

بازسازی شرایط محیطی محوطه‌های باستانی با استفاده از آنالیزهای ژئوشیمی

مطالعه موردی: تل ملیان (انسان)، استان فارس

مهران مقصودی*؛ دانشیار، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

راضیه لک؛ دانشیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

سید محمد زمان زاده؛ دانشیار، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

علی‌رضا سرداری زارچی؛ استادیار، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری

اصغر نویدفر؛ دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۱۱

چکیده

مطالعات زمین‌باستان‌شناسی بیان‌کننده روابط بین انسان‌های گذشته با محیط و تأثیر هر یک از این دو بر یکدیگر است. در این مطالعه، با استفاده از داده‌های رسوب‌شناسی و ژئوشیمی، به بازسازی تغییرات محیطی در محوطه باستانی تل ملیان استان فارس پرداخته شد. از مجموع ۲۲ گمانه حفر شده در داخل و اطراف تل ملیان، تعداد ۱۴۰ نمونه خاک بر اساس تغییر لایه برداشته شد. با توجه به تغییرات لایه‌ها، تعداد ۷۲ نمونه برای آنالیز XRF انتخاب شد. بر اساس نتایج این تحقیق، بافت خاک محدوده عمدتاً ریزدانه است و در برخی گمانه‌ها، مانند گمانه ۱۸ و ۹، رسوبات درشت‌دانه مربوط به رسوبات رودخانه‌ای دیده می‌شود. جهت رسوب‌گذاری در گمانه ۱۸ غربی-شمال شرقی و در گمانه ۹ غربی-شرقی است. بیشترین شواهد و بافت سیلابی در محدوده گمانه ۱۸ و ۹ در بخش‌های شمال شرقی محوطه و بخش‌های جنوبی محوطه مشاهده شد. بین لایه‌های سیلابی آثار و بقایای سفال نیز به دست آمد که مؤید آن است که در زمان فعالیت شبکه‌های زهکشی، در تل ملیان، سکونت وجود داشته است. نتایج داده‌های XRF در گمانه ۱۸، به منزله شاخص‌ترین گمانه طبیعی در محوطه تل ملیان، پنج روند افزایش و کاهش رطوبت را نشان می‌دهد. کلیدواژگان: بافت رسوبی، تغییرات محیطی، دوره‌های سیلابی، زمین‌باستان‌شناسی.

مقدمه

ظهور تمدن‌های بزرگ به دسترسی به منابع آب شیرین و زمین کافی جهت فعالیت‌های زراعی بستگی دارد (مک لین و لوین ۲۰۱۵). رسوبات محفوظ‌مانده در محدوده محوطه‌های تاریخی می‌تواند رشد و نابودی جوامع باستانی و نیز در زمینه محیط اجتماعی و محیط طبیعی اطلاعاتی را ثبت کند (بوتزر و همکاران ۲۰۱۳). برای مطالعه آثار طبیعی و فرهنگی در محوطه‌های تاریخی، زمین‌باستان‌شناسی یک زمینه مطالعاتی رو به گسترش و جزء علوم میان‌رشته‌ای است (داگمور و

نیوتن ۲۰۱۲؛ نیکول و مورفی ۲۰۱۴) که با اصول و روش‌های رشته‌های علوم زمین برای پاسخ‌گویی به سؤال‌های حل‌نشده باستان‌شناسی و کمک به تحقیقات آن‌ها تعریف می‌شود (بوتزر ۱۹۸۲؛ واترز ۱۹۹۲؛ پلارد ۱۹۹۹؛ گلدبرگ و مک‌فیل ۲۰۰۶). پژوهشگران در این زمینه، به منظور بررسی تحولات اجتماعی و رشد و شکوفایی و از بین رفتن محوطه‌ها، به دنبال تغییر شرایط دیرینه محیطی و حوادثی هستند که ممکن است به صورت ناگهانی موجب نابودی فرهنگ و تمدن در منطقه شده باشد (موریزیو و سیلوسترو ۲۰۱۲؛ واترز ۱۹۸۸؛ مور ۲۰۰۹؛ فوشه و همکاران ۲۰۱۰؛ گیلکور و همکاران ۲۰۱۱؛ وودوارد و هکلبری ۲۰۱۱؛ گیلاردی و تریستانت ۲۰۱۲؛ گیلاردی و همکاران ۲۰۱۳).

