مطالعه مختصر یا مفصل قرار گرفت (رهبر، ۱۳۷۸؛ سرفراز، ۱۳۸۵؛ یغمایی، ۱۳۸۷، ۱۳۹۴، ۱۴۰۲ الف و ب؛ زهیری، ۱۴۰۴؛ Carter et al., 2006؛ Zehbari et al., 2025؛ Zehbari et al., 2026).

سه تپه از محوطه دهقاید طی چند فصل توسط اسماعیل یغمایی کاوش و نتایج آن منتشر شد (یغمایی، ۱۳۸۷، ۱۳۹۴، ۱۴۰۲ الف و ب). این سه تپه شامل تل خشتی (شکل ۲، DTS013)، گودسعی (شکل ۲، DTS001) و تل خندق (شکل ۲، DTS025) می‌شوند که به‌دلیل همین کاوش‌ها شناخته‌شده‌تر نیز هستند؛ اما دهقاید محدود به این سه تپه باستانی نیست و یک آبادی متشکل از بخش‌های گوناگون بوده است. از این رو، جزئیات متنوع و متعددی از آن می‌تواند مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد. با این حال، نوشتار حاضر به‌طور متمرکز به بررسی روش‌های سنتی آبیاری و مدیریت آب در دهقاید می‌پردازد که احتمالاً می‌توان آن‌ها را هم‌زمان با خود محوطه دانست. محوطه دهقاید براساس شواهد معماری و نمونه‌های سفالی، در دوره ساسانی مورد سکونت بوده است (یغمایی، ۱۳۸۷؛ ۱۳۹۴؛ ۱۴۰۲ الف و ب؛

Zehbari et al., 2025). اگرچه برخی نمونه‌های سفالی بیانگر وجود لایه‌های قدیمی‌تر در برخی از تپه‌های محوطه دهقاید هستند (Carter et al., 2006)، اما عمده سازه‌های معماری، سفال‌ها و شواهد تکمیلی نشان می‌دهد که دست‌کم دوره شکوفایی این محوطه به عصر ساسانی تعلق داشته و تا اوایل دوران اسلامی نیز تداوم یافته است. مهم‌ترین بنای به‌دست‌آمده در دهقاید، یک آتشکده با معماری چهارطاقی و پایه آتشدان است که از تل خشتی (شکل ۲، DTS013) به‌دست آمده است. از همین تپه، چند مهر ساسانی نیز کشف شده است (زهیری، ۱۴۰۴؛ ۵۷).

روش‌شناسی

نویسندگان این مقاله در چند سال گذشته به مطالعه سازه‌های آبی و شیوه‌های کنترل آب در دشت برازجان پرداخته‌اند و در جای دیگری، سازوکارهای مدیریت آبی در دشت برازجان و ارتباط آن با مفهوم «چشم‌انداز سازمانی»^۴ در دوره ساسانی را نیز به بحث گذاشته‌اند (Zehbari et al., 2026). اما مقاله حاضر، با تمرکز بر محوطه دهقاید، به بررسی جزئیات جدیدتری درباره تأسیسات آبی موسوم به نرولاس، کاریزها و کانال‌های آبی دهقاید می‌پردازد. در این پژوهش، به‌منظور شناخت بیشتر سازه‌های آبی دهقاید و اهمیت آن‌ها، از روش‌های گوناگون بهره گرفته شده است (جدول ۱).

پس از مطالعات کتابخانه‌ای اولیه درباره جغرافیا و منظر باستان‌شناسی این محوطه، پیشینه روستای جدید دهقاید در جنوب محوطه باستانی و گزارش‌های قدیمی مربوط به این روستا نیز به‌دقت بررسی شد. ردپای آبیاری و کشاورزی در دشت برازجان را دست‌کم از اوایل سده نوزدهم میلادی می‌توان در متون و گزارش‌های تاریخی یافت. احتمالاً نخستین اشاره به نظام مدیریت آب در دشت برازجان در کتاب چارلز دارلیمپل بلگریو^۵ (۱۸۹۴–۱۹۶۹) دیده می‌شود که بر اساس یادداشت‌های منتشرنشده فرانسویس اراسکین^۶ لاخ^۷ از سال‌های ۱۸۱۸ تا ۱۸۲۰ نوشته شده است. وی درباره منطقه حاصلخیز اطراف

باستان‌شناسی و اجتماعی در ارتباط با حاکمیت عمل می‌کند و در نتیجه با توجه به اهمیتی که آن ساختار حاکمیتی به بناهای عام المنفعه و جمعی مانند پل، کاریز و یا جاده‌سازی‌ها و مواردی از این دست می‌داده، چشم‌انداز منطقه نیز تغییر می‌کرده است.

^۵ Sir Charles Dalrymple Belgrave.

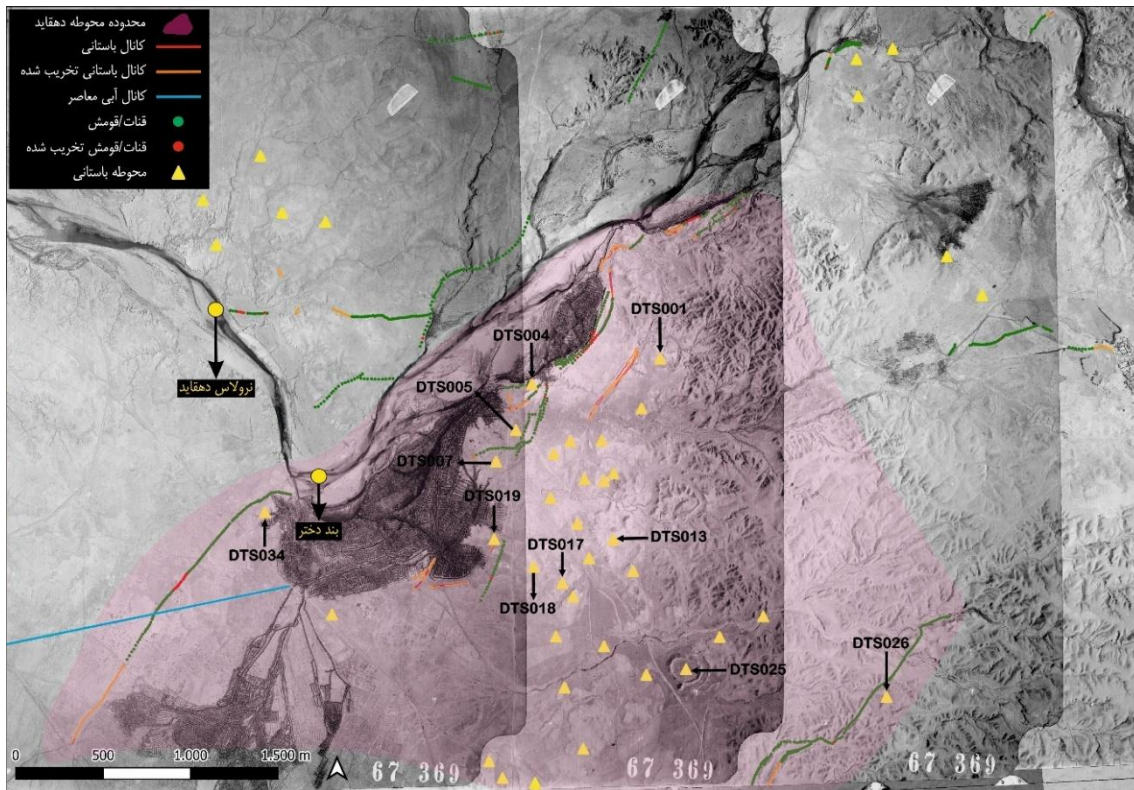
^۶ Francis Erskine Loch.

^۲ در ادامه نوشتار هرگاه به «دهقاید» اشاره شد، منظور محوطه باستانی دهقاید است و هر زمان اشاره به روستای جدیدتر جنوب این محوطه باشد، از «روستای دهقاید» استفاده خواهد شد.

^۳ Donald Whitcomb

^۴ Institutional landscape: منظور از این اصطلاح، بررسی وضعیت چشم‌انداز یک منطقه است که در آن می‌توان تأثیر مستقیم و یا غیرمستقیم یک حاکمیت سیاسی و اداری را درک کرد. به عبارت دیگر، این چشم‌انداز

برازجان اشاره می‌کند که این ناحیه دربردارنده باغ‌های سرسبز و میوه‌ای بوده است که به‌وسیله کاریزهای زیرزمینی آبیاری می‌شده‌اند و این کاریزها آب را از چشمه‌هایی در زیر کوه‌های دوردست به سطح زمین منتقل می‌کرده‌اند (بلغریو، ۱۳۶۹: ۱۶۶).



شکل ۲: دشت برازجان و محدوده محوطه باستانی دهقاید و سازه‌های آبی آن از قبیل کاریز/قوش و کانال‌های آب (نقشه پایه: عکس هوایی سال ۱۳۴۶ از سازمان نقشه برداری؛ ژئورفرنس: QGIS؛ تهیه نقشه: ل. اشپورنی و ز. ز. هبری).

هستند، از اطلاعات شفاهی و رویکرد قوم‌باستان‌شناسی نیز بهره فراوان برده‌اند. افزون بر این، در این نوشتار بخشی از نتایج بررسی باستان‌شناختی شهرستان جم در سال ۱۳۹۸، به سرپرستی نغمه رفیعی، نیز مورد استفاده قرار گرفته است (رفیعی و پارسایی برازجانی، ۱۳۹۹). گذشته از فعالیت‌های میدانی و بررسی منابع متنی و گزارش‌های باستان‌شناسی، مطالعات «سنجش از دور»^۸ از پایه‌های اصلی این نوشتار به‌شمار می‌رود. در این راستا، نویسندگان از تصاویر متعدد هوایی که در سال‌های مختلف از منطقه تهیه شده‌اند، بهره فراوان برده‌اند. این تصاویر به‌خوبی وضعیت منطقه را پیش از گسترش روستاها و شهرهای پیرامون نشان می‌دهند و از این طریق می‌توان شواهد آشکاری از سازه‌های آبی را که امروزه به‌طور کامل نابود شده‌اند، مشاهده کرد. افزون بر این، با استفاده از روش‌های جدید ارتوموزاییک،

میرزا حسن حسینی فسایی (۱۲۳۷-۱۳۱۶ ه‍.ق)، که کتاب *فرسامه ناصری* را در سال ۱۳۱۳ ه‍.ق (۱۲۷۴ ه‍.ش/ ۱۸۹۵-۱۸۹۶ م.) نگاشته است، از آبادی «ده کاید» در یک فرسخی غرب برازجان نام می‌برد (حسینی فسائی، ۱۳۷۸: ۱۳۲۵). چند سال بعد، جان گوردون لوریمر^۷ (۱۸۷۰-۱۹۱۴ م.)، دیپلمات بریتانیایی، در گزارش مفصل خود به توصیف روستای دهقاید می‌پردازد (Lorimer, 1908: 387). این گونه اشارات قدیمی‌تر از آن جهت سودمند هستند که ما را با جزئیات آبیاری و فعالیت‌های کشاورزی منطقه، پیش از به‌کارگیری ابزارها و روش‌های مدرن، آشنا می‌کنند.

همچنین، بازدیدهای میدانی از شواهد باقی‌مانده این سازه‌های آبی از ضروریات پژوهش حاضر بود که همگی طی چند مرحله انجام شد. از آنجا که نویسندگان با این ناحیه به‌خوبی آشنا

^۸ Remote Sensing

^۷ John Gordon Lorimer

کمک «تبدیل هاف دایره‌ای»^{۱۴} یا پردازش‌های مورفولوژیک، انجام می‌شد. اما این روش‌ها در شرایط نوری نامناسب یا زمانی که کنتراست دهانه‌ها کم بود، دقت چندانی نداشتند (Luo *et al.*, 2014). در مرحله بعد، استفاده از «یادگیری عمیق» بر روی تصاویر تاریخی تک‌باند (مانند CORONA و HEXAGON)^{۱۵} رواج یافت. این شیوه نشان داد که می‌توان شکل نیم‌دایره‌ای و سایه‌دار دهانه‌های کاریز را بهتر شناسایی کرد و مسیر آن‌ها را در مقیاس‌های وسیع‌تر ترسیم نمود. در همین حال، بررسی‌های میدانی و میان‌رشته‌ای نیز تأکید داشتند که هم‌راستایی و فاصله‌گذاری منظم دهانه‌ها نشانه وجود رشته‌کاریز است (Ilniyaz *et al.*, 2025; Soroush *et al.*, 2020).

در تازه‌ترین پژوهش‌ها، از تصاویر KH-9 HEXAGON همراه با چارچوب‌های YOLO/Transformer و داده‌های ترکیبی استفاده شده است. این رویکرد موجب افزایش دقت شناسایی، به‌ویژه برای چاه‌های کوچک، و همچنین امکان مقایسه و تعمیم نتایج در مناطق مختلف شده است (Bulawka *et al.*, 2024).

با توجه به آنچه گفته شد، در پژوهش حاضر مسئله شناسایی دهانه‌های میل‌های کاریز دهقاید به‌عنوان «تشخیص اشیای کوچک در تصویر تک‌باند» تعریف شد. برای دستیابی به تعادل میان سرعت و دقت و نیز کاهش وابستگی به ویژگی‌های دست‌ساز، از مدل RT-DETRv2 با ستون فقرات-ResNet^{۱۶} 50 استفاده شد؛ مدلی که کارایی آن در سناریوهای واقعی به اثبات رسیده است. داده‌های ورودی از تصاویر پان‌کروماتیک تهیه شد و داده‌های آموزشی به‌صورت تراشه‌های ۵۱۲×۵۱۲ پیکسلی استخراج گردید. برچسب‌گذاری بر محور دهانه‌های کاریز انجام شد و به‌صورت مستطیل‌هایی دقیق بر روی میل‌های دایره‌ای و سایه‌دار ثبت گردید. برای جلوگیری از سوگیری مکانی، تفکیک

مدل رقومی ارتفاع (DEM) و تصاویر هوایی و ماهواره‌ای جدید، مطالعه سنجش از دور تکمیل شده است.

به‌علاوه، در این پژوهش برای مطالعه کاریزهای منطقه از روش «یادگیری عمیق»^۹ نیز استفاده شده است که یکی از رویکردهای نوین در این حوزه به‌شمار می‌رود. یادگیری عمیق با بهره‌گیری از شبکه‌های عصبی چندلایه^{۱۰} می‌تواند ویژگی‌ها را به‌صورت سلسله‌مراتبی از داده‌ها استخراج کند و در دهه‌های اخیر تحولی جدی در بینایی رایانه‌ای^{۱۱} (رده‌بندی، تشخیص و بخش‌بندی) ایجاد کرده است (LeCun *et al.*, 2015). کاربرد این روش در سنجش از دور نیز فراتر از مرحله آزمایشی رفته و اکنون به ابزاری پرکاربرد تبدیل شده است (Ma *et al.*, 2019; Zhu *et al.*, 2017).

در سال‌های اخیر، مدل‌های «RT-DETR» و «RT-DETRv2» با طراحی‌هایی همچون رمزگشایی کارآمد، انتخاب هوشمند مبتنی بر هم‌پوشانی (IoU) و بهبود راهبردهای آموزشی، توانسته‌اند تعادل بهتری میان سرعت و دقت ایجاد کنند. این ویژگی‌ها سبب شده‌اند که این مدل‌ها در کاربردهای واقعی، به‌ویژه برای شناسایی اجسام کوچک مانند دهانه‌میل‌های کاریز، عملکردی قابل اعتماد داشته باشند و زمان استنتاج^{۱۲} را کاهش دهند (Zhao *et al.*, 2024). در جامعه باستان‌سنجی نیز استفاده از این ابزارها رو به گسترش است؛ از شناسایی تپه‌های باستانی در تصاویر تاریخی کرونا (CORONA)^{۱۳} گرفته تا آشکارسازی ساختارهای زمین‌ساختی در داده‌های LiDAR که همگی نشانگر جایگاه روبه‌رشد یادگیری عمیق در پژوهش‌های باستان‌شناسی هستند (Fiorucci *et al.*, 2022; Trier *et al.*, 2021; Vadineanu *et al.*, 2024). در این رویکرد، شناسایی سامانه‌های کاریزی اهمیت ویژه‌ای دارد. در آغاز، پژوهش‌ها بیشتر با روش‌های کلاسیک، مانند شناسایی دهانه‌میل‌های کاریز به

^۹ Deep learning.

^{۱۰} Multi-layer neural networks.

^{۱۱} Computer vision.

^{۱۲} زمان استنتاج (inference time)، مدت زمانی است که یک مدل یادگیری ماشین برای پردازش داده‌های ورودی و تولید خروجی یا پیش‌بینی صرف می‌کند.

^{۱۳} منظور از تصاویر کرونا، تصاویری است که توسط ماهواره‌های شناسایی سری CORONA ایالات متحده بین سال‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۲ گرفته شدند و تا سال ۱۹۹۵ کاملاً محرمانه بودند اما بعدتر از طریق وبگاه USGS (United States Geological Survey) در اختیار عموم قرار گرفتند.

^{۱۴} Circle Hough Transform: روشی است که در پردازش تصویر دیجیتال برای تشخیص دایره‌ها در تصاویر ناقص استفاده می‌شود.

^{۱۵} منظور از هگزاگون (HEXAGON) تصاویر گرفته شده توسط ماهواره‌های جاسوسی KH-9 ایالات متحده از ۱۹۷۱ تا ۱۹۸۴ می‌باشد که امروزه از طریق وبگاه USGS (United States Geological Survey) قابل دسترس هستند.

^{۱۶} ستون فقرات ResNet-50 (ResNet-50 backbone): یک شبکه عصبی کانولوشنی ۵۰ لایه با اتصالات باقیمانده (Residual Connections) است که برای استخراج ویژگی‌های چندمقیاسی تصویر به‌کار می‌رود و به‌دلیل همگرایی پایدار و توازن خوب میان دقت و هزینه محاسباتی به‌عنوان بخش استخراج ویژگی مدل‌های «یادگیری عمیق» تشخیص/بخش‌بندی استفاده می‌شود.

کرد که دهانه‌ها در امتداد یک مسیر و با فاصله‌هایی نسبتاً یکنواخت و تکرار شونده قرار گرفته باشند. این فرایند برای اعتبارسنجی اولیه نتایج و شناسایی مسیرهایی که نیازمند جست‌وجوی شواهد تکمیلی هستند، ضروری به نظر می‌رسید. در این نوشتار، صحت‌سنجی نتایج مدل در دهقاید با استفاده از مقایسه بصری انجام شده است. همچنین، با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای^{۲۱} مربوط به سال‌های ۱۳۹۲، ۱۳۹۳، ۱۳۹۶، ۱۳۹۸، ۱۳۹۹، ۱۴۰۰، ۱۴۰۱، ۱۴۰۲، ۱۴۰۳ و ۱۴۰۴ و نیز بازبینی مجدد تصویر هگزگون، تلاش شد مسیر خطوط به‌دست‌آمده از طریق شناسایی دهانه‌های بیشتر مورد ارزیابی و صحت‌سنجی قرار گیرد (شکل ۳).

سازه‌های آبی دهقاید

در تصاویر ماهواره‌ای جدید از محوطه دهقاید، رشته کاری‌هایی در بخش‌های شمالی و مجاور رود دالکی مشاهده می‌شود. همچنین یک رشته کاریز دیگر در بخش جنوب‌شرقی محوطه قابل تشخیص است. نزدیک به تپه باغ میل (شکل ۲، DTS034) نیز بقایای پل‌بند دختر (شکل ۲) بر رود دالکی را می‌توان دید؛ اما با مقایسه تصاویر ماهواره‌ای و هوایی جدید با تصاویر هوایی قدیمی‌تر متوجه شدیم که در این تصاویر جدید بخش زیادی از سامانه‌های آبی دهقاید دیده نمی‌شود زیرا مدت زمان زیادی از تخریب آن‌ها می‌گذرد. این شواهد بیانگر مدیریت آب در دوران پیشامدرن در این منطقه است که طی گسترش روستا و همچنین پس از جایگزینی روش‌های سنتی با روش‌های مدرن از دهه ۴۰ خورشیدی کم‌کم از خاطره‌ها رفته‌اند. از این رو، مطالعه و ثبت اطلاعات راجع به آن اهمیتی دوچندان می‌یابد. در ادامه به هریک از سازه‌های آبی دهقاید پرداخته خواهد شد و در بخش پایانی (بحث و تحلیل نتایج) به بررسی گاهنگاری آن‌ها و سایر بحث‌های مربوطه می‌پردازیم.

داده‌های آموزش و اعتبارسنجی به‌صورت جداسازی فضایی انجام شد و ۲۰ درصد از تراشه‌ها به مرحله اعتبارسنجی اختصاص یافت. آموزش مدل بر روی کارت گرافیک^{۱۷}، با دسته‌های چهارتایی و نرخ یادگیری 5e-5 انجام شد.

به‌منظور حفظ ویژگی‌های پرتویی و تونالیت تصاویر تاریخی و جلوگیری از برش نامتعارف الگوهای خطی، از به‌کارگیری تکنیک‌های «افزایش داده»^{۱۸} صرف‌نظر شد. معیار پایش مدل، «زمان اعتبارسنجی»^{۱۹} بود و با استفاده از روش توقف زودهنگام، بهترین مدل به‌صورت خودکار ذخیره شد. برای آزمون مدل، از یک تصویر HEXAGON KH-9 ثبت‌شده در ۲۲ خرداد ۱۳۵۸ استفاده شد.^{۲۰} انتخاب این تصویر به دلیل زاویه پایین‌تر خورشید در اوایل سال و ایجاد سایه‌های بلندتر در دهانه‌ها بود که فرایند شناسایی را تسهیل می‌کرد. البته سایر تصاویر HEXAGON نیز بررسی شدند، اما معیار اصلی انتخاب، همین ویژگی نوری بود. آماده‌سازی و پیش‌پردازش داده‌ها در Python و با استفاده از کتابخانه‌های GDAL/rasterio برای داده‌های رستری و GeoPandas/Shapely برای داده‌های برداری انجام گرفت. سپس برچسب‌گذاری و کنترل کیفی در QGIS صورت پذیرفت و پیاده‌سازی و آموزش مدل RT-DETRv2 با ستون فقرات ResNet-50 در PyTorch (به‌همراه TorchVision) انجام شد. همچنین، روند آموزش و ارزیابی مدل با استفاده از TensorBoard پایش گردید.

با هدف تبدیل دهانه‌های تهویه احتمالی به «رشته کاریز» و بررسی روابط میان یافته‌ها، ابتدا جدولی از نزدیک‌ترین دهانه‌ها با شعاع جست‌وجوی ۲۰۰ متر تهیه شد؛ به‌گونه‌ای که برای هر دهانه حداکثر دو همسایه نزدیک در نظر گرفته شد تا زوج‌های مکانی محتمل استخراج شوند. سپس این زوج‌ها با خطچین‌هایی به یکدیگر متصل شدند تا الگوهای هم‌خطی آشکار گردد.

فرض اصلی آن بود که به‌دلیل هندسه خاص کاریز، تنها زمانی می‌توان مجموعه‌ای از نقاط را به‌عنوان رشته کاریز تأیید

¹⁷ NVIDIA Quadro RTX 3000 Mobile.

¹⁸ منظور از افزایش داده (Data Augmentation) ساختن نمونه‌های آموزشی جدید از همان تصاویر موجود و با اعمال تغییرهای کنترل‌شده و با هدف رویت مدل نمونه‌های بیشتری است، بدون اینکه واقعاً داده تازه‌ای جمع‌آوری کنیم. بنابراین هدف آن بالا بردن تنوع داده ورودی به مدل، کاهش بیش‌برازش (overfitting)، و بهبود تعمیم‌پذیری (generalization) است.

¹⁹ زمان اعتبارسنجی (Validation loss): مقداری است که نشان می‌دهد مدل «یادگیری عمیق» روی داده‌های نبدیده مجموعه اعتبارسنجی (validation set) چقدر بد/خوب عمل می‌کند.

²⁰ کد تصویر در وبگاه سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده: D3C1215-300716A028.

²¹ Esri's World Imagery (Wayback).

جدول ۱: روش‌شناسی به کارگرفته شده در نوشتار حاضر.	
روش مطالعه	نوع مطالعه
بررسی گزارش‌هایی از آبیاری و کشاورزی منطقه از اوایل سده ۱۹ میلادی به بعد	گزارش فرانسیس اراسکین لاخ از سال‌های ۱۱۹۶ ه‍.ش تا ۱۱۹۹ ه‍.ش
	«فارسنامه ناصری» نوشته میرزا حسن حسینی فسایی در سال ۱۲۷۴ ه‍.ش
مطالعه منابع مکتوب تاریخی	«دانشنامه خلیج فارس، عمان و عربستان مرکزی» نوشته جان گوردون لوریمر از سال ۱۲۸۷ ه‍.ش
	متون ساسانی مانند مادیان هزاردستان، وندیداد و سایر کتب اوایل دوران اسلامی مانند استخراج آب‌های پنهان نوشته الکرجی در سده ۴ ه‍.ق
مطالعه پیشینه باستان‌شناسی منطقه	مطالعه گزارش‌های کاوش‌ها و بررسی دشت برازجان و دهقاید شامل بررسی‌های ویتکام و معرفی وی از کانال انگالی، انتشارات مستخرج از کاوش‌های اسماعیل یغمایی و بررسی‌های علی اکبر سرفراز، گزارش هیئت مشترک ایرانی و انگلیسی به سرپرستی رابرت کارتر و حسین توفیقیان و مطالعات جدیدتر صورت گرفته توسط نویسندگان این نوشتار
فعالیت‌های میدانی	بررسی شهرستان جم به سرپرستی نغمه رفیعی در سال ۱۳۹۸ و سایر بازدیدهای میدانی از نواحی دیگر توسط نویسندگان به منظور جستجوی کانال انگالی، کاریزها و کانال‌های آبی دهقاید
اطلاعات شفاهی و مطالعات قوم‌باستان‌شناسی	گفتگوهای متعدد با ساکنان روستای دهقاید و برازجان طی سال‌های مختلف راجع به روش‌های سنتی آبیاری در منطقه و دریافت گزارش‌های محلی با موضوعات گوناگون مانند پدیدار شدن نرولاس دهقاید
	تصاویر هوایی قدیمی شامل تصاویر سال‌های ۱۳۴۶ و ۱۳۵۶ از سازمان نقشه‌برداری کشور و تصاویر هگزگون (USGS) از سال‌های ۱۳۵۹ و ۱۳۶۲
سنجش از دور	تصاویر هوایی جدید
	تصاویر اورتوموزایک
	مدل رقومی ارتفاع
	به کارگیری ابزارهای Google Earth Pro ، QGIS و Esri's World Imagery (Wayback)
استفاده از مدل «یادگیری عمیق» بر روی تصویر هگزگون سال ۱۳۵۸	

جدول ۲: تقسیم‌بندی کاریزها براساس معیارهای گوناگون ^{۳۲}		
معیار طبقه‌بندی کاریزها	گروه‌ها	توضیحات
مکان قرارگیری	کوهستانی	واقع در کوهستان‌ها، طول کوتاه‌تر، مادر چاه کم عمق‌تر و دبی بالا
	کوهپایه‌ای	واقع در آبرفت‌های کوهپایه‌ها، طول و دبی کم اما مادرچاه عمیق‌تر
	دشتی	واقع در آبرفت دشت‌ها با مادرچاه متوسط تا عمیق و دبی تقریباً ثابت
	چاه	حفر مادرچاه در لایه آبدار آبخوان
نوع منبع آب	چشمه کاریز	تغذیه از چشمه و آبدی آن در ارتفاعات وابسته به میزان بارش
	مسیل‌ها و آبراهه‌ها	واقع در بستر مسیل یا آبراهه و گاهی مجاور سدها
	دریاچه و تالاب	تغذیه از زهکش توده‌های آب واقع در سطح زمین
	قمش / سفته / منگل	تغذیه از رودخانه‌ها و مشکل اختلاف ارتفاع رود تا زمین برای دستیابی به آب را حل می‌کند.
نحوه اجرای میل‌ها	شعاعی	به صورت شعاعی و واقع در دشت‌های محصور با ارتفاعات و به سمت مرکز هدایت می‌شوند.
	متوالی	قرارگیری محل حفر مادرچاه کاریز جدید در جایی که کشتزارهای کاریز قبلی (بالادست) تمام می‌شدند.
	موازی	موازی با ارتفاعات در دشت و واقع در دامنه رشته‌کوه‌ها و استقرارها
	چند شاخه	اتصال کوره‌های فرعی در مسیرها
نحوه اجرای کوره‌ها (تونل‌های افقی)	دوطبقه	امتداد کوره‌های کاریز به صورت موازی اما در دو تراز مختلف
	دوقلو	وجود دو کوره مجاور اما در یک تراز
	پلکانی	کوره‌های کاریز پلکانی به دلیل شکستن شیب زیاد در کاریز و کاهش طول کاریز

^{۳۲} در تهیه این جدول از این منابع کمک گرفته شده است: Semsar Yazdi and Labbaf Khaneiki, 2017: 28-31؛ طباطبایی و خزیمه نژاد، ۱۴۰۱: ۵، جدول ۱.

کاريز

کاريز سامانه‌ای مهندسی‌شده برای استحصال و انتقال منابع آب به اراضی کشاورزی و کانون‌های زیستی است که به‌عنوان پایدارترین فناوری سازگار با شرایط اقلیمی و ژئومورفولوژیک بخش‌های وسیعی از نواحی خشک ایران شناخته می‌شود (طباطبایی و خزیمه نژاد، ۱۴۰۱: ۱۷). کاريزها اغلب به عنوان مهم‌ترین سازه آبی در ایران و سایر سرزمین‌های خشک و کم آب قلمداد می‌شوند و ایران از سرزمین‌های پیشرو در مدیریت آب و ساخت کاريز بوده است (English, 1968; 1998; Wilkinson). (et al., 2012: 156. 167). الکرجی (سده ۴ هجری)، ریاضیدان ایرانی که در حوزه مطالعات آب‌شناسی بسیار فعال بوده است، در کتاب خود «استخراج آب‌های پنهان» به تفصیل به موضوعات مربوط به کاريز می‌پردازد (الکرجی، ۱۳۷۳) که بیانگر سنت استفاده از این فناوری از سده‌های پیش از نگارش کتاب است. سامانه‌های کاريزی دارای چند بخش اصلی هستند؛ شامل مادرچاه یا چاهی که آب به آن وارد می‌شود، میل‌های کاريز که به تناوب به تونل افقی (کوره) — که آب در آن جاری است — متصل می‌شوند و مظهر کاريز؛ یعنی نقطه‌ای که آب به سطح زمین می‌رسد و اغلب در نزدیک روستا یا زمین‌های کشاورزی قرار دارد. بنا بر آمار رسمی مربوط به سال آبی ۱۳۶۹ – ۱۳۶۸، در ایران حدود ۳۳۰۷۹ رشته کاريز شناسایی شده که مجموع دبی (آب‌دهی) ^{۲۳} سالانه آن‌ها نزدیک به ۸/۸ میلیارد مترمکعب گزارش شده است (مالکی و خورشیدی آقایی، ۱۳۸۴: ۹). کاريزها بر اساس معیارهای گوناگون قابل تقسیم‌بندی هستند. گذشته از معیارهایی همچون طول، عمق و میزان دبی، دسته‌بندی کاريزها برپایه نحوه اجرای میل‌ها، نوع منبع آب و مکان استقرار کاريز نیز حائز اهمیت است (جدول ۲).

کاريزها به دلایل متعددی ساخته می‌شده‌اند؛ گاهی به منظور انتقال آب قابل شرب به سطح زمین تعبیه می‌شده‌اند و گاهی برای بهره‌برداری از آب‌هایی که مناسب نوشیدن نبوده‌اند، اما همچنان برای کشاورزی مطلوب به‌شمار می‌رفته‌اند. افزون بر این، گروه سومی از کاريزها با هدف زهکشی زمین و جمع‌آوری آب‌های مزاحم و مخرب ساخته شده‌اند که نمونه آن را در منطقه زیراه در دشت برازجان مشاهده می‌کنیم. در این منطقه، از آب‌های غیرقابل استفاده به بهترین نحو برای به حرکت درآوردن آسیاب‌های آبی بهره گرفته شده است (Zehbari et al., 2026).

از نظر محل قرارگیری، سامانه‌های کاريزی دهقاید در زمره کاريزهای دشتی قرار می‌گیرند. از جنبه نحوه اجرای کوره‌ها، متأسفانه نمی‌توان اظهار نظر دقیق کرد، زیرا تقریباً تمامی کاريزهای دهقاید پرشده‌اند و امکان بررسی مستقیم کوره‌های آن‌ها وجود ندارد.

از نظر منبع آب، کاريزها را می‌توان به پنج گروه تقسیم کرد (جدول ۲). گروهی که بیشتر شناخته شده‌اند، آب را از سفره‌های زیرزمینی یا چاه‌ها استخراج می‌کنند و در واقع کاريزهای آبخوان تغذیه هستند. اما گروه دیگری که کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند، آب خود را از رودخانه‌ها تأمین می‌کنند. این نوع کاريزها در برخی مناطق، ازجمله خوزستان، با نام «قُمش» و در برخی دیگر با عنوان «سُفته» (رکنی و اسلامی، ۱۳۷۹: ۶۱۹) یا «مَنگَل» (طباطبایی و خزیمه نژاد، ۱۴۰۱: ۶) شناخته می‌شوند.^{۲۴} کاريزهای رودتغذیه یا قُمش‌ها از نظر ساختاری با دیگر کاريزها همسان‌اند، زیرا دارای کوره، میله‌چاه‌های متعدد و مظهر هستند. تمایز اصلی آن‌ها در شیوه تأمین آب است؛ بدین صورت که جریان آب از طریق نهر یا تونل‌های آبرسان و با بهره‌گیری از سازه‌ای موسوم به «دُردانه» به داخل کاريز هدایت می‌شود. دُردانه‌ها دهانه‌هایی رو به رودخانه بودند که معمولاً با آجر و قلوه‌سنگ‌های رودخانه‌ای ساخته می‌شدند و در محل قوس‌های رودخانه قرار می‌گرفتند تا آب به آسانی وارد تونل کاريز شود (همچنین بنگرید به زلّی و دیگران، ۱۴۰۳: ۱۸۲-۱۸۱؛ پطروشفسکی، ۱۳۴۴: ۲۱۸-۲۱۷). از قرار معلوم، قُمش‌ها دست کم از سده ۹ ه.ق. (۱۵ میلادی) فن‌آوری شناخته‌شده‌ای در جنوب ایران بوده‌اند، زیرا در سفرنامه جوزافا باربارو و آمبروسيو کنتارینی، دیپلمات‌ها و تاجران ونیزی، به این نوع کاريز اشاره شده است (Barbaro and Contarini, 1873: 70). در دهقاید، از نظر منبع آب، دو دسته کاريز قابل تشخیص است. کاريزهایی که در مجاورت رود دالکی قرار دارند، به رودخانه متصل بوده و از آن تغذیه می‌شده‌اند؛ بنابراین در گروه قُمش‌ها قرار می‌گیرند. در مقابل، کاريزهایی که در نزدیکی تپه‌ماهورهای جنوب‌شرقی محوطه واقع شده‌اند، احتمالاً آب خود را از سفره‌های زیرزمینی تأمین می‌کرده‌اند (شکل ۲). نمونه‌های قُمش در سایر نقاط ایران (Semsar Yazdi and Labbaf Khaneiki, 2017: 30؛ رکنی و اسلامی، ۱۳۷۹) و همچنین بین‌النهرین نیز گزارش شده‌اند (Morandi and Bonacossi, 2018: 100). از نمونه‌های قُمش دهقاید که

^{۲۴} در این نوشتار از اصطلاح قُمش استفاده شده است.

²³ Discharge

همسایه»، قطعات گسسته مسیرها به هم متصل شدند. بخشی از نتایج حاصل از تلفیق این مدل با تصاویر هوایی چندزمانه (KH-9 و Esri World Imagery (Wayback) در مقیاسی کوچکتر و به منظور مشاهده جزئیات بیشتر در شکل ۳ قابل مشاهده است. نقشه نهایی نتایج (شکل ۴) نشان می‌دهد که کاندیداهای شناسایی شده با روش «یادگیری عمیق» (علامت‌های مثبت قرمز) پس از اتصال به روش «نزدیک‌ترین همسایه» (خطچین‌های سیاه، خاکستری و سفید) به رشته‌هایی کمابیش خطی با فاصله‌های نسبتاً یکنواخت تبدیل می‌شوند که از الگوهای شاخص کاریز به‌شمار می‌رود.

رنگ این خطچین‌ها میزان اطمینان یا احتمال خطا در رشته کاریزهای پیشنهادی را نشان می‌دهد؛ به‌گونه‌ای که خطچین‌های سفید بیانگر احتمال خطای بیشتر، خطچین‌های خاکستری نشان‌دهنده احتمال خطای کمتر و خطچین‌های سیاه حاکی از بیشترین میزان اطمینان و کمترین احتمال خطا هستند. از این‌رو، رشته‌های مشخص شده با خطچین‌های سیاه و سپس خاکستری را می‌توان با احتمال خطای اندک به‌عنوان رشته کاریز در نظر گرفت. در نتیجه، نقشه بازسازی شده (شکل ۴) مسیرهای اولویت‌دار برای صحت‌سنجی میدانی و جست‌وجوی شواهد تکمیلی، مانند بقایای مظهر، سازه‌های دُردانه و مخازن احتمالی را مشخص می‌کند. پایش چندزمانه با تصاویر سال‌های ۱۳۵۸ تا ۱۴۰۴ / ۱۹۷۹ تا ۲۰۲۵ (دایره‌های رنگی) نیز تکرار مکانی بسیاری از میل‌ها را تأیید کرده و هم‌پوشانی قابل توجهی با رشته کاریزهای از پیش مستند شده نشان می‌دهد که بیانگر میزان بالای اعتبار نتایج است.

بنابراین، برخلاف آنچه در ابتدا تصور می‌کردیم (شکل ۲)، دهقاید و مناطق اطراف آن به ۱۸ رشته کاریز محدود نمی‌شود. نتایج حاصل از رویکرد «یادگیری عمیق» وجود رشته کاریزهای متعدد دیگری را در مجاورت تپه‌های دهقاید پیشنهاد می‌کند. از آنجا که در تمامی این کاریزهای پیشنهادی موفق به شناسایی میل‌های پراکنده آن‌ها در تصاویر Esri شده‌ایم، می‌توان نتایج این مطالعه را از این منظر معتبر دانست. بر اساس یافته‌های جدید، روشن شد که در پیرامون بیشتر تپه‌های دهقاید، کاریزهایی وجود داشته‌اند که امروزه آثار اندکی از آن‌ها بر جای مانده است. این موضوع می‌تواند نشانگر ارتباط و، به احتمال زیاد، گاهنگاری مشترک این کاریزها با تپه‌های دهقاید باشد.

مقایسه شکل‌های ۲ و ۴ در محدوده تپه‌های نقاره‌خونه (DTS004)، DTS005 و DTS007 نشان می‌دهد که رشته

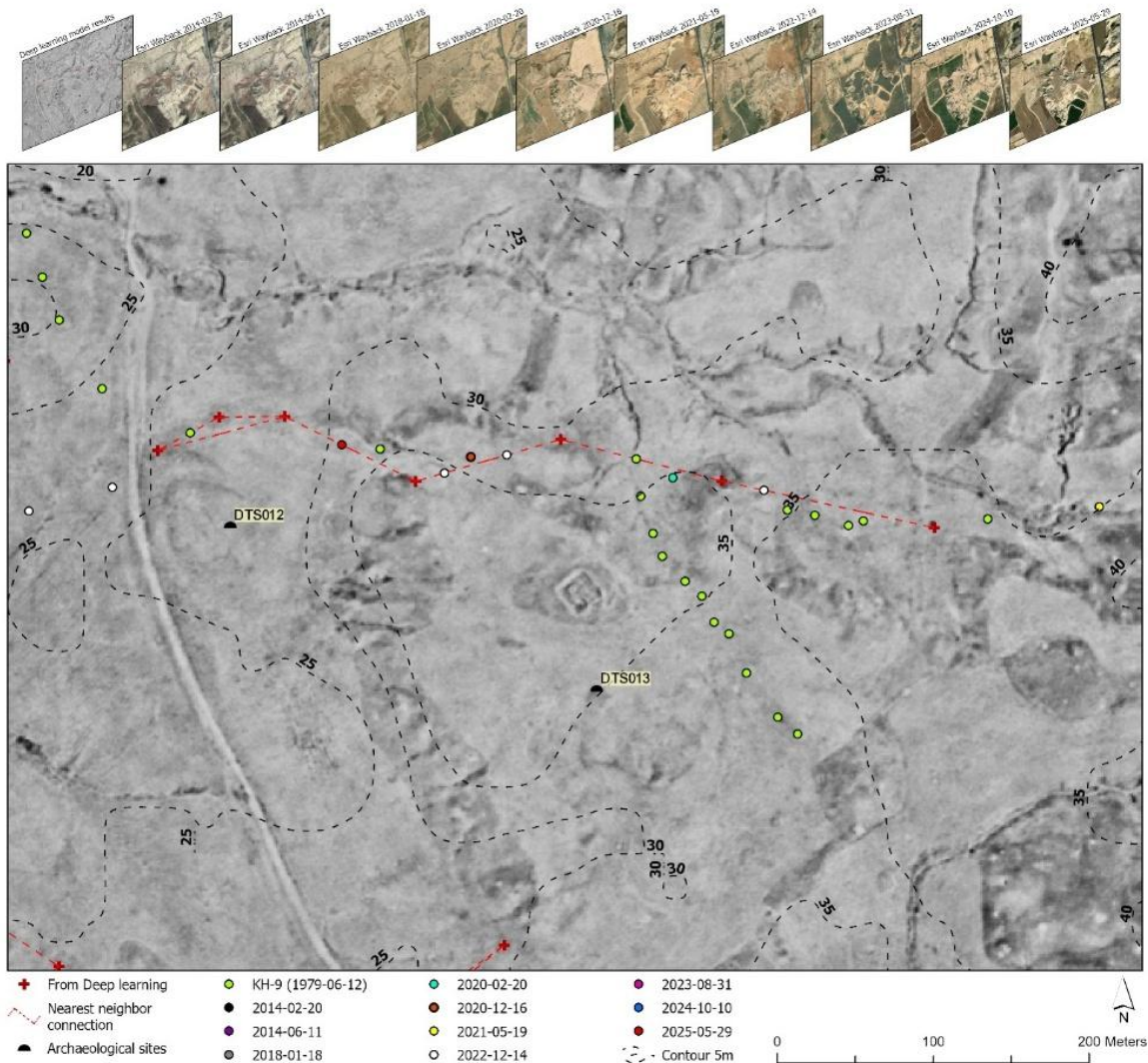
همچنان قابل مشاهده‌اند، می‌توان به نمونه‌های نزدیک تل نقاره‌خونه اشاره کرد. از نظر نحوه اجرای میل‌ها نیز کاریزهای دهقاید شامل گونه‌های شعاعی، متوالی و موازی هستند.

هفت رشته کاریز همچنان در تصاویر ماهواره‌ای جدید Google Earth Pro و بازدیدهای میدانی در دهقاید قابل مشاهده است (شکل ۵)، اما مطالعه تصاویر هوایی سال‌های ۱۳۴۶، ۱۳۵۶ و ۱۳۶۲ شواهد بیشتری را آشکار می‌سازد. نه تنها امتداد رشته کاریزهای قابل مشاهده در تصاویر جدید را می‌توان دنبال کرد، بلکه در مجموع ۱۸ رشته کاریز تنها در محدوده آبادی باستانی دهقاید قابل شناسایی است (شکل ۲). در این میان، کاریزهایی نیز مشاهده می‌شوند که میل‌های میانی حتی در زمان تصویربرداری هوایی (سال ۱۳۴۶) تخریب شده بودند؛ اما با توجه به وجود میل‌هایی در ادامه مسیر کاریز، می‌توان دریافت که این رشته کاریزها در اصل طول بیشتری داشته‌اند. این میل‌های میانی تخریب شده در نقشه با رنگ قرمز نمایش داده شده‌اند (شکل ۲). رشته کاریزها نیازمند مراقبت و نگهداری منظم بوده‌اند. لایروبی و بررسی دوره‌ای میل‌ها از ضروریات نگهداری این سامانه‌ها به‌شمار می‌رفته که مستلزم صرف هزینه و مدیریت مناسب بوده است. در دهه ۱۳۴۰ خورشیدی و پس از اصلاحات ارضی دوره پهلوی دوم، به تدریج روند از کار افتادن کاریزها آغاز شد؛ زیرا با تغییر مالکیت اراضی، نظام نگهداری، لایروبی و مراقبت از کاریزها نیز دگرگون شد. در نتیجه، برخی از رشته کاریزها به تدریج پُر شدند و از چرخه بهره‌برداری خارج گردیدند. این فرایند در مقایسه تصاویر هوایی سال‌های ۱۳۴۶ و ۱۳۵۶ نیز به‌خوبی قابل مشاهده است.

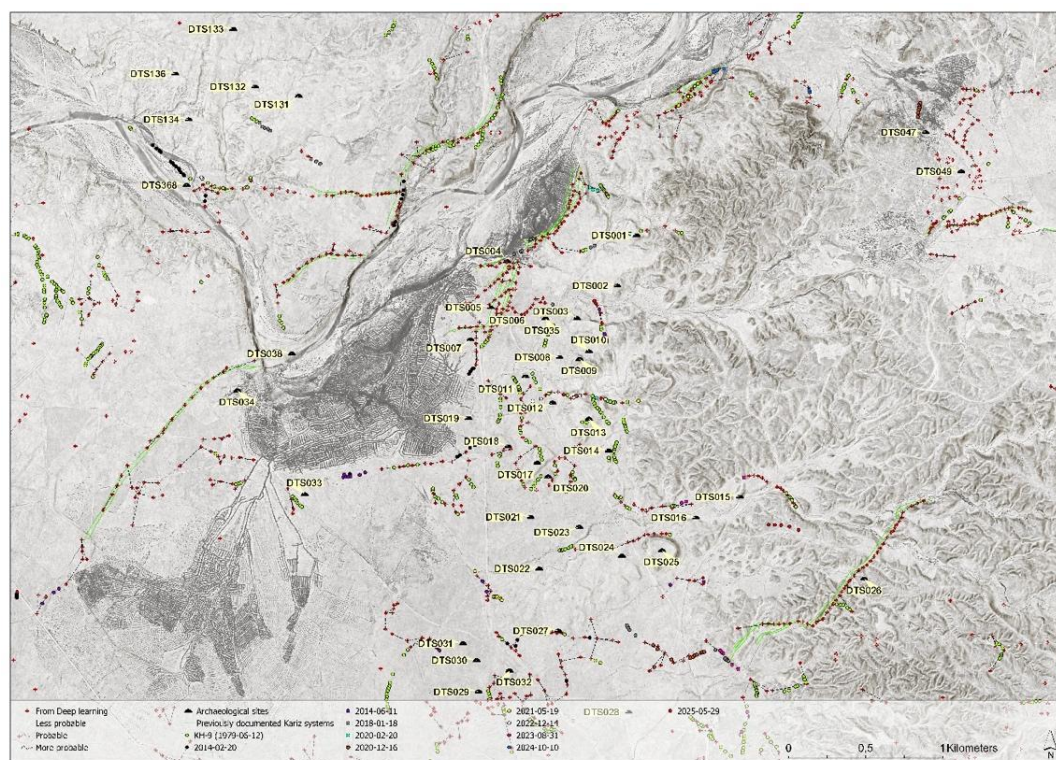
پس از مطالعه تصاویر هوایی یاد شده و شناسایی سامانه‌های کاریزی قابل مشاهده بر روی آن‌ها (شکل ۲)، برای تکمیل پژوهش حاضر رویکرد دیگری نیز اتخاذ شد؛ استفاده از روش «یادگیری عمیق» به منظور مطالعه دقیق‌تر و شناسایی کاریزهای دیگری که آثار چندانی از آن‌ها در تصاویر هوایی قدیمی دیده نمی‌شود (شکل‌های ۳ و ۴). همان‌گونه که در بخش روش‌شناسی شرح داده شد، خروجی مدل تشخیص میل‌ها با تصاویر هوایی دیگری از مجموعه (KH-9 و Esri World Imagery (Wayback)) مربوط به سال‌های ۱۴۰۴-۱۳۹۲/۲۰۲۵-۲۰۱۴ (شکل ۳ بالا) بازبینی و راستی آزمایی شد. نتایج نشان داد که در محدوده آبادی باستانی دهقاید، افزون بر آن ۱۸ رشته کاریزی که پیشتر شناسایی شده بود، رشته کاریزهای بیشتری نیز وجود داشته است. بازسازی مسیرها بر مبنای هم‌خطی و تکرار نسبتاً یکنواخت فاصله دهانه میل‌ها انجام شد و با پیوند «نزدیک‌ترین

و شناسایی کاریزهای مجاور آن‌ها از این منظر اهمیت دارد. تل خشتی (DTS013) بزرگ‌ترین و یکی از مهم‌ترین تپه‌های دهقاید می‌باشد که شواهد یک چهارتاقی از آن به‌دست آمده است. در حالی‌که در مطالعه اولیه تصاویر هوایی هیچ رشته کاریزی در پیرامون آن شناسایی نشد، مطالعه مبتنی بر «یادگیری عمیق» به شناسایی سه رشته کاریز در بخش‌های شرقی و شمالی تل خشتی انجامید. از سوی دیگر، این رشته کاریزهای دهقاید نشانگر وجود فعالیت‌های باغداری و کشاورزی در پیرامون این محوطه در دوره رونق استقرارهای همزمان با تپه‌ها هستند.

کاریزهایی که در مطالعه اولیه شناسایی شده بودند، در واقع آرایش پیچیده‌تر داشته‌اند. همان‌گونه که شکل ۴ نشان می‌دهد، چندین تپه در دهقاید با فاصله‌ای اندک از یکدیگر قرار گرفته‌اند. از برخی از این تپه‌ها، به‌ویژه تل باغی (DTS018)، شواهدی از تولید شیشه به‌دست آمده است. افزون براین، دو سنگ آسیاب عظیم از دو تپه دهقاید به نام‌های تل سنگ آسیاب (DTS017) و تل سنگ شکسته (DTS011) به‌دست آمد که بیانگر فعالیت‌های صنعتی مرتبط با آسیاب کردن یا عصاره‌گیری است. دسترسی به نیروی آب برای این تپه‌ها برای چنین فعالیت‌های صنعتی ضروری بوده است



شکل ۳: صحت‌سنجی چندزمانه خروجی تشخیص میل کاریزها در محوطه دهقاید. در بالا، نماهای چندتاریخی (Esri Wayback، ۲۰۱۴-۲۰۲۵) همراه با تصویر هگزاگون KH-9 مربوط به ۲۲ خرداد ۱۳۵۸ / ۱۲ ژوئن ۱۹۷۹. این مقایسه بصری و بازبینی تصاویر تاریخی برای تأیید هم‌خطی و یکنواختی فاصله میل‌ها و نیز شناسایی حلقه‌های مفقوده مسیر کاریزها به کار رفت (نقشه: س. آسیابانی).



شکل ۴: شناسایی کاریزهای دهقاید: کاریزهای پیشنهادی مدل مورد استفاده با اتصال نزدیک‌ترین همسایه (خط‌چین‌های سفید، خاکستری و سیاه) به رشته‌های کاریز تبدیل شده و با رؤیت چندزمانه میل‌ها (دایره‌های رنگی، ۱۹۷۹-۲۰۲۵) و خطوط مستند پیشین (خطوط سبز) اعتبارسنجی شده‌اند (نقشه: س. آسیابانی).



شکل ۵: بقایای قمش‌های پرشده در اطراف DTS005 (برای موقعیت تپه و کاریزها بنگرید به شکل ۲ و ۴) در بخش شمالی دهقاید (عکس: ز. زهبری).

کانال‌های آبی

نویسندگان برای تکمیل این پژوهش به جست‌وجوی کانال‌های آبی باستانی نیز پرداختند. امروزه کانال‌های آبی متعددی در منطقه وجود دارد که همگی مربوط به دوران معاصر هستند، اما از کانال‌های آبی باستانی تقریباً هیچ ردی دیده نمی‌شود و اگر هم آثاری در نخلستان‌ها باقی مانده باشد، به دلیل استفاده مکرر از آن‌ها در سده‌های اخیر، تاریخ‌گذاری‌شان دشوار است. با این حال، این پژوهش بدون ردیابی کانال‌های آبی ناقص می‌ماند؛ چراکه کانال‌ها به عنوان واسطه‌ای میان زمین‌های کشاورزی یا زیستگاه‌ها و منابع آب عمل می‌کنند. استفاده از کانال‌های آبی، به دلیل اختلاف ارتفاع زمین یا فاصله زیاد منبع آب تا محل بهره‌برداری، به عنوان سازه‌ای میانجی ضروری بوده است. بازشناسی و ترسیم این کانال‌ها نشان می‌دهد که سازوکار مدیریت آب و دسترسی به آن تا چه اندازه اهمیت داشته و چه هزینه‌های مادی و معنوی برای تحقق آن صرف شده است.

تصاویر هوایی جدید تهیه‌شده توسط نویسندگان، همچنین تصاویر ماهواره‌ای جدید، نشانگر تعداد زیادی کانال آبی هستند که بخش عمده آن‌ها در تصاویر هوایی قدیمی نیز دیده می‌شوند. با این حال، چالشی که با آن مواجه بودیم، این بود که تعداد زیادی از این کانال‌ها جدید هستند و یا دست‌کم به هفتاد سال گذشته تعلق دارند. از این‌رو، لازم بود برای یافتن کانال‌های قدیمی، بازدیدهای میدانی انجام شود؛ اما این بازدیدها نیز اطلاعات چندانی به پژوهش نیفزودند، زیرا آثار بسیار اندکی از کانال‌های قدیمی باقی مانده بود.

بنابراین، هنگامی که بازدیدهای میدانی راه به جایی نبرد، نویسندگان با بهره‌گیری از مطالعات سنجش از دور به جست‌وجو ادامه دادند و در نهایت، برای نخستین بار موفق به شناسایی ۱۷ کانال آبی قدیمی در منطقه دهقاید شدند. این کانال‌های آبی، با توجه به محل قرارگیری و همچنین منبع تأمین آب آن‌ها، در چهار گروه تقسیم‌بندی می‌شوند (شکل‌های ۲ و ۶):

۱) کانال‌های آبی تغذیه‌شونده از کاریز یا قمش (شکل‌های ۲ و ۶:۱): بیشترین تعداد کانال‌های آبی دهقاید در این گروه قرار می‌گیرند. این کانال‌ها آب مورد نیاز خود را از مظهر کاریزها یا قمش‌ها دریافت می‌کرده‌اند. نمونه‌های مشابه کانال‌های آبی متصل به مظهر کاریز یا قمش در دیگر نواحی ایران نیز گزارش شده است.

۲) کانال‌هایی که منبع آب آن‌ها کاریز یا قمش است، اما به مسیل‌ها متصل می‌شوند (شکل‌های ۲ و ۶:۲): این گروه از کانال‌ها از نظر تعداد در مرتبه دوم قرار دارند. دشت برازجان، به دلیل ویژگی‌های مورفولوژیک خود و شیبی که از بخش کوهستانی شرق دشت به

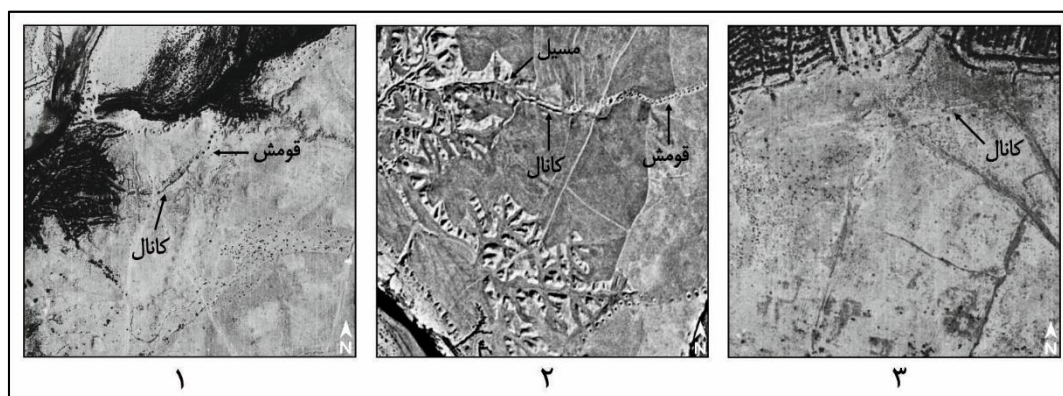
سوی بخش پست غربی آن ایجاد شده است، دربرگیرنده شمار زیادی از مسیل‌های پهن و باریک است. در یکی از بازدیدهای میدانی مشخص شد که یکی از شیوه‌های کانال‌سازی، در واقع بهره‌گیری از مسیر همین مسیل‌ها بوده است. بدین ترتیب، کانال‌ها را به مسیل‌ها متصل می‌کرده‌اند و احتمالاً با ایجاد سازه‌هایی، مسیر مسیل را برای عبور جریان آب و جلوگیری از هدررفت آن آماده می‌ساخته‌اند. از آنجا که آب از کاریزها یا قمش‌ها به این کانال‌ها و سپس به مسیل‌ها هدایت می‌شد، دسترسی به آب نه تنها در فصول بارندگی و سیلاب، بلکه در تمامی فصول سال امکان‌پذیر بوده است.

۳) کانال‌هایی با منشأ آبی مسیل‌ها: احتمال دارد گروه دیگری از کانال‌های آبی در دشت برازجان و دهقاید وجود داشته باشد که آب خود را مستقیماً از مسیل‌ها تأمین می‌کرده‌اند؛ به عبارت دیگر، منبع آب این کانال‌ها خود مسیل‌ها بوده است. این پیشنهاد از آنجا ناشی می‌شود که ارتباط میان برخی مسیل‌ها و کانال‌ها در این منطقه آشکار است. افزون بر این، نمونه‌هایی مشابه از کانال‌های تغذیه‌شونده از مسیل در دیگر نقاط ایران (Semsar Yazdi and Labbaf Khaneiki, 2017: 30) و همچنین در بین‌النهرین گزارش شده است (Morandi Bonacossi, 2018: 100).

۴) کانال‌هایی با منبع آب نامشخص (شکل‌های ۲ و ۶:۳): شواهد این دسته از کانال‌ها در تصاویر هوایی قدیمی به وضوح قابل شناسایی است، اما در وضعیت کنونی، منبع تأمین آب آن‌ها برای ما مشخص نیست.

مقایسه دو شکل ۲ و ۴ نشان می‌دهد که کانال آبی واقع در شرق تل نقاره‌خونه (DTS004) به کاریزهای مجاور این تپه متصل می‌شود. بنابراین، برخلاف برداشت اولیه ما مبنی بر نامشخص بودن منبع تأمین آب این کانال، اکنون و با اتکا به نتایج حاصل از روش «یادگیری عمیق»، منبع ورودی آب آن شناسایی شده است. البته تل نقاره‌خونه از جنبه دیگری نیز شایان توجه است.

بر اساس دخل و تصرف‌های صورت گرفته توسط مالکان زمین، بخشی از یک سازه بزرگ دوجداره ساخته‌شده از قلوه‌سنگ و ملاط نمایان شده است که با توجه به ابعاد آن و ارتباطش با قمش‌های مجاور تپه، احتمالاً به عنوان مخزن ذخیره آب مورد استفاده قرار می‌گرفته است (شکل ۸). افزون بر این، کانال آبی دیگری در جنوب شرقی تپه DTS019 وجود داشت که در بررسی‌های اولیه موفق به شناسایی منبع تأمین آب آن نشده بودیم؛ اما نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که رشته‌کاریزی در امتداد این کانال قرار داشته است و در واقع، این کانال از آب همین رشته‌کاریز مشروب می‌شده است.



شکل ۶: سه گروه کانال‌های آبی دهقاید: ۱) کانال‌های متصل به قُمش/کاریز؛ ۲) کانال‌های متصل به قمش/کاریز که به مسیل می‌ریزند؛ ۳) کانال‌های آبی با منبع آب نامعلوم^{۲۵} (نقشه پایه تصاویر ۱ و ۳: عکس هوایی سال ۱۳۴۶ از سازمان نقشه‌برداری، تصویر ۲: عکس هوایی هگزگون از ۱۷ دی ۱۳۶۲/۷ ژانویه ۱۹۸۴ (USGS: D3C1218-301296A013_a); نقشه: ز. زهیری).

کانال انگالی

ویتکام مشاهده کرده است، در واقع بقایای مسیر ریل‌هایی بوده که در جریان جنگ جهانی اول از این منطقه عبور می‌کرده‌اند (Carter et al., 2006: 67, 97; Priestman and Kennet, 2023: 44). ناگفته نماند که تقریباً در همان راستا، در مجاورت محوطه دهقاید، یک رشته قُمش طولانی شناسایی کرده‌ایم که به کانالی متصل می‌شود (شکل ۲؛ رشته قمش و کانال نزدیک محوطه DTS034). با این حال، امتداد این کانال دست‌کم در تصاویر هوایی سازمان نقشه‌برداری مربوط به سال ۱۳۵۶ قابل تشخیص نیست و از این‌رو نمی‌توان آن را به‌عنوان بازمانده‌ای از کانال موسوم به انگالی در نظر گرفت. افزون بر این، زاویه این کانال با مسیری که ویتکام ترسیم کرده است، هیچ‌گونه همخوانی ندارد.

علاوه بر این، در جنوب محوطه DTS034 ردّ کانالی به طول حدود ۸ کیلومتر قابل مشاهده است که به سوی روستای زیارت امتداد می‌یابد (شکل ۲؛ خط آبی‌رنگ در بخش پایین سمت چپ تصویر). اگرچه مسیر این کانال نیز با کانال انگالی کاملاً منطبق نیست، با این حال، از آنجا که ویتکام کانال انگالی را تنها به‌صورت طرحی شماتیک معرفی کرده است (Whitcomb, 1987: Fig. B) و تصاویر هوایی مورد استفاده وی نیز هرگز منتشر نشده‌اند، این احتمال را مطرح کردیم که شاید کانال ۸ کیلومتری شناسایی‌شده در پژوهش حاضر همان کانال انگالی باشد. از این‌رو، به مطالعه تصاویر هوایی بسنده نکرده و بازدید میدانی نیز انجام

در سال ۱۹۸۷، داندل ویتکام مقاله‌ای با عنوان «بوشهر و کانال انگالی» منتشر کرد و در آن از یک کانال آبی طولانی با نام «کانال انگالی» سخن گفت که از دهقاید به جزیره شیف و سپس به بوشهر امتداد داشت (Whitcomb, 1987: 313, Fig. B). وی معتقد بود که این کانال می‌تواند متعلق به دوره هخامنشی یا حتی ایلامی باشد و از آنجا که محوطه ریشهر در شهر بوشهر با مشکل دسترسی به آب مناسب مواجه بوده است، کانال انگالی را راه‌حل ساکنان باستانی منطقه برای رفع این مشکل می‌دانست (Whitcomb, 1987: 331-332; 2016: 49). ویتکام تصریح می‌کند که شناسایی این کانال بر اساس بازدید وی از منطقه در سال ۱۹۷۳ م. (۱۳۵۲ ش.) و مطالعه تصاویر هوایی صورت گرفته است (Whitcomb, 1987: 311)، اما متأسفانه توضیح نمی‌دهد که منظور وی چه نوع تصاویر هوایی و مربوط به کدام سال بوده است. از سوی دیگر، ویتکام دهقاید را نقطه آغازین این کانال معرفی می‌کند و احتمالاً به همین منظور از سه تپه این محوطه بازدید کرده است. نویسندگان پژوهش حاضر، در جریان بازدیدهای میدانی و همچنین مطالعات سنجش از دور، به بررسی کانال انگالی پیشنهادی ویتکام پرداختند و به این نتیجه رسیدند که چنین کانالی وجود نداشته است. پیش از این نیز تیم پژوهشی ایرانی-بریتانیایی به سرپرستی توفیق‌یان و کارتر به نتیجه مشابهی دست یافته بودند و این احتمال را مطرح کرده بودند که آنچه

^{۲۵} در این عکس، کانال‌های آبی دیگری نیز مشاهده می‌شود اما تنها کانالی که با فلش مشخص شده است، مدنظر می‌باشد. باقی کانال‌ها یا جدید هستند و یا کانال‌های قدیمی که منبع آب آن‌ها مشخص است.

شد. بررسی‌های میدانی نشان داد که رد مشاهده‌شده در تصاویر هوایی و ماهواره‌ای، در واقع کانال آبی متعلق به دهه ۴۰ خورشیدی است و این کانال نیز ارتباطی با کانال انگالی ندارد. بنابراین، در حالی که مقاله «بوشهر و کانال انگالی» ویتکام از جمله آثار شناخته‌شده درباره این منطقه به‌شمار می‌رود، به نظر نمی‌رسد کانالی به‌منظور انتقال آب از دشت برازجان به ریشهر وجود داشته باشد؛ یا دست‌کم، بر پایه شواهد موجود، نمی‌توان چنین ادعایی را تأیید کرد.

بند دختر

افزون بر این منظر هیدرولیکی، در مجاورت تل باغ میل دهقاید، ویرانه‌های پل‌بندی به نام «بند دختر» مشاهده می‌شود (شکل ۲: بنگرید به DTS034 برای تل باغ میل و پل‌بند دختر در بالادست آن. همچنین شکل ۷). در بازدید میدانی مشخص شد که طاق‌های این سازه به آسانی قابل شناسایی نیستند؛ از این‌رو، این سازه احتمالاً نوعی پل‌بند بوده که دارای طاق‌هایی کوتاه بوده است و امروزه بقایای آن به‌سختی قابل تشخیص است. بنابراین، به نظر نمی‌رسد بتوان آن را پلی تک‌کاربری با طاق‌های بزرگ و صرفاً برای عبور آب تلقی کرد (شکل ۷). دلایل متعددی وجود دارد که ما را به این باور رهنمون می‌رساند که این پل‌بند به دوره ساسانی تعلق دارد. نخست آن که منابع تاریخی و گزارش‌های مربوط به مسافران این منطقه در دوره قاجار هیچ‌گونه اشاره‌ای به این پل نکرده‌اند. این مسافران در زمان‌های مختلف و طی سفرهای متعدد از دشت برازجان عبور کرده‌اند^{۲۶} و در حالی که هیچ اشاره‌ای به بند دختر ندارند، از پل قاجاری موسوم به حاج محمدرحیم، واقع در همان حوالی و در نزدیکی روستای دالکی، یاد کرده‌اند (Curzon, 1892: 224; Sykes, 1902: 315). وضعیت کنونی سازه نیز نشان‌دهنده آن است که زمان زیادی از ویرانی آن گذشته است و عدم اشاره به آن در منابع قاجاری می‌تواند ناشی از آن باشد که بند دختر پیش از این دوره تخریب شده بوده است؛ موضوعی که ساخت آن را به سده‌هایی پیش از حکومت قاجار بازمی‌گرداند. نکته دیگر آن است که مصالح به‌کاررفته در این سازه شامل قلوه‌سنگ، ملاط و در بخش‌هایی آجر است که از مصالح رایج در معماری و سازه‌های آبی دوره

ساسانی به‌شمار می‌روند. افزون بر این، تقریباً تمامی محوطه‌های باستانی واقع در پایین‌دست و بالادست رود دالکی به دوره ساسانی تعلق دارند و هیچ محوطه‌ای مربوط به قرون میانی یا اواخر دوره اسلامی در این محدوده مشاهده نشده است. ناگفته نماند که دو بنای شاهی هخامنشی، یعنی سنگ سیاه (DTS136) در شکل ۴) و بردک سیاه، در بالادست رود قرار دارند؛ اما در مجموع، منظر باستان‌شناختی این ناحیه بیانگر تمرکز چشمگیر محوطه‌های ساسانی است. از سوی دیگر، مصالح به‌کاررفته در بند دختر با مصالح رایج در سازه‌های آبی هخامنشی همخوانی ندارد. از این رو، نسبت دادن ساخت این پل، که رابط میان بالادست و پایین‌دست رود دالکی بوده است، به‌سادگی به دوره هخامنشی یا قرون میانی و متأخر اسلامی امکان‌پذیر نیست و مجموعه شواهد موجود، انتساب بند دختر به دوره ساسانی را محتمل‌تر می‌سازد.

نرولاس دهقاید

افزون بر آنچه گفته شد، سازه آبی دیگری نیز بر روی رود دالکی توسط نویسندگان این نوشتار شناسایی شده است. این سازه، که نمونه‌های مشابه دیگری نیز در استان بوشهر دارد، در میان مردم محلی با عنوان «نرولاس» شناخته می‌شود. منظور از نرولاس، سازه‌ای متشکل از یک کوره (تونل) افقی تعبیه‌شده در زیر رودخانه، مسیل یا آبراهه، دو تنوره عمودی متصل به آن و کانال‌هایی برای انتقال آب از تنوره‌ها به سطح زمین است (شکل ۹). در این ساختار، آب از یک سوی رودخانه، مسیل یا آبراهه به سوی دیگر منتقل و در دسترس قرار می‌گیرد. به این صورت که منبع اولیه آب از طریق تنوره استوانه‌ای نخست (نر) به درون تونل سرپوشیده‌ای که در زیر بستر رود تعبیه شده است، هدایت می‌شود و پس از عبور از تونل، از طریق تنوره استوانه‌ای دوم (لاس) به سطح زمین می‌رسد و سپس به‌وسیله کانالی به نواحی مورد نیاز منتقل می‌گردد. نرولاس دهقاید به‌طور اتفاقی در سال ۱۳۹۱، زمانی که سطح آب رودخانه دالکی به‌شدت کاهش یافته بود، نمایان شد و در سال ۱۳۹۳، به‌دلیل بالا آمدن مجدد سطح آب رود، بار دیگر از دید پنهان گردید. از منظر جزئیات معماری، این سازه از دو نوع مصالح تشکیل شده است: آجر برای کوره زیرآب و قلوه‌سنگ و ملاط برای تنوره‌ها. از این‌رو، به نظر می‌رسد کوره

دلایل گوناگون و اما اغلب سیاسی و اداری صورت می‌گرفته است و بیشتر مسافران هم‌دوره با دوره فتحعلی شاه و ناصرالدین شاه قاجار بوده‌اند.

^{۲۶} به دلیل اینکه برازجان و دهقاید در مسیر باستانی ارتفاعات فارس به بوشهر قرار دارد، این مسیر مکرراً توسط مسافران مختلف طی شده است و در سفرنامه‌ها و یا گزارش‌های خود از منطقه مذکور نام برده‌اند. این سفرها به



شکل ۷: تصویر هوایی نشانگر وضعیت فعلی پل-بند دختر و نزدیکی آن به تل باغ میل از تپه‌های محوطه دهقاید (عکس هوایی: ع. باورسایی، تهیه‌شده در چارچوب پروژه باستان‌شناسی دهقاید).



شکل ۸: تصویر هوایی تل نقاره خونه و موقعیت بقایای قمش‌های باقی مانده و مخزن آب دوجداره (عکس هوایی: ع. باورسایی، تهیه‌شده در چارچوب پروژه باستان‌شناسی دهقاید).

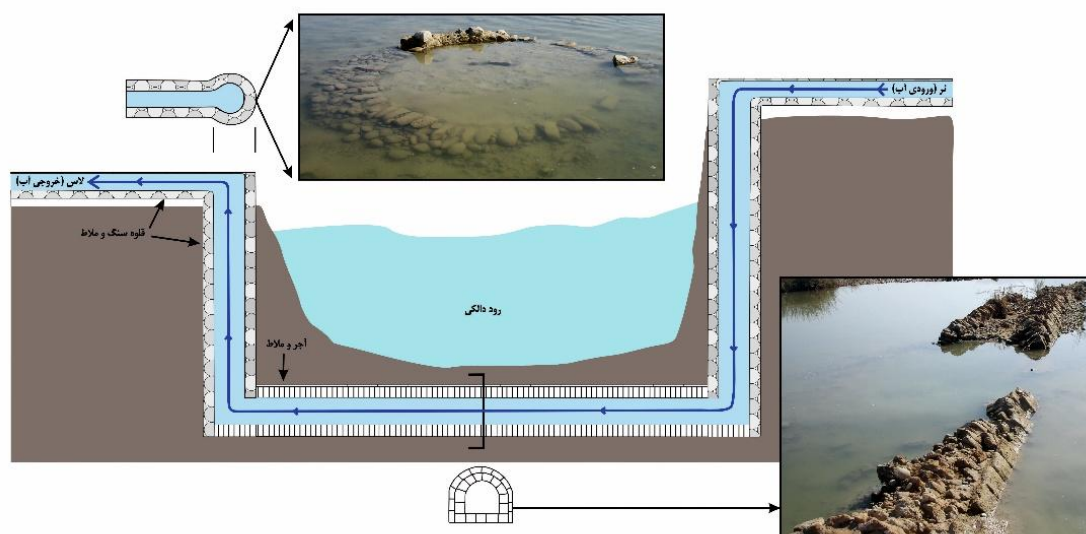
می‌شوند، چنان‌که هنوز هم در خم اصلی رود دالکی در شمال محوطه دهقاید نخلستان‌های گسترده‌ای وجود دارد. با این حال، این آب قادر به تأمین تمامی نیازهای کشاورزی نیست و برای نوشیدن نیز مناسب به نظر نمی‌رسد. بنابراین، انتقال آب شاپور به بخش‌های جنوبی دشت می‌توانسته بخشی از نیازهای اساسی ساکنان منطقه را برطرف کند. از این رو، این احتمال مطرح می‌شود که هدف از ساخت نرولاس دهقاید، انتقال آب شاپور به جنوب دشت از طریق کانال‌های آبی بوده باشد. شیب دشت برازجان در این محدوده به صورت شرقی - غربی و شمالی - جنوبی است؛ بنابراین، در هر صورت، جریان آب از شرق به غرب یا از شمال به جنوب - متناسب با فرض انتقال آب شاپور به پایین‌دست رود دالکی - امکان‌پذیر بوده است. پیشنهاد دیگر آن است که شاید آب منتقل‌شده از طریق نرولاس، از رشته‌کاریزی که در بالادست رود دالکی قرار داشته، تأمین می‌شده و سپس به پایین‌دست رود انتقال می‌یافته است. همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، در مجاورت نرولاس دهقاید (DTS368) رشته‌کاریزی شناسایی شده است که این احتمال را تقویت می‌کند. البته این رشته‌کاریز، بر اساس مدل پیشنهادی «یادگیری عمیق»، به پایین‌دست رود نیز ادامه می‌یابد؛ اما همان‌گونه که در راهنمای نقشه نشان داده شده است، بخش قابل توجهی از خطوط میانی کاریزهای پایین‌دست با رنگ‌های سفید و خاکستری نمایش داده شده‌اند که بیانگر احتمال خطای بیشتر در نتایج حاصل از مدل مذکور است. از این رو، نمی‌توان با اطمینان کامل رشته‌کاریز بالادست را با رشته‌های پایین‌دست مرتبط دانست. با وجود این، همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد، به‌کارگیری تأسیساتی نظیر نرولاس - هرچند در همه مناطق با این نام شناخته نمی‌شده‌اند - در نظام آبیاری پیشامدرن ایران امری رایج بوده و اهمیت آن‌ها اساساً از ارتباطشان با سامانه‌های کاریزی ناشی می‌شده است. بنابراین، همین موضوع دلیل دیگری فراهم می‌آورد تا پیشنهاد دوم، مبنی بر انتقال آب کاریز از طریق نرولاس دهقاید از بالادست رود دالکی به پایین‌دست، محتمل‌تر به نظر برسد.

نرولاس‌های دیگر استان بوشهر

به دلیل تخریب گسترده نرولاس دهقاید و نیز نمایان بودن آن تنها در بازه زمانی کوتاهی، شناخت دقیق ابعاد و اندازه‌های این سازه میسر نبود. با این حال، نمونه‌های مشابه موجود در دیگر نقاط استان بوشهر به ما کمک می‌کنند تا درک روشن‌تر و دقیق‌تری از جزئیات این نوع سازه آبی کمتر شناخته شده به‌دست آوریم. در شهرستان دشتستان، افزون بر نرولاس دهقاید، نمونه دیگری از این سازه در نزدیکی روستای خیرک شناسایی شده است.

مذکور به دلیل سهولت در اجرای طاق سقف، با آجر ساخته شده باشد. همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد، همین مصالح در بند دختر نیز به‌کار رفته است. در پژوهش‌های جغرافیایی با محوریت آب، همین سامانه نرولاس با عنوان‌های دیگری همچون «شترگلو» یا «سیفون» معرفی شده و از جمله روش‌های آبیاری سنتی ایران به‌شمار آمده است. این سازه در مسیر کاریزها و هنگام عبور آب از عرض رودخانه‌ها یا مسیل‌ها ساخته می‌شده است (مالکی و خورسندی آقایی، ۱۳۸۴: ۳۰؛ ابی‌زاده، ۱۳۸۹: ۱۲). سازه دیگری از دوره ساسانی نیز با عنوان «سیفون» معرفی شده است که همانند نرولاس، آب را از طریق تونلی در زیر بستر رودخانه از یک سوی آن به سوی دیگر منتقل می‌کند. نمونه شناخته‌شده این سازه بر روی رود سیاه‌منصور، در نزدیکی شهر ساسانی جندی‌شاپور در شهرستان دزفول قرار دارد (Adams and Hansen, 1968: 59-61؛ اسماعیلی جلودار، ۱۳۸۹؛ زلفی و دیگران، ۱۴۰۳). اگرچه این سازه نیز همچون نرولاس با هدف انتقال آب از عرض رودخانه ساخته شده است، اما احتمالاً با آن یکسان نیست؛ زیرا در نرولاس، آب به‌واسطه تنوره‌های عمودی وارد و خارج می‌شود، مگر آنکه در سازه موسوم به سیفون در جندی‌شاپور نیز از تنوره‌های استوانه‌ای عمودی استفاده شده باشد که تاکنون شواهدی در تأیید آن در دست نیست. افزون بر این، در سیفون جندی‌شاپور پلی بر روی کوره (تونل) افقی قرار گرفته است، در حالی که در نرولاس‌های استان بوشهر و نمونه‌هایی که در چارچوب نظام‌های آبیاری سنتی ایران شناخته می‌شوند، چنین وضعیتی مشاهده نمی‌شود و این سازه‌ها، در عوض، با سامانه‌های کاریزی ارتباط دارند. کانال‌های انتقال آب از نرولاس دهقاید به نقاط مورد نظر، به‌طور کامل تخریب شده‌اند و هیچ نشانی از آن‌ها باقی نمانده است؛ با این حال، با توجه به مشاهده و مطالعه نمونه‌های مشابه، می‌توان ساختار نرولاس دهقاید را بازسازی کرد (شکل ۹). با این وجود، پرسش‌هایی اساسی مطرح می‌شود: این نرولاس با چه هدفی ساخته شده است؟ سازندگان آن چه منظوری داشته‌اند؟ و چه منبع آبی، و به چه دلیل، از این سوی رود به سوی دیگر منتقل می‌شده است؟

اگرچه در نبود کانال‌های انتقال آب در سطح زمین، اظهار نظر قطعی دشوار است، اما شناخت منطقه و ویژگی‌های محیطی و جغرافیایی آن امکان طرح دو پیشنهاد را فراهم می‌کند. همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد، دو رود دائمی دالکی و شاپور در دشت برازجان جریان دارند. رود دالکی دارای آبی نسبتاً شور است، در حالی که رود شاپور از آب شیرین برخوردار بوده و هر دو از ارتفاعات فارس سرچشمه می‌گیرند. آب دالکی بخشی از نیازهای کشاورزی را به‌خوبی تأمین می‌کند؛ به‌ویژه نخلستان‌ها به‌خوبی از این آب بهره‌مند



شکل ۹: بازسازی نرولاس دهقاید (بازسازی و طراحی: م. پارسایی برازجانی و ز. زهیری).

بنابراین، منبع آب نرولاس خیرک در حال حاضر بر ما مشخص نیست.

نرولاس‌های جم

شهرستان جم به مرکزیت شهر جم، از دیگر شهرستان‌های ده‌گانه استان بوشهر است که در منتهی‌الیه جنوب‌شرقی این استان واقع شده است. از دیدگاه زمین‌ریخت‌شناسی، این شهرستان در مجموع دشتی کم‌عرض و کشیده در راستای جنوب‌شرقی - شمال‌غربی است که در میان دو رشته‌کوه نسبتاً پیوسته از ارتفاعات شرقی زاگرس جنوبی محصور شده است. پهنه دشت در عریض‌ترین بخش‌ها به حدود ۱۰ کیلومتر می‌رسد و در نواحی میانی به کمتر از دو کیلومتر کاهش می‌یابد. رودخانه دائمی «ریرود» از حدود جنوب‌شرقی دشت و در حوالی شهر جم به آن وارد شده و با طی محور طولی دشت، به سمت شهرهای ریز و انارستان در منتهی‌الیه شمال‌غربی منطقه سرازیر می‌شود. در این مسیر، جریان‌های دائمی و فصلی کوچک و بزرگی به آن می‌پیوندند یا از آن منشعب می‌شوند و به کمک ساختارهایی مانند سد، بند، کانال و کاریز مدیریت شده و سراسر دشت را مشروب می‌سازند. ارتفاع دشت جم و ریز تا ۷۰۰ متر از سطح دریا نیز می‌رسد؛ در حالی که دشت برازجان در مرتفع‌ترین قسمت تنها به ۱۰۰ متر از سطح دریا می‌رسد. این اختلاف ارتفاع جم نسبت به دیگر مناطق استان

همچنین، نرولاس‌های روستاهای تاک پوک،^{۲۷} سیردو^{۲۸} و قصاب از دیگر ساختارهای مشابه نرولاس دهقاید به‌شمار می‌روند که در شهرستان جم استان بوشهر واقع شده‌اند (شکل ۱).

نرولاس خیرک

در فاصله ۷ کیلومتری از مرز استان فارس و بوشهر، روستای خیرک واقع شده است. رودخانه خیرک که در مسیر خود به رود دالکی می‌پیوندد، از شمال این روستا عبور می‌کند و از آن چند مسیل منشعب می‌شود که یکی از این مسیل‌ها از شرق روستا می‌گذرد و نرولاس خیرک بر روی همین مسیل واقع شده است. در نخلستان‌های خیرک، بنایی متعلق به احتمال زیاد اواخر ساسانی/اوایل اسلامی قرار دارد و در همین مجموعه، بقایای دو رشته کاریز نیز مشاهده می‌شود که یکی از آن‌ها در فاصله اندکی از نرولاس قرار دارد (شکل ۱۰) و دیگری در همان راستا، در شمال‌غرب رشته کاریز نخست واقع شده است. این هم‌خوانی و هم‌راستا بودن، به احتمال زیاد بیانگر این است که با یک رشته کاریز متصل مواجه هستیم. شیب زمین در نمونه خیرک نشان می‌دهد که مظهر کاریز خیرک در سمت شمال‌غرب نرولاس قرار داشته است. به عبارت دیگر، مظهر کاریز و نرولاس نمی‌توانسته‌اند با یکدیگر ارتباطی داشته باشند؛ زیرا مظهر کاریز خیرک، بنابر شیب زمین، از نرولاس فاصله زیادی داشته است.

²⁸ Sebord

²⁷ Tak-e Pouk

باقی‌مانده گویای آن است که این تونل در گذشته نیز تخریب شده و به همین دلیل، تونل دیگری در کنار آن ایجاد شده است.

نرولاس سِبرِدو: نرولاس سِبرِدو در کنار باغ‌های روستایی به همین نام و در حدود ۹/۱ کیلومتری شمال غرب شهر جم واقع شده است. این سازه در فاصله ۲۲۷ متری شرق روستا، در دو سوی بستر رودخانه فصلی و در حاشیه باغ قرار گرفته است. نرولاس سِبرِدو نیز با مصالح سنگ و ملاط ساخته شده و همانند نرولاس تاکِ پوک، در دوران معاصر مرمت شده و سطح آن با اندود سیمان پوشیده شده است؛ با این تفاوت که نمونه سِبرِدو همچنان فعال است، آب در آن جریان دارد و مورد استفاده باغ‌داران روستا قرار می‌گیرد. ارتفاع تنوره لاس، که آب از آن خارج می‌شود، حدود ۲/۳ متر و قطر آن حدود ۲ متر است. سقف این تنوره با سنگ و سیمان پوشیده شده است. تنوره نر، در سوی دیگر دره، در واقع مخزنی است که آب به آن وارد می‌شود، به سطح انتقال می‌یابد و از طریق آبراه به مقصد مورد نظر هدایت می‌شود. ارتفاع این تنوره ۲ متر، قطر آن حدود ۱/۸ متر و ضخامت دهانه تونل ۶۰ سانتی‌متر است.

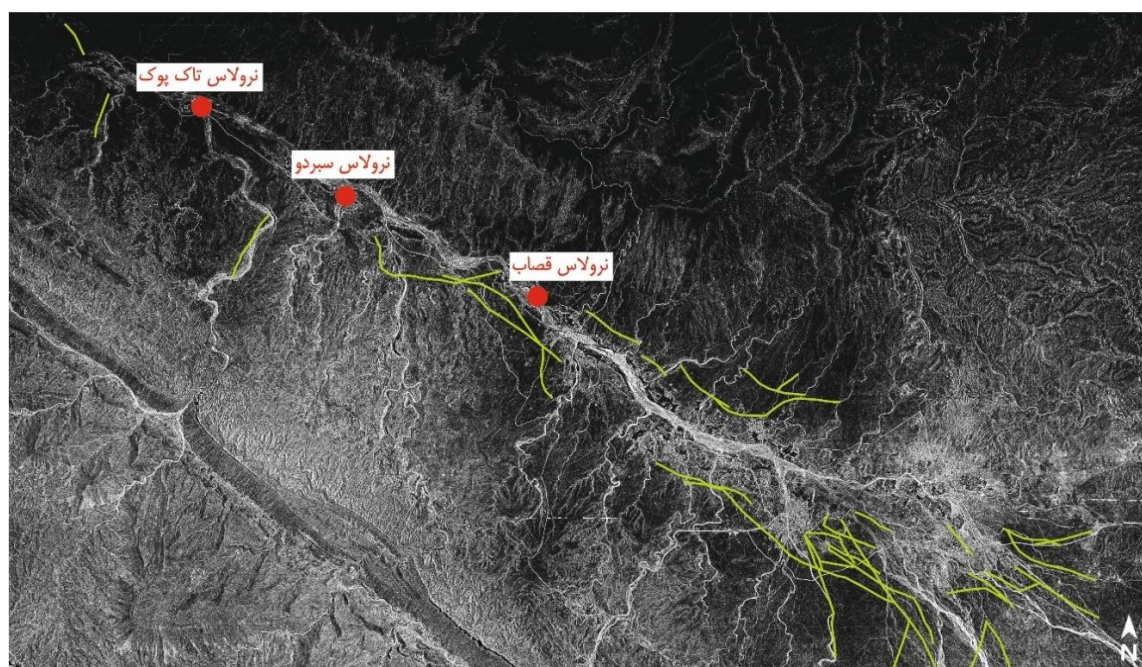
نرولاس قصاب: نرولاس قصاب در میان باغ‌های روستای قصاب و در فاصله ۹/۶۳ کیلومتری شمال شهر جم واقع شده است و اثر مذکور در ۲۸۰ متری جنوب شرقی این روستا، در نزدیکی محوطه و آب‌بند قصاب، قرار گرفته است. از نرولاس تنها ویرانه‌ای برجای مانده است. این سازه، بنایی استوانه‌ای با مصالح سنگ و ملاط است که ارتفاع باقی‌مانده آن حدود ۱ متر و قطر تنوره آن نیز حدود ۱ متر است. این سازه در کنار بستر رودخانه قرار گرفته و در یک سوی آن، آثار آبراهی که به سازه متصل بوده، مشاهده می‌شود. در مجاورت این نرولاس، سازه آبی دیگری وجود دارد که توسط مردم محلی با عنوان «برکه» شناخته می‌شود و در واقع مخزن آب است. به نظر می‌رسد که این برکه، از نظر زمانی، جدیدتر از نرولاس قصاب باشد.

بوشهر، از جمله کناره‌های خلیج فارس، و محصور بودن آن در میان ارتفاعات به هم پیوسته زاگرس جنوبی، آب‌وهوایی نسبتاً متمایز و معتدل‌تر به این ناحیه بخشیده است. پایین‌تر بودن دما و رطوبت در جم، امکان کشت و زرع در بیشتر اوقات سال را فراهم ساخته و بستری مناسب برای پرورش مرکبات در کنار نخلستان‌های خرما مهیا کرده است. علاوه بر این، شاخصه‌های زمین‌ساختاری، الگویی متمایز از استقرار و پراکندگی جمعیت را با محوریت رودخانه ریزرود بر سطح دشت حاکم ساخته‌اند که از دیرباز تاکنون بدون تغییر باقی مانده است. در سال ۱۳۹۸، سه نرولاس توسط نویسندگان شناسایی شد که تاکنون معرفی نشده‌اند و در این نوشتار برای نخستین بار به آن‌ها پرداخته می‌شود (شکل ۱۱).

نرولاس تاکِ پوک: نرولاس تاکِ پوک در میان باغ‌های روستایی به همین نام واقع شده است. روستای تاکِ پوک از توابع دهستان جم، در حدود ۱۱/۹ کیلومتری شمال غرب شهر جم واقع شده و اثر مذکور در فاصله ۷۶ متری جاده جم به شهر ریز، در کنار پل و در دو سوی بستر رودخانه فصلی قرار گرفته است. این سازه که با مصالح سنگ و ملاط ساخته شده، در دوران معاصر مرمت شده و بخش‌هایی از سطح آن، به‌ویژه آبراه و درون تنوره آن، با اندود سیمان پوشیده شده است (شکل ۱۲). لازم به اشاره است که این سازه حتی تا سال‌های اخیر نیز مورد استفاده محلی‌ها بوده است. ارتفاع بیرونی یکی از تنوره‌های استوانه‌ای آن که محل خروج آب بوده است (لاس)، در حدود ۱/۹ متر و قطر آن نیز حدود ۲ متر است. تنوره دیگر (نر) که در سوی دیگر رودخانه فصلی واقع است، در حقیقت مخزنی است که آب به آن وارد می‌شود، به سطح انتقال می‌یابد و از طریق کانالی به مقصد مورد نظر هدایت می‌شود. ارتفاع بیرونی تنوره نر ۴ متر، قطر آن حدود ۱/۸ متر و ضخامت دهانه تونل ۶۰ سانتی‌متر است. فاصله بین دو تنوره عمودی (نر و لاس) حدود ۴۷ متر است و تونل افقی مابین آن‌ها بر اثر سیلاب‌های سالیانه تخریب شده و تنها بخشی از آن در جهت شرقی باقی مانده است. جهت و موقعیت این بخش



شکل ۱۰: نرولاس خیرک و موقعیت آن نسبت به کاریز و کوشک خیرک (نقشه پایه: Google Earth Pro؛ نقشه: ز. زهیری).



شکل ۱۱: موقعیت ریز رود (گپ)، رودهای فصلی و مسیل‌ها، همچنین رشته کاریزها (خطوط سبز) و نرولاس‌های جم (نقشه پایه: D3C1216-100183A012_b از سری تصاویر هگزاگون (USGS) تهیه شده در ۱۸ تیر ۱۳۵۹/۹ جولای ۱۹۸۰؛ نقشه: ز. زهیری).



شکل ۱۲: نرولاس‌های شهرستان جم که سالمترین آن نرولاس سبردو (تصاویر سمت چپ) هستند و همچنان مورد استفاده قرار می‌گیرد (تصاویر: ن. رفیعی).

بحث و تحلیل نتایج

مطالعه مدیریت آب در پژوهش‌های باستان‌شناسی موضوعی بسیار پراهمیت است که شایسته است توجه بیشتری به آن معطوف شود. زیستگاه‌ها در مناطقی شکل می‌گرفته‌اند که دسترسی به آب در آن‌ها آسان بوده است یا آن‌که با بهره‌گیری از سازه‌هایی، امکان این دسترسی فراهم می‌شده است. اگرچه مطالعه مدیریت آب در پژوهش‌های باستان‌شناسی موضوع جدیدی نیست، اما در سال‌های اخیر اهمیت آن بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته و چنین پژوهش‌هایی، با تمرکز به یک منطقه مشخص، جایگاه برجسته‌تری یافته‌اند.^{۳۹}

سازه‌های آبی مورد اشاره در مقاله حاضر، افزون بر تأمین دسترسی به آب قابل آشامیدن، در راستای گسترش کشاورزی در دهقاید نیز مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند. همان‌گونه که امروزه نیز این منطقه از زمین‌های کشاورزی و نخلستان‌های گسترده بهره‌مند است، در سده‌های گذشته نیز کشت و برداشت از فعالیت‌های رایج آن به شمار می‌رفته است. روایت فرانسویس اراسکین لاخ، مربوط به اوایل سده نوزدهم میلادی، نیز بیانگر

حاصل‌خیزی دشت برازجان و پوشیده بودن این منطقه از باغ‌های سرسبز و پرمیوه بوده است (بلغریو، ۱۳۶۹: ۱۶۶). گوردون لوریمر نیز متذکر می‌شود که در اوایل سده بیستم میلادی، گندم، جو، تنباکو و خرما در دهقاید به‌خوبی کشت و برداشت می‌شده است (Lorimer, 1908: 387). همین محصولات امروزه نیز در دهقاید و نواحی اطراف آن برداشت می‌شوند؛ اما فعالیت کشاورزی در این ناحیه محدود به دهه‌های گذشته نبوده است. شواهد بررسی‌شده در این مقاله نشان می‌دهد که رونق کشت‌وکار و اهتمام به کشاورزی در دشت برازجان دست‌کم به دوره ساسانی بازمی‌گردد؛ هرچند با استناد به محوطه‌های هخامنشی شناخته‌شده در دشت، می‌توان پیشینه‌ای کهن‌تر تا دوره هخامنشی نیز برای آن پیشنهاد کرد.

کشاورزی، به‌عنوان یکی از اهداف مهم حکومت، همواره مورد توجه شاهان و بلندپایگان ساسانی بوده است. در دوره ساسانی، اهمیت کشاورزی و به تبع آن مدیریت آب را می‌توان از دو جنبه مذهبی و اقتصادی - سیاسی مورد بررسی قرار داد. آن‌اهیتا از شناخته‌شده‌ترین ایزدبانوان ایران است و ساخت بناهای مذهبی و

^{۳۹} به طور مثال بنگرید به Neely, 2011; Hartnell, 2014; Soroush, 2016; Maresca, 2019; Alizadeh et al., 2021; Rashidian, 2024; 2025.

می‌پردازد و در فصل ۱۴ می‌گوید: «و دیدم روان کشاورزان را در گاه روشن و با جامه‌ای روشن به درخشندگی ستارگان» (ژینو، ۱۳۷۳: ۵۷). همچنین در فصل ۱۵ آمده است: «و دیدم بسیار گاه زرین، بستر خوب و بالش و فرش‌های شایسته، بر روی آن‌ها روان کدخدایان و دهقانانی نشسته بودند که ده و دودمان و میهن و ملک و جای ویران را آبادن کردند و ایشان کاریز و رود و چشمه بسیار برای کشاورزی و آبادانی و برای بهره و سود مردمان آوردند.» (ژینو، ۱۳۷۳: ۵۸).

در اواخر دوره ساسانی، طی سلطنت قباد و خسرو انوشیروان، اقدامات مهمی در بنیان‌سازمانی - اجتماعی ایران انجام شد که به تغییرات اجتماعی و اداری انجامید. از جمله این اقدامات، اصلاح نظام مالیاتی بود که به تبع آن کشاورزی رونق بیشتری یافت (میرزایی، ۱۳۹۴: ۲۴۴؛ Rubin, 2021: 244; Campopiano, 2011: 244). پیش از حکومت قباد و انوشیروان، مالیات به شیوه مقاسمه اخذ می‌شد. در این روش، مالیات بر اساس میزان محصول زمین تعیین می‌گردید (میرزایی، ۱۳۹۴: ۱۱۳). اهمیت اصلاحات اواخر دوره ساسانی در آن بود که مرزها بر اساس محل سکونت مالیات‌دهندگان، نه ویژگی‌های جغرافیایی، تعیین می‌شد. این مرزبندی بخشی از نظام «آب‌محور اجتماعی»^{۳۰} ساسانی بود؛ بدین معنا که پیش از ورود مفاهیم اروپایی مرتبط با مرز و ملیت، مرزها در ایران بیشتر ماهیتی جمعیتی و مالیاتی داشتند و به سامانه‌های آبی وابسته بودند. در این چارچوب، سلسله‌مراتبی مالیاتی از واحدهای کشاورزی تا خزانه شاهی وجود داشت (Labaf Khaneiki and Saif Al-Ghafri, 2024: 315-316). از این‌رو، به تبع این اصلاحات مالیاتی، پادشاهان اواخر ساسانی به ایجاد و گسترش زیرساخت‌های هیدرولیکی روی آوردند (طبری، ۱۳۶۲: ۶۴۹؛ Adams, 1965: 71; Christensen, 1944: 365). بنابراین، شاهان ساسانی دلایل و انگیزه کافی برای توسعه و حمایت از نظام‌های مدیریت آب در اختیار داشته‌اند.

شواهد باستان‌شناسی نیز مؤید حمایت ساسانیان از روش‌های آبیاری و گسترش کشاورزی است. در بررسی‌های باستان‌شناختی گوناگون در مناطق مختلف، مانند دشت دهلران (Neely, 1974: 35, 37, 39)، دشت شوش (Wenke, 1987: 258)، لامرد و مهر (عسکری چاوردی و آذرنوش، ۱۳۸۳)، بستک (Asadi et al., 2013: 29)، گاوندی (Callieri et al., 2021: 59) و حتی خارج

غیرمذهبی مرتبط با آب در این دوره رواج داشته است. معبد آناهیتای بیشاپور، با نظام معماری مرتبط با آب، از نمونه‌های این‌گونه ساختمان‌ها به‌شمار می‌رود. همچنین، افزودن یک برکه یا آبگیر در مجاورت بناهای شاهی ساسانی نیز از ویژگی‌های بارز این دوره است.

در وندیداد، یکی از بخش‌های اصلی اوستای موجود، به اهمیت آبیاری برای کشاورزی اشاره شده است. در فرگرد سوم آمده است: «هورمزدا پاسخ داد و گفت: ای اسپیتمه، زرتشت، زمین خوشبخت در درجه سوم جایی است که مرد پارسا در آنجا هر چه بیشتر، گندم، علوفه و درختان میوه‌دار بکارد و وسایل آبیاری در زمین بایر فراهم بدارد» (پورداوود و دارمستتر، ۱۳۹۴: ۵۲۰). همچنین، در بخش دیگری از همین فرگرد، افزون بر آبیاری، به انتقال آب نیز اشاره می‌شود: «ای آفریننده جهان جسمانی و ای مقدس، بگو بدانم کیست که در درجه چهارم شعف و خرسندی زمین را فراهم می‌دارد؟ هورمزدا پاسخ داد و گفت: کسی است که هر چه بیشتر، گندم، علوفه و درختان میوه‌دار بکارد و زمین بایر را آبیاری کند و آب را از محلی که پرآب است به زمین بی‌آب جاری سازد» (پورداوود و دارمستتر، ۱۳۹۴: ۵۲۳). افزون بر این، چندین کتیبه را می‌توان به‌عنوان نمونه‌های ملموس حمایت‌های مالی حکومت ساسانی از ساخت سازه‌های آبی در نظر گرفت. برای مثال، کتیبه مهر نرسی یادآور تأمین مالی یک پل در نزدیکی فیروزآباد است (Henning, 1954). همچنین می‌توان به قوانین دوره ساسانی مربوط به زیرساخت‌های آبی که در مادیان هزارستان آمده است اشاره کرد (Perikhanian, 1997: 201). 237. 239 عریان، ۱۳۹۳: ۲۰۴-۲۰۱، ۳۶۹-۳۶۸). این قوانین نشان می‌دهد که، برای مثال در خصوص کاریزها، نخست آن‌که مالکیت خصوصی نیز وجود داشته و دوم آن‌که قوانین دقیقی درباره این نوع مالکیت تعریف شده بوده است (عریان، ۱۳۹۳: ۲۰۱-۲۰۴). افزون بر این، در این دوره مالکیت خصوصی بر آسیاب‌ها نیز امری معمول بوده است (عریان، ۱۳۹۳: ۳۶۸-۳۶۹). طبقه دهقانان به‌عنوان یکی از برجسته‌ترین و شناخته‌شده‌ترین اقشار جامعه ساسانی پدیدار می‌شوند. آنان در دوره ساسانی اشراف‌زادگانی زمین‌دار بوده‌اند و در اوایل دوره اسلامی به گردآوری مالیات‌ها، کشاورزی، تعمیر و احیای سازه‌های آبی نظیر پل‌ها و حتی جاده‌ها مشغول شدند (Tafazzoli, 1994). از همین رو، ارداویراف‌نامه به ستایش روان کشاورزان، دهقانان و کدخدایان

³⁰ Hydro-social.

از مرزهای کنونی ایران، در دشت شهرزور در کردستان عراق (Mühl *et al.*, 2018: 130, 131)، با الگویی یکسان مواجه هستیم و آن افزایش شمار استقرارگاه‌های ساسانی در مقایسه با دوره‌های پیش از خود است. این افزایش ناگهانی، در نتیجه رونق آبیاری و کشاورزی پدید آمده است (Neely, 2016; Boucharlat, 2016: 297; 2017: 46; Hartnell, 2014; Ricci *et al.*, 2023: 90). همین الگوی افزایش محوطه‌های ساسانی در دشت برازجان نیز مشاهده می‌شود.

از سوی دیگر، این نظام مدیریت آبیاری از دوره ساسانی آغاز نشده است، بلکه شواهد کافی در دست است که بپذیریم این زیرساخت‌ها از دوران هخامنشی و سپس اشکانی شکل گرفته‌اند (Maresca, 2019; Ricci *et al.*, 2023: 90). پیش از این، برخی از زیرساخت‌های آبی در مناطق مختلف، از جمله دشت بزر (Rashidian, 2024; 2025)، خوزستان (Neely, 1974; Soroush, 2016; 2011)، فارس (Hartnell, 2014)؛ غلامی و محمدی‌فر، (۱۴۰۳)، منطقه وراز/گراز در کوه‌دشت لرستان (یوسفوند و محمدیان، ۱۴۰۳)، منطقه لامرد و مهر (عسکری چاوردی و آذرنوش، ۱۳۸۳: ۷)، عراق (Adams, 2006) و کردستان عراق (Ur, 2018: 69)، به دوره ساسانی منسوب شده‌اند. اگرچه این فهرست و انتشارات مربوط به آن بسیار گسترده‌تر از آن چیزی است که در اینجا بیان شد، با این حال، همچنان نیازمند پژوهش‌های بیشتری در زمینه سنجش از دور و نیز مطالعات میان‌رشته‌ای متنوع‌تری هستیم تا بتوان گاه‌نگاری‌ها را با اطمینان بیشتری انجام داد.

در سال‌های گذشته، پژوهش‌های میان‌رشته‌ای محدودی با محوریت گاه‌نگاری سازه‌های آبی صورت گرفته است. برای مثال، پل - سد جره بر روی رود زرد در دشت رامهرمز، با استفاده از روش «تاریخ‌گذاری تحریک نوری» (Optically Stimulated Luminescence یا OSL) مورد مطالعه قرار گرفت و به دوره ساسانی منسوب شد. تاریخ‌گذاری تحریک نوری یکی از روش‌های سن‌یابی مطلق در باستان‌شناسی و زمین‌شناسی است. در حالی که پیش از آن، این پل - سد را به اوایل اسلام منسوب می‌دانستند (بنگرید به: Maresca, 2019: 213)، نتایج این مطالعه نشان داد که این سازه به دوره ساسانی تعلق دارد (Fattahi and Sharifi, 2021).

پیش از پرداختن به گاه‌نگاری نرولاس‌ها، لازم است منبع آب آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد. در نمونه نرولاس سبردو، بخش ورودی آب به سازه (نر) پوشانده شده است. بر پایه جنس و شیوه اجرای مصالح، این پوشش به دهه‌های اخیر تعلق دارد؛ از این رو، می‌توان گفت که دست‌کم در سال‌های اخیر، تأمین آب این نرولاس از مسیر دیگری، برای مثال از آب‌های زیرزمینی، صورت گرفته است. با این حال، در گذشته آب باید از طریق همان نر وارد می‌شده است؛ زیرا بخش نر و کانال آب مرتبط با آن همچنان موجود است (شکل ۱۲) و مشخص است که پیش از مسدود شدن، مورد استفاده قرار می‌گرفته است. نرولاس تاک‌پوک نیز آب خود را از آبراهه‌ها و جوی‌های آب دریافت می‌کرده است، اگرچه شاید منشأ اولیه این آب، کاریز بوده باشد. همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، احتمال آن که نرولاس خیرک از کاریزها مشروب می‌شده، بسیار اندک است؛ با این حال، شیب زمین در دو نمونه دهقاید و جم، فرضیه تغذیه نرولاس‌ها از کاریز را تقویت می‌کند؛ بدین صورت که هرچه به نرولاس نزدیک‌تر می‌شویم، از شیب زمین کاسته می‌شود. البته در این میان باید وجود ساختارهای میانی دیگری، مانند کانال‌ها یا برکه‌ها، را نیز متصور شد که آب را از مظهر کاریز به نرولاس منتقل می‌کرده‌اند. همان‌طور که گفته شد، در نزدیکی نرولاس قصاب، برکه‌ای با کاربری ذخیره آب مشاهده می‌شود. انتقال آب کاریز به یک مخزن، به دلیل کم بودن جریان آب خروجی کاریز صورت می‌گیرد؛ به عبارت دیگر، اگر میزان و سرعت آب خروجی مظهر کاریز مناسب باشد، نیازی به ذخیره‌سازی آب وجود نخواهد داشت. اگرچه برکه قصاب احتمالاً مربوط به سده‌های اخیر باشد، اما روش استفاده از مخزن ذخیره آب برای کاریزها در سایر نقاط ایران نیز مشاهده شده است (Semsar Yazdi and Labbaf Khaneiki, 2017: 149).

نمونه‌های دیگری از انتقال آب از کاریزها و ذخیره آن در برکه یا چشمه، در سین کیانگ^{۳۱} چین نیز گزارش شده است (Luo *et al.*, 2014: Fig. 2). به نظر می‌رسد انتقال آب کاریز یا چاه به برکه یا حوض، از روش‌های متداول بوده و موجب می‌شده است که تقسیم آب با دقت و سهولت بیشتری انجام گیرد (پاپلی یزدی و لباف خانیکی، ۱۳۷۷: ۵۳). در مناطقی از ایران، استفاده از خندق به‌عنوان مخزن ذخیره آب نیز گزارش شده است (نجف‌لو و دیگران، ۱۳۹۸: ۳۰). این در حالی است که در دهقاید، یک تل خندق بزرگ (شکل‌های ۲ و ۴، DTS025) قرار دارد که رشته کاریزی از

³¹ Xinjiang

فراموش کرد که شیوه‌های کشاورزی، آبیاری و مدیریت آب تا پیش از مدرن شدن ایران، کم‌وبیش همان شیوه‌های کهن سده‌ها و حتی هزاره‌های پیشین بوده‌اند.

پولیویوس^{۳۲} در کتاب خود به نظام کاریز در دوره هخامنشی اشاره می‌کند. وی تاریخ‌نگار یونانی سده دوم پیش از میلاد بود که در نواحی شمال ایران، میان ماد و پَرثوه، کانال‌های زیرزمینی بسیاری را که چاه‌هایی به آن‌ها متصل بوده‌اند مشاهده و ثبت کرده است. او در روایت جنگ میان آنتیوخوس و آرساکس سوم، به این کاریزها اشاره می‌کند و توضیح می‌دهد که این ساختارها برای افراد ناآشنا با منطقه ناشناخته بوده‌اند. سپس می‌افزاید که ایرانیان روایتی از این کانال‌ها از دوره هخامنشی نقل می‌کرده‌اند؛ بدین مضمون که در روزگار برتری پارسیان، بهره‌برداری از زمین به ساکنان برخی نواحی بی‌آب، برای پنج نسل واگذار می‌شد، مشروط بر آن‌که آب تازه به آن مناطق منتقل کنند. از آنجا که رودهای بزرگ بسیاری از کوه توروس^{۳۳} سرازیر می‌شد، این مردمان با رنج و هزینه فراوان، این کانال‌های زیرزمینی را در مسافت‌های طولانی احداث کردند؛ به گونه‌ای که مردمانی که امروزه از این آب‌ها بهره می‌برند، از سرچشمه‌هایی که این کانال‌ها را تغذیه می‌کنند آگاهی ندارند. وی در ادامه می‌نویسد که آرساکس، برای جلوگیری از عبور آنتیوخوس، دستور داد این چاه‌ها را پر کنند، اما سواران او شکست خوردند و آنتیوخوس توانست از بیابان عبور کرده و به شهر هکاتوم‌پیلوس، مرکز پَرثوه، برسد (Polybius, 1889: Book X/28).

افزون بر این روایت، اطلاعاتی درباره نظام قمش از گزارش‌های بازرگانان ایتالیایی، امبروجیو کونتارینی^{۳۴} (۱۴۲۹-۱۳۹۹) و جوزافات باربارو^{۳۵} (۱۴۱۳-۱۳۹۴)، نیز به دست می‌آید که از مشاهده چنین سازه‌ای در مناطق جنوبی ایران خبر داده‌اند. آنان توضیح می‌دهند که ایرانیان تأسیساتی شبیه چاه در کنار رودخانه حفر کرده و آن‌ها را با تونل‌هایی دارای شیب ملایم به یکدیگر متصل می‌کنند. در هر بیست قدم، چاهی دیگر حفر می‌شود و این فرآیند تکرار می‌گردد تا مجموعه‌ای از چاه‌ها و کانال‌های پیوسته برای انتقال آب شکل گیرد. این کاریزهای رودتغذیه، امکان انتقال آب به مناطق کوهستانی را نیز فراهم می‌کرده‌اند و برای پایداری سکونت در این نواحی ضروری بوده‌اند (Barbaro and Contarini, 1873: 70). این روایت‌ها نشان می‌دهد که می‌توان کاربرد کاریز در ایران را دست‌کم تا دوره

مجاورت آن عبور می‌کند. از سوی دیگر، برای تل‌خندق‌های مشابه واقع در دشت سرمشهد، پیش‌تر کاربری مرتبط با مکانیزم کنترل آب پیشنهاد شده است؛ بدین صورت که آب کاریزها یا چاه‌ها به حوض‌هایی منتقل و ذخیره می‌شد و سپس از طریق کانال‌هایی به محوطه‌های ساسانی واقع در دشت می‌رسید (ابراهیمی و ابوالاحرار، ۱۳۸۷). با این همه، ارتباط میان خندق تل‌خندق‌ها و کاریزها همچنان نیازمند مطالعه و پژوهش بیشتر است. تعیین قدمت نرولاس‌ها، به‌ویژه نرولاس‌های جم، به دلیل استفاده طولانی‌مدت در گذر زمان و مرمت‌ها و بازسازی‌های مکرر، کاری دشوار است. همین چالش در مورد سایر سازه‌های آبی دوره ساسانی و حتی دوره‌های پیش از آن نیز وجود دارد. برای نمونه، تعمیر و بازسازی پل‌های ساسانی در دوران اسلامی، تشخیص گاه‌نگاری اصلی سازه را دشوار ساخته است (Kleiss, 1990: 453; Maresca, 2019: 212). با این حال، با توجه به شواهد موجود، شاید بتوان با قید احتیاط، قدمت این نرولاس‌های استان بوشهر را به دوره ساسانی نسبت داد؛ زیرا نه تنها مصالح به‌کاررفته در آن‌ها یادآور سازه‌های ساسانی است، بلکه هر سه نمونه نرولاس‌ها (دهقاید، خیرک و جم) در یک منظر باستان‌شناختی متعلق به دوره ساسانی قرار دارند. به عبارت دیگر، در نزدیکی هر سه منطقه، تپه‌ها، استقرارگاه‌ها و حتی کوشک‌های ساسانی شناسایی شده‌اند. افزون بر این، به نظر می‌رسد که دست‌کم بخشی از این نرولاس‌ها با کاریزهای مجاور در پیوند بوده‌اند.

کاریزها نیز، همانند دیگر سازه‌های آبی نظیر پل‌ها، آسیاب‌ها، کانال‌ها، برکه‌ها، حوض‌های ذخیره آب و نرولاس‌ها، گاه سده‌ها مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند و با مراقبت، لایروبی و تعمیرات به حیات خود ادامه می‌داده‌اند. کانال‌های آبی نیز به همین ترتیب، طی سده‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند و اگر تعمیر و نگهداری مناسبی بر روی آن‌ها صورت نمی‌گرفت، از میان می‌رفتند. بنابراین، استفاده مداوم از این سازه‌ها، اگرچه کمک شایانی به فراموش نشدن شیوه عملکرد آن‌ها کرده است، از سوی دیگر این تصور نادرست را به ذهن متبادر می‌سازد که این سازه‌ها یادگار سده‌های اخیر هستند؛ حال آن‌که شواهد روشنی از کاربری این سازه‌ها در دوران تاریخی، از جمله دوره‌های هخامنشی و ساسانی، در دست است و ایرانیان از هزاره‌های پیش، این شیوه‌های کنترل آب را به کار می‌برده‌اند. افزون بر این، نباید

³⁴ Ambrogio Contarini

³⁵ Giosafat Barbaro

³² Polybius

³³ Mount Taurus

گسترش شهرها و آبادی‌ها و به تبع آن، بر مدیریت آب و کشاورزی همان منطقه داشته است. با این حال، این داده‌ها برای مطالعه تحولات هر منطقه بسیار سودمند هستند. دشت برازجان و دهقاید، از منظر تاریخی و باستان‌شناختی، امتداد فارس به‌شمار می‌آمده‌اند؛ بدین معنا که هم در دوره هخامنشی و هم در دوره ساسانی، دشت برازجان بخشی از مراکز اداری و احتمالاً سیاسی تحت نظارت مرکز اصلی در فارس بوده است. بنابراین، دشت برازجان از منظر رویدادهای تاریخی، قابل مقایسه با فارس یا دست‌کم با گستره زاگرس جنوبی است.

بهره‌برداری گسترده از برخی سازه‌های آبی، به‌ویژه کاریزها که از ذخایر آب زیرزمینی استفاده می‌کرده‌اند، حتی در دوران باستان نیز گاه موجب بروز چالش‌های محیطی، از جمله خشکسالی، شده است. این نتیجه نه‌تنها از منابع مکتوب دوره ساسانی که به خشکسالی و قحطی اشاره دارند حاصل می‌شود، بلکه مطالعات گرده‌شناسی نیز آن را تأیید می‌کند. در این مطالعات مشخص شده است که راهبردهای بهره‌برداری از زمین در دوره هخامنشی تأثیر چشمگیری بر توازن هیدرولوژیکی محلی نداشته‌اند؛ زیرا این بهره‌برداری‌ها در مقیاس زمانی نسبتاً کوتاهی انجام شده‌اند. داده‌های دریاچه مهارلو نیز نشانه‌ای پایدار از فشار بر منابع آبی در این دوره تاریخی نشان نمی‌دهند. این امر بیانگر آن است که هرچند برداشت آب برای مقاصد کشاورزی و باغداری در دوره هخامنشی افزایش یافته بود، راهبردهای مدیریت آب در بلندمدت پایدار باقی مانده و تأثیر عمده‌ای بر دسترسی به منابع آبی نداشته است (Ricci *et al.*, 2023: 89). این یافته نشان می‌دهد که اگرچه بهره‌برداری از آب و زمین در این دوره وجود داشته، اما در سطحی نبوده است که پیامدهای مخرب چشمگیری به همراه داشته باشد.

از سوی دیگر، همین پژوهش‌های گرده‌شناسی مبتنی بر داده‌های دریاچه مهارلو تأیید می‌کنند که فعالیت‌های باغداری، هرچند از دوره ایلام میانه و با تنوع بیشتر در دوره هخامنشی وجود داشته‌اند، اوج خود را در اواخر دوره ساسانی و اوایل اسلامی، به‌ویژه در دوره آل‌بویه، تجربه کرده‌اند. با این حال، تمرکز این فعالیت‌ها در نواحی پرآب، فشار زیادی بر منابع آبی وارد کرده و احتمالاً همین بهره‌برداری‌های بی‌رویه یکی از عوامل خشک‌شدن کامل دریاچه در فاصله سال‌های ۸۰۰ تا ۱۵۰۰ میلادی بوده است (Ricci *et al.*, 2023: 92). بنابراین، در فارس شرایط متفاوت بوده است. اگرچه فارس مرکز اصلی حکومت‌های هخامنشی و ساسانی به‌شمار می‌رفت، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که

هخامنشی به عقب‌برد و همچنین انواع کاریز، از جمله قمش‌ها، نیز فن‌آوری‌هایی متعلق به سده‌های اخیر نبوده‌اند. اگرچه کاریزها گاه با مشارکت و حمایت‌های مردمی نیز ساخته می‌شده‌اند، اما از آنجا که احداث و نگهداری آن‌ها هزینه‌بر بوده است، در بسیاری از موارد حکومت‌ها نیز پشتیبان این تأسیسات بوده‌اند (English, 1968: 178; Wilkinson *et al.*, 2012: 169). البته حمایت مالی و معنوی حکومت‌ها از این سازه‌ها الزاماً ضروری نبوده و به‌ویژه در هزاره نخست پیش از میلاد، این الگو همواره تکرار نشده است؛ با این حال، در سده‌های متأخرتر، مانند دوره‌های اشکانی و ساسانی، این پشتیبانی حکومتی صورتی جدی‌تر به خود گرفته است (English, 1998: 103; Wilkinson *et al.*, 2012: 169). از سوی دیگر، باید توجه داشت که ارتباط نزدیکی میان حمایت حکومت‌ها و وضعیت محیطی و اقلیمی وجود داشته است؛ بدین معنا که در دوره‌های خشکسالی و کاهش بارش و منابع آبی، نیاز به مدیریت آب افزایش می‌یافته و در نتیجه می‌توان شاهد گسترش سازه‌های آبی بود. این ارتباط به‌خوبی در مطالعات میان‌رشته‌ای متمرکز بر تغییرات محیطی نیز تأیید شده است. بررسی‌های گرده‌شناسی رسوبات هولوسن در تالاب‌های ایران، اطلاعات تکمیلی ارزشمندی را در کنار داده‌های باستان‌شناسی برای درک تاریخ کشت گیاهان، شیوه‌های کشاورزی و بهره‌برداری از زمین فراهم می‌آورد (Djamali *et al.*, 2010: 185). مطالعه گرده‌شناختی بر پایه نمونه‌هایی از دو دریاچه در ایران، یکی دریاچه مهارلو در جنوب ایران و در فاصله حدود ۲۵۰ کیلومتری دهقاید، و دیگری دریاچه آلمالو در شمال‌غرب ایران، نشان داده است که میان برآمدن حکومت‌های هخامنشی، اشکانی و ساسانی و رونق کشاورزی ارتباط مستقیمی وجود دارد. به بیان دقیق‌تر، نمونه‌های دریاچه مهارلو در نزدیکی جنوب‌شرقی شیراز نشان داده‌اند که کشاورزی، به‌ویژه پس از برآمدن هخامنشیان، رونق یافته و سپس، در مقیاسی کمتر، این شکوفایی کشاورزی پس از شکل‌گیری حکومت‌های اشکانی و ساسانی نیز ادامه پیدا کرده است. در مقابل، نتایج به‌دست‌آمده از دریاچه آلمالو در نزدیکی تبریز نشان داده است که در دوره اشکانی نشانه‌ای از رونق کشاورزی مشاهده نمی‌شود که احتمالاً می‌تواند ناشی از چالش‌های سیاسی ایران اشکانی با ارمنستان باشد؛ اما در دوره ساسانی، کشاورزی بار دیگر شکوفا می‌شود (Djamali *et al.*, 2010: 175). البته این نتایج را نمی‌توان به‌سادگی به تمامی بخش‌های شاهنشاهی‌های هخامنشی، اشکانی و ساسانی تعمیم داد؛ زیرا رویدادهای تاریخی هر منطقه تأثیر قابل توجهی بر

297-296). افزون بر این، در سال‌های اخیر تلاش شده است تا با بهره‌گیری از مطالعات میان‌رشته‌ای، گاه‌نگاری مطلق کاریزها انجام شود؛ اما نتایج حاصل از این پژوهش‌ها برای مطالعات باستان‌شناختی چندان سودمند نیستند، زیرا تاریخ ساخت کاریزها را مشخص نمی‌کنند، بلکه تاریخ لایه‌های زمین‌شناسی را بررسی کرده‌اند که با منظر باستان‌شناختی مناطق مورد مطالعه همخوانی ندارد (نگاه کنید به: Fattahi, 2015; Fattahi et al., 2011).

پژوهش دیگری نیز به مطالعه شکل ظاهری برخی سازه‌های آبی دوره ساسانی پرداخته و بر اساس مقایسه نمونه‌های اولیه این سازه‌ها نتیجه گرفته است که چاه‌ها و کاریزهای ساسانی همگی دارای مقطع چهارگوش بوده‌اند و در دوره اسلامی به شکل مدور درمی‌آیند (احمدی و دیگران، ۱۴۰۲). با این حال، چالشی که این پژوهش با آن مواجه است، محدود بودن جامعه آماری مورد بررسی و نیز انتساب این سازه‌ها به دوره ساسانی است که بر پایه پیشنهادهای کاوشگران محوطه‌های مذکور صورت گرفته که می‌تواند با خطا همراه باشد. گذشته از آن که میزان قطعیت این نتیجه‌گیری تا چه اندازه است، امکان بررسی این فرضیه در نمونه‌های مورد مطالعه مقاله حاضر نیز فراهم نیست؛ زیرا تقریباً هیچ میل کاریز پرنشده‌ای در دشت برازجان وجود ندارد (شکل ۵) و به دلیل وضعیت کنونی آن‌ها، تشخیص شکل این میل‌ها امکان‌پذیر نیست. همان‌گونه که گفته شد، بنا بر مجموعه‌ای از شواهد، شاید بتوان نرولاس‌های مورد بحث و با اطمینان بیشتری پل - بند دختر را در شمار سازه‌های دوره ساسانی قرار داد. افزون بر این، شواهد دیگری نیز وجود دارد که نشان می‌دهد ساخت و بهره‌برداری دست‌کم برخی از رشته‌کاریزهای دهقاید می‌تواند به دوره ساسانی بازگردد. نخستین دلیل چنین برداشتی آن است که دهقاید و مناطق بالادست رود دالکی فاقد محوطه‌های چشمگیر متعلق به سده‌های میانی و متأخر اسلامی هستند. در مقابل، با تراکمی از محوطه‌های ساسانی مواجه هستیم که در میان آن‌ها چند محوطه هخامنشی نیز مشاهده می‌شود و حتی برخی از این محوطه‌های هخامنشی در دوره ساسانی نیز مورد سکونت قرار گرفته‌اند. افزون بر این، چند رشته کاریز/قمش مستقیماً به سوی تپه‌های محوطه دهقاید هدایت می‌شوند که مطالعات سفالی، ساسانی و احتمالاً اوایل اسلامی بودن آن‌ها را نشان می‌دهد. همچنین، کانال‌های آبی متصل به این کاریزها/قمش‌ها نیز به همین دلیل می‌توانند هم‌دوره با تپه‌های دهقاید در نظر گرفته شوند. تصاویر هوایی سال ۱۳۵۶ نشان می‌دهد که در اطراف برخی از این کانال‌ها هیچ‌گونه زمین زراعی وجود نداشته است. از

بهره‌برداری از آب و زمین در دوره هخامنشی به گستردگی دوره ساسانی نبوده است؛ زیرا فعالیت‌های گسترده هیدرولیکی ساسانیان در فارس، در نهایت در خشک‌شدن این دریاچه در سده‌های بعد نقش داشته‌اند. از این‌رو، هرچند حمایت ساسانیان از نظام‌های آبیاری و کشاورزی امری سودمند بوده است، گاه در گذر زمان پیامدهای نامطلوبی نیز برای محیط پیرامون برجای گذاشته است. بنابراین، شکل‌گیری شاهنشاهی‌ها، رویدادهای تاریخی و مسائل اجتماعی و سیاسی، ارتباط مستقیمی با مدیریت آبیاری و کشت‌وکار داشته‌اند. از سوی دیگر، این موضوع مؤید وجود رابطه‌ای میان حمایت‌های سازمانی و سیاسی حکومت‌ها و برنامه‌های توسعه آبیاری است. این امر، به نوبه خود، تأییدی بر پیشنهاد حاضر مبنی بر انتساب گاه‌نگاری سازه‌های آبی دهقاید به دوره ساسانی به‌شمار می‌رود؛ چراکه، همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، مطالعات سفالی نشان می‌دهد که دهقاید، اگرچه پیش از دوره ساسانی نیز دارای استقرار بوده است، شکوفایی اصلی خود را در دوره ساسانی تجربه کرده است. رمی بوشارلا در مقاله خود با عنوان «آبیاری در جنوب ایران در اوایل هزاره نخست میلادی»، موضوع جالبی را درباره کاریزها مطرح می‌کند. وی با مقایسه کاریزهای امارات متحده عربی با کاریزهای ایران، مسئله گاه‌نگاری این سازه‌ها را به چالش می‌کشد و نتیجه می‌گیرد که در حالی که در امارات کاریزهایی وجود دارند که در آن منطقه با نام «فَلَج» شناخته می‌شوند و تاریخ آن‌ها تا اوایل هزاره نخست پیش از میلاد می‌رسد، کاریزهای ایران با تردید به دوره‌های پیش از ساسانی نسبت داده می‌شوند و در مجموع، بیشتر آن‌ها را می‌توان به دوره ساسانی و پس از آن تاریخ‌گذاری کرد (Boucharlat, 2017: 39). اگرچه پژوهش‌های دیگری نیز وجود دارند که به کاریزهای هخامنشی پرداخته‌اند (Neely, 1974: 189; English, 1998: 28)، مرور انتشارات مرتبط، تا حد زیادی مؤید نظر بوشارلا است.

بنابراین، گاه‌نگاری کاریزها با چالش‌های متعددی روبه‌رو است و نمی‌توان به‌آسانی از شیوه حفر میل‌های کاریز و آثار ابزارها برای تعیین دوره ساخت آن‌ها استفاده کرد؛ زیرا اغلب کاریزها با ابزارهای ساده حفر می‌شده‌اند و این روش‌های سنتی طی سده‌های متمادی استمرار یافته و تفاوت چشمگیری با یکدیگر نداشته‌اند. حتی اگر خوش‌شانس باشیم و اشیای افتاده در میل‌های کاریز را نیز به‌دست آوریم، باز هم مشخص نیست که این اشیاء متعلق به زمان حفر کاریز باشند؛ زیرا ممکن است در هر زمان دیگری به درون این میل‌ها افتاده باشند (Boucharlat, 2016).

بلغریو، سر چارلز، ۱۳۶۹. *ساحل دزدان دریایی: سفرنامه دریایی* لایخ به خلیج فارس، ترجمه حسین ذوالقدر، تهران: انتشارات آناهیتا.

پاپلی یزدی، محمدحسین و مجید لباف خانیکی، ۱۳۷۷. «واحد‌های تقسیم آب در نظام آبیاری سنتی (فنجان)»، *تحقیقات جغرافیایی* ۱۳ (۳-۲)، پیاپی ۴۹-۵۰: ۷۳-۴۷.

پطروشفسکی، ایلیا پاولویچ، ۱۳۴۴. *کشاورزی و مناسبات ارضی در ایران عهد مغول (قرن‌های ۱۳ و ۱۴ میلادی)*، ترجمه کریم کشاورز، جلد اول، تهران: دانشگاه تهران.

پوردادود، ابراهیم و جیمز دارمستر، ۱۳۹۴. *اوستا (ویسپرد، خرده اوستا، وندیداد)*، نامه زرتشت، ویرایش نو: فرید مردای، جلد چهارم، تهران: مؤسسه نگاه.

حسینی فسائی، حاج میرزا حسن، ۱۳۷۸. *فارسنامه ناصری*، تصحیح و تحشیه منصور رستگار فسائی، جلد دوم، تهران: امیرکبیر.

رفیعی، نغمه و مهرداد پارسایی برازجانی، ۱۳۹۹. «بررسی و شناسایی آثار و محوطه‌های شهرستان جم و ریز، استان بوشهر»، *مجموعه مقالات کوتاه هجدهمین گردهمایی سالانه باستان‌شناسی ایران*، به کوشش روح‌الله شیرازی و مرتضی خانی‌پور، تهران: پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، صص. ۳۶۳-۳۷۰.

رکنی، نوشاد و منصوره اسلامی، ۱۳۷۹. «قمش، نمونه‌ای ویژه از کاریزهای رودخانه‌ای در شمال خوزستان»، *مجموعه مقالات همایش بین‌المللی کاریز*، ج ۲، یزد: شرکت سهامی آب منطقه‌ای یزد، صص. ۶۳۲-۶۱۹.

رهبر، مهدی، ۱۳۷۸. «پژوهشی درباره یک مجسمه مرمری یونانی از برازجان»، *باستان‌شناسی و هنر ایران (بزرگداشت عزت‌الله نگهبان)*، به کوشش عباس علیزاده، یوسف مجیدزاده و صادق ملک‌شهمیرزادی، تهران: سازمان میراث فرهنگی ایران، صص. ۲۰۷-۱۹۲.

زلقی، یعقوب، محمداسماعیل اسمعیلی‌جلودار و علیرضا خسروزاده، ۱۴۰۳. «تأمین آب شهر ساسانی-اسلامی گندی‌شاپور از قنات‌های رودخانه‌ای شهر دزفول؛ طرح یک فرضیه»، *مطالعات باستان‌شناسی پارسه* ۸ (شماره پیاپی ۲۷): ۱۹۵-۱۷۱.

زهبری، زهره، ۱۴۰۴. «از سنگ سیاه تا دهقاید: میراث باستان‌شناسی اسماعیل یغمایی در دشت برازجان»، *سینوس پرسیکوس*، ۲ (۴): ۷۸-۳۷.

ژینو، فیلیپ، ۱۳۷۳. *رِدْاویراف نامه*، ترجمه ژاله آموزگار، تهران: انتشارات معین.

سرفراز، علی اکبر، ۱۳۸۵. *دومین فصل بررسی و شناسایی شهرستان دشتستان*، بوشهر: مرکز اسناد سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان بوشهر (منتشر نشده).

سوی دیگر، بیشتر این رشته‌کاریزها/قمش‌ها در بخشی از آبادی دهقاید قرار گرفته‌اند که نه تنها با تپه‌های باستانی آن مرتبط هستند، بلکه به هیچ زمین کشاورزی یا نخلستان معاصر هدایت نمی‌شوند. ناگفته نماند که در چند دهه اخیر، کشاورزان منطقه در اطراف و حتی بر روی برخی از این تپه‌ها به زراعت پرداخته‌اند، اما این دخل و تصرف‌ها به دو دهه اخیر محدود می‌شود. از طرفی، بررسی تصاویر هوایی سال ۱۳۴۶، که قدیمی‌ترین تصاویر مورد استفاده در پژوهش حاضر هستند، نشان می‌دهد که بیشتر میل‌های کاریز کاملاً پوشیده شده‌اند و از برخی دیگر تنها رد کم‌رنگی باقی مانده است. این موضوع نشان می‌دهد که دست‌کم برخی از رشته‌کاریزهای دهقاید، سال‌ها پیش از دهه ۱۳۴۰ خورشیدی دیگر مورد استفاده نبوده‌اند و دهه‌ها، و شاید حتی سده‌ها، متروک مانده بوده‌اند. مجموع این شواهد، در کنار نوع مصالح و دیگر دلایل تکمیلی که پیش‌تر بیان شد، ما را به این نتیجه رهنمون می‌سازد که می‌توان کاریزها، کانال‌ها و پل/بند دختر را، با رعایت جانب احتیاط، به دوره ساسانی منسوب کرد.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر با حمایت بنیاد پژوهش‌های آلمان (Deutsche Forschungsgemeinschaft- SPP 2176) صورت گرفته است.

کتاب‌نامه

ابراهیمی، سعید و علیرضا ابوالاحرار، ۱۳۸۷. «بازنگری کاربری تل خندق سرمشهد»، *خلاصه مقالات دومین همایش بین‌المللی جنوب آسیا*، کازرون: دانشگاه آزاد اسلامی.

ابی زاده، الناز، ۱۳۸۹. «نگرشی بر قنات با محوریت آموزش و احیاء فناوری بومی، فرهنگ و معماری ایرانی»، *معماری و شهرسازی آرمانشهر*، شماره ۵: ۲۲-۱.

احمدی، حسام‌الدین، احمد صالحی کاخکی و ناصر نوروززاده چگینی، ۱۴۰۲. «گونه‌شناسی چاه و قنات در فارس دوران ساسانی و اسلامی»، *اثر*، دوره ۴۴، پیاپی ۱۰۲: ۳۵۰-۳۳۶.

اسمعیلی جلودار، محمد اسماعیل، ۱۳۸۹. «چشم انداز محیطی شهر ساسانی گندی‌شاپور و فناوری تأمین، انتقال و توزیع آب در آن (برپایه مطالعات باستان‌شناختی و منابع نوشتاری)»، *پژوهش‌های باستان‌شناسی مدرس*، ۲ (۳): ۲۴۶-۲۲۳.

الکرچی، ابوبکر محمد بن حسن الحاسب، ۱۳۷۳. *استخراج آب‌های پنهانی*، ترجمه حسین خدیوچم، تهران: پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی.

- Adams, R. McC., and D. P. Hansen, 1968. "Archaeological Reconnaissance and Soundings in Jundī Shāpūr", *Ars Orientalis*, 7: 53–70.
- Alizadeh, K., R. Mohammadi, S. Maziar, and M. Feizkhah, 2021. "The Islamic Conquest or Flooding? Sasanian Settlements and Irrigation Systems Collapse in Mughan, Iranian Azerbaijan", *Journal of Field Archaeology*, 46: 316–332.
- Asadi, A., M. Mousavi Kouhpar, J. Neyestan, and A. Hojabri-Nobari, 2013. "Sasanian and Early Islamic Settlement Patterns North of the Persian Gulf", *Vicino Oriente*, 17: 21–38.
- Barbaro, G., and A. Contarini, 1873. *Travels to Tana and Persia*, London: Hakluyt Society.
- Boucharlat, R., 2016. "Qanāt and Falaj: Polycentric and Multi-period Innovations, Iran and the United Arab Emirates as Case Studies", in A. N. Angelakis, E. Chiotis, S. Eslamian, and H. Weingartner (eds.), *Underground Aqueducts Handbook*, Boca Raton: CRC Press, pp. 279–304. <https://doi.org/10.1201/9781315368566-18>
- Boucharlat, R., 2017. "Irrigation in Southern Iran in the Early 1st Mill. AD: Some Hypotheses about Draining Galleries", in W. Y. al-Tikriti and P. Yule (eds.), *Proceedings of Water & Life in Arabia Conference: 14th–16th December, 2014 = Hiṣd Mu'tamar al-Mā' wa-l-Ḥayāt ft Sibh al-Gazīra al-'Arabīya*, Abu Dhabi: Abu Dhabi Tourism and Culture Authority, pp. 37–50.
- Bulawka, N., H. A. Orenko, and I. Berganzo-Besga, 2024. "Deep Learning-based Detection of Qanat Underground Water Distribution Systems Using HEXAGON Spy Satellite Imagery", *Journal of Archaeological Science*, 171: 106053. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2024.106053>
- Callieri, P., A. Askari Chaverdi, A. Eghra', D. M. Mezzapelle, and K. Mohammadkhani, 2021. "The Dynamics of Human Settlement in Historical Times in South-central Fars, from Firuzabad to the Persian Gulf: First Preliminary Results of a New Research Project", *East and West (New Series)*, 2 (2): 43–88.
- Campopiano, M., 2011. "Land Tax 'alā l-misāḥa and Muqāsama: Legal Theory and the Balance of Social Forces in Early Medieval Iraq (6th–8th Centuries CE)", *Journal of the Economic and Social History of the Orient*, 54: 239–269.
- Carter, R. A., K. Challis, S. M. N. Priestman, and H. Tofighian, 2006. "The Bushehr Hinterland: Results of the First Season of the Iranian-British Archaeological Survey of Bushehr Province, November–December 2004", *Iran*, 44: 63–103.
- Christensen, A., 1944. *L'Iran sous les Sassanides*, 2nd rev. ed., Copenhagen: Ejnar Munksgaard.
- Curzon, G. N., 1892. *Persia and the Persian Question*, vol. II, London: Longmans, Green, and Co.
- Djamali, M., N. F. Miller, E. Ramezani, V. Andrieu-Ponel, J.-L. de Beaulieu, M. Berberian, F. Guibal, H. Lahijani, R. Lak, and P. Ponel, 2010. "Notes on Arboricultural and Agricultural Practices in Ancient Iran Based on New Pollen Evidence", *Paléorient*, 36 (2): 175–188.
- طباطبایی، سید مصطفی و حسین خزیمه‌نژاد، ۱۴۰۱. «ارزیابی روش‌های حفاظتی و افزایش آبدهی قنوات در ایران»، *آبخوان و کاریز*، ۴ (۱): ۲۸–۱۷.
- طبری، محمد بن جریر، ۱۳۶۲. *تاریخ طبری یا تاریخ الرسل والملوک*، ترجمه ابوالقاسم پاینده، جلد دوم، چاپ دوم. تهران: انتشارات اساطیر.
- عسکری چاوردی، علیرضا و مسعود آذرروش، ۱۳۸۳. «بررسی باستان‌شناختی محوطه‌های باستانی پس‌کرانه خلیج فارس: لامرد و مهر، فارس»، *باستان‌شناسی و تاریخ*، ۳۶: ۱۸–۳.
- غلامی، خدیجه و یعقوب محمدی‌فر، ۱۴۰۳. «بررسی پایگان آبی هرمز فارس در دوره ساسانی»، *سینوس پرسیکوس*، ۲ (۳): ۸۱–۵۵.
- مالکی، احمد و احمد خورسندی آقایی، ۱۳۸۴. *کاریز در ایران: مطالعه موردی کاریزهای شهر تهران*، تهران: شرکت پردازش و برنامه‌ریزی شهری.
- میرزایی، علی‌اصغر، ۱۳۹۴. «بررسی نظام مالیاتی ساسانی و اصلاحات مالی خسرو انوشیروان»، *پژوهش‌های تاریخی* ۷ (۲)، پیاپی ۲۶: ۱۲۴–۱۰۹.
- نجف‌لو، پریشان، جعفر یعقوبی و جعفر نیک‌بخت، ۱۳۹۸. «مدیریت بهره‌برداری سنتی از منابع آب در روستاهای ایران». آب و توسعه پایدار ۶ (۲): ۳۸–۲۷.
- یغمایی، احسان [اسماعیل]، ۱۳۸۹. «کاوش‌های باستان‌شناسی در مهرکده محمدآباد (دشتستان، برازجان)»، *باستان‌پژوهی*، دوره جدید، ۳ (۶): ۷۶–۵۶.
- یغمایی، احسان [اسماعیل]، ۱۳۹۴. «چهارتاقی محمدآباد، دشتستان/بrazجان»، *باستان‌پژوهی*، دوره جدید، ۹ (۱۷): ۵۸–۵۰.
- یغمایی، اسماعیل، ۱۴۰۲. الف. *سازه‌های ویران دشتستان: کاوش‌های باستان‌شناسی در آتشکده محمدآباد و کوشک گودسعیدی*، تهران: نشر دادکین.
- یغمایی، اسماعیل، ۱۴۰۲. ب. *نیایش مهر در ایران بر پایه کاوش‌های باستان‌شناسی در مهرکده‌های دشتستان برازجان*، تهران: نشر دادکین.
- یوسف‌وند، یونس و محمدرضا محمدیان، ۱۴۰۳. «گزارشی کوتاه از سازه‌های آبی تنگ وراز/گراز (شهرستان کوهدشت، استان لرستان)»، *پژوهش‌های باستان‌شناسی زاگرس* ۱ (۱): ۱۵۴–۱۳۹.
- Adams, R. M., 1965. *Land behind Baghdad: A History of Settlements on the Diyala Plains*. Chicago: University of Chicago.
- Adams, R. M., 2006. "Intensified Large-scale Irrigation as an Aspect of Imperial Policy: Strategies of Statecraft on the Late Sasanian Mesopotamian Plain", in J. Marcus and C. Stanish (eds.), *Agricultural Strategies*, Los Angeles: Cotsen Institute of Archaeology, University of California, pp. 17–37.

- Maresca, G., 2019. "Hydraulic Infrastructures in South-western Iran during the Sasanian Period: Some Archaeological Remarks", *Vicino Oriente*, 23: 207–222.
- Morandi Bonacossi, D., B. J. Hasan, and F. Simi, 2023. "Water, Gods and Kings. The Neo-Assyrian Canal and Rock Reliefs in Faïda (Kurdistan Region of Iraq)", *ArchéOrient – Le Blog*, 19 May. <https://doi.org/10.58079/bd35>
- Mühl, S., M. Rösch, D. Ali Muhammed, A. Kadereit, and B. Qader Aziz, 2018. "Irrigation in the Shahrizor Plain: The Potential of Archaeological and Geoarchaeological Archives to Reconstruct Ancient Water Management", in H. Kühne (ed.), *Water for Assyria* (Studia Chaburensia 7), Wiesbaden: Harrassowitz Verlag, pp. 131–156.
- Neely, J. A., 1974. "Sassanian and Early Islamic Water-control and Irrigation Systems on the Deh Luran Plain, Iran", in R. M. Adams, T. E. Downing, and M. Gibson (eds.), *Irrigation's Impact on Society* (Anthropological Papers of the University of Arizona 25), Tucson: University of Arizona Press, pp. 21–42.
- Neely, J. A., 2011. "Sasanian Period Drop-tower Gristmills on the Deh Luran Plain, Southwestern Iran", *Journal of Field Archaeology*, 36: 232–254.
- Neely, J. A., 2016. "Parthian and Sasanian Settlement Patterns on the Deh Luran Plain, Khuzistan Province, Southwestern Iran", *Iranica Antiqua*, 51: 235–300. <https://doi.org/10.2143/IA.51.0.3117836>
- Perikhanian, A., 1997. *The Book of a Thousand Judgements: A Sasanian Law-book*, translated from the Russian by Nina Garsoïan Costa Mesa: Mazda Publishers.
- Polybius, 1889. *The Histories of Polybius*, vol. 1, translated by E. S. Shuckburgh, London: Macmillan and Co.
- Priestman, S. M. N., and D. Kennet, 2023. *Sasanian and Islamic Settlement and Ceramics in Southern Iran (4th to 17th Century AD): The Williamson Collection Project*, Oxford: Oxbow Books.
- Rashidian, E., 2024. "The Dynamics of Anthropogenic Landscape Evolution in the Bozpar Valley (South Iran): A Case Study for Small-scale Hydraulic Engineering in Antiquity", *Iranica Antiqua*, 59: 153–193.
- Rashidian, E., 2025. "Stone and Water: A Case Study of Integrated Hydraulic Structures within the Late Antique Monumental Architecture of the Bozpar Valley in South Iran", *Persica Antiqua*, 5 (8): 59–92. <https://doi.org/10.22034/pa.2024.434627.1078>
- Ricci, A., S. Balatti, É. Brisset, M. Djamali, A. Naderi Beni, A. Azadi, and P. Firoozbakhsh, 2023. "Water Stress and Imperial Politics in the Southern Zagros Mountains: An Interdisciplinary Approach in Long-term Perspective", in R. Bernbeck, G. Eberhardt, and S. Pollock (eds.), *Coming to Terms with the Future: Concepts of Resilience for the Study of Early Iranian Societies* (Studia Chaburensia 7), Wiesbaden: Harrassowitz Verlag, pp. 83–96.
- English, P. W., 1968. "The Origin and Spread of Qanats in the Old World", *Proceedings of the American Philosophical Society*, 112 (3): 170–181.
- English, P. W., 1998. "Qanats and Lifeworlds in Iranian Plateau Villages", *Yale F&ES Bulletin*, 103: 187–205.
- Fattahi, M., 2015. "OSL Dating of the Miam Qanat (Kāriz) System in NE Iran", *Journal of Archaeological Science*, 59: 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.04.006>
- Fattahi, M., A. Aqazadeh, R. T. Walker, M. Talebian, R. A. Sloan, and M. M. Khatib, 2011. "Investigation on the Potential of OSL for Dating Qanat in the Dasht-e Bayaz Region of Northeastern Iran Using the SAR Protocol for Quartz", *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, 13 (2): 65–75.
- Fattahi, M., and M. Sharifi, 2021. "OSL Dating of Submerged Ancient Jareh Bridge-Dam (South-West of Iran)", *Iranica Antiqua*, 56: 211–243. <https://doi.org/10.2143/IA.56.0.3290276>
- Fiorucci, M., W. B. Verschoof-van der Vaart, P. Soleni, B. Le Saux, and A. Traviglia, 2022. "Deep Learning for Archaeological Object Detection on LiDAR: New Evaluation Measures and Insights", *Remote Sensing*, 14 (7): 1667.
- Hartnell, T., 2014. "Agriculture in Sasanian Persis: Ideology and Practice", *Journal of Ancient History*, 2: 182–208.
- Henning, W. B., 1954. "The Inscription of Firuzabad", *Asia Major*, 4: 98–102.
- Ilmiyaz, O., Y. Zhang, L. Wang, X. Zhang, A. Kurban, A. Eziz, K. Ablimit, J. Bourgeois, S. Barbaix, T. Van de Voorde, J. Jiang, X. Xiang, and Y. Wang, 2025. "A Detection-screening Framework for Karez (Ancient Underground Irrigation System) Using Deep Learning and Geospatial Analysis", *npj Heritage Science*, 13 (1): 429. <https://doi.org/10.1038/s40494-025-01967-6>
- Kleiss, W., 1990. "Bridges ii. Bridges in the Islamic Period", *Encyclopaedia Iranica*, vol. IV: 453–455.
- Labbaḥ Khaneiki, M., and A. S. al-Ghafri, 2024. "Hydro-political Borders and Division of Space in the Sasanian Domain", *Journal of Borderlands Studies*, 39 (2): 307–327. <https://doi.org/10.1080/08865655.2022.2104342>
- LeCun, Y., Y. Bengio, and G. Hinton, 2015. "Deep Learning", *Nature*, 521: 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- Lorimer, J. G., 1908. *Gazetteer of the Persian Gulf, 'Omān and Central Arabia*, vol. 2: *Geographical and Statistical*, Calcutta: Superintendent Government Printing.
- Luo, L., X. Wang, H. Guo, C. Liu, J. Liu, L. Li, X. Du and G. Qian, 2014. "Automated Extraction of the Archaeological Tops of Qanat Shafts from VHR Imagery in Google Earth", *Remote Sensing*, 6 (12): 11956–11976. <https://doi.org/10.3390/rs61211956>
- Ma, L., Y. Liu, X. Zhang, Y. Ye, G. Yin, and B. A. Johnson, 2019. "Deep Learning in Remote Sensing Applications: A Meta-analysis and Review", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 152: 166–177. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.04.015>

- Wenke, R. J., 1987. "Western Iran in the Partho-Sasanian Period: The Imperial Transformation", in F. Hole (ed.), *The Archaeology of Western Iran: Settlement and Society from Prehistory to the Islamic Conquest*, Washington, DC: Smithsonian Institution Press, pp. 251–281.
- Whitcomb, D., 1987. "Bushire and the Angali Canal", *Mesopotamia*, 22: 311–336.
- Whitcomb, D., 2016. "A Sequence of Iranian Ports: Islamic Archaeology in the Persian Gulf", *International Journal of the Society of Iranian Archaeologists*, 2 (3): 47–53.
- Wilkinson, T. J., R. Boucharlat, M. W. Ertsen, G. Gillmore, D. Kennet, P. Magee, K. Rezakhani, and T. De Schacht, 2012. "From Human Niche Construction to Imperial Power: Long-term Trends in Ancient Iranian Water Systems", *Water History*, 4: 155–176. <https://doi.org/10.1007/s12685-012-0056-9>
- Zehbari, Z., N. Ebrahimi, and M. Parsaei Borazjani, 2025. "Dehqāed, a Lesser-known Sasanian Centre in the Borāzjān Plain, Southern Iran", in M. Cifarelli and K. Alizadeh (eds.), *New Voices in Iranian Archaeology*, Oxford: Oxbow Books, pp. 99–124.
- Zehbari, Z., N. Ebrahimi, and M. Parsaei Borazjani, 2026. "The Sasanian Institutional Landscape in Borazjan as Seen through Water Management", in S. Hauser, W. Henkelman, and G. Labisi (eds.), *Institutional Landscape of Empire in Ancient Iran (The Iranian Highlands: Early Societies between Resilience and Integration)*, Leiden: Sidestone Press.
- Zhao, Y., W. Lv, S. Xu, J. Wei, G. Wang, Q. Dang, Y. Liu, and J. Chen, 2024. "DETRs Beat YOLOs on Real-time Object Detection", in *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 16965–16974. <https://doi.org/10.1109/CVPR52733.2024.01605>
- Zhu, X. X., D. Tuia, L. Mou, G. S. Xia, L. Zhang, F. Xu, and F. Fraundorfer, 2017. "Deep Learning in Remote Sensing: A Comprehensive Review and List of Resources", *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 5 (4): 8–36. <https://doi.org/10.1109/MGRS.2017.2762307>
- Rubin, Z., 2021. "The Reforms of Khusro Anūshirwān", in A. Cameron (ed.), *The Byzantine and Early Islamic Near East*, vol. 3: *States, Resources and Armies*, Berlin: Gerlach, pp. 227–297.
- Semsar Yazdi, A. A., and M. Labbaf Khaneiki, 2017. "Barriers and Limitations of Qanat Construction and Rehabilitation", in *Qanat Knowledge*, Dordrecht: Springer Netherlands, pp. 77–97. https://doi.org/10.1007/978-94-024-0957-4_5
- Sorosh, M., 2016. *Irrigated Landscapes beyond Political Dynamics: Long-Term Water Management Strategies on the Miyānāb Plain of Khuzistan (Iran)*, PhD dissertation, New York University.
- Sorosh, M., A. Mehrdash, E. Khazraee, and J. A. Ur, 2020. "Deep Learning in Archaeological Remote Sensing: Automated Qanat Detection in the Kurdistan Region of Iraq", *Remote Sensing*, 12 (3): 500. <https://doi.org/10.3390/rs12030500>
- Sykes, P. M., 1902. *Ten Thousand Miles in Persia, or Eight Years in Irān*, London: John Murray.
- Tafazzoli, A., 1994 [last update 2013]. "DEHQĀN", *Encyclopaedia Iranica*, vol. VII, Fasc. 2, pp. 223–224; Fasc. 3, pp. 225–226. <https://www.iranicaonline.org/articles/dehqan/#pt1>
- Trier, Ø. D., J. H. Reksten, and K. Løseth, 2021. "Automated Mapping of Cultural Heritage in Norway from Airborne LiDAR Data Using Faster R-CNN", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 95: 102241. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102241>
- Ur, J., 2018. "Water for Arbail and Nimrud", in H. Kühne (ed.), *Water for Assyria* (Studia Chaburensia 7), Wiesbaden: Harrassowitz Verlag, pp. 57–75.
- Vadineanu, S., T. Kalayci, D. M. Pelt, and K. J. Batenburg, 2024. "Convolutional Neural Networks and Their Activations: An Exploratory Case Study on Mounded Settlements", *Journal of Computer Applications in Archaeology*, 7 (1): 1.