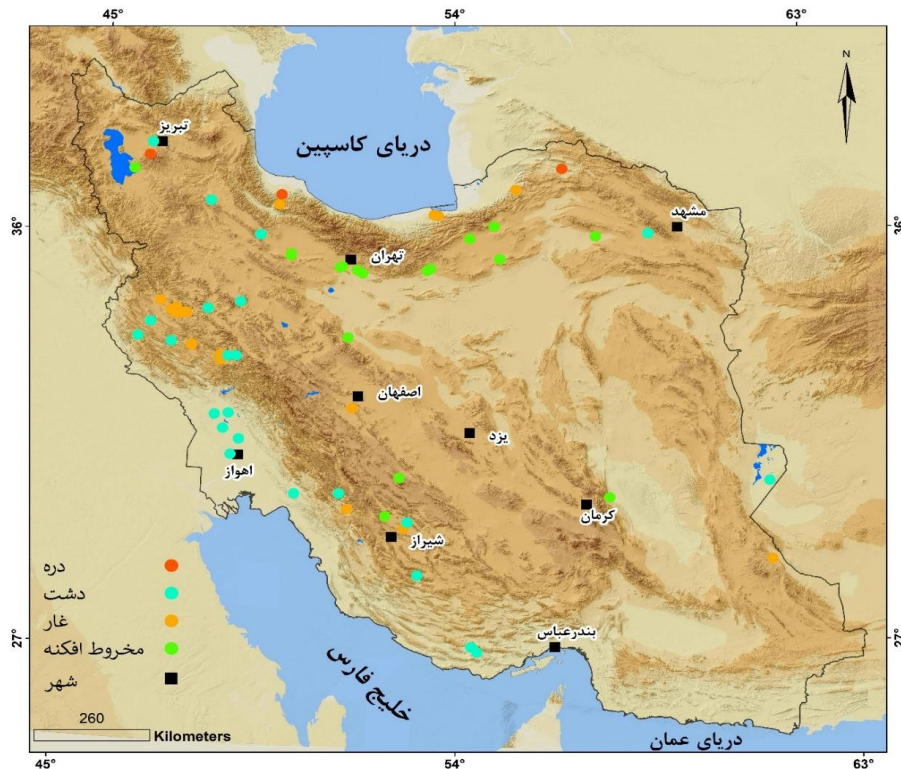
محیط‌های آبرفتی از قلمروهای مهم جهت بررسی ارتباط بین فعالیت‌های انسانی و تغییرات محیطی‌اند (ریتنور ۲۰۰۸). چون شکل‌گیری سکونتگاه‌ها در ارتباط با عوامل مختلفی مانند ژئومورفولوژی، فرم و شیب زمین، و دسترسی به منابع آب است (مقصودی و همکاران ۱۳۹۳). همچنین رسوبات محیط‌های آبرفتی عمدتاً با رسوبات محوطه‌های باستانی در ارتباط‌اند. به دلیل همبستگی شدید محیط‌های آبرفتی با گسترش جوامع باستانی، این محیط‌ها بیش از سایر محیط‌های رسوبی مورد توجه انسان قرار گرفته‌اند. تاریخچه مطالعات محیط‌های رسوبی رودخانه‌ای از این نظر که گسترش تمدن‌های اولیه انسانی در حاشیه آن‌ها صورت گرفته بیشتر از سایر محیط‌های رسوبی است و امروزه جایگاهی ویژه در مطالعات رسوب‌شناسی یافته است (پری و تیلور ۲۰۰۹). بنابراین، در مطالعه ژئومورفولوژی آبرفتی این مکان‌ها می‌توان آثار فعالیت انسان‌های گذشته را در رابطه با محیط‌های رودخانه طی دوره هولوسن شناسایی کرد (هیل و همکاران ۲۰۱۱).

در زمینه پیشینه مطالعات زمین‌باستان‌شناسی دو رویکرد در پیش گرفته شده است. یک رویکرد ارتباط پراکندگی محوطه‌های تاریخی با شرایط محیطی- از قبیل فاصله از شبکه زهکشی، جاده و عوامل ارتفاع، شیب، و ... است و رویکرد دیگر مطالعه جامع یک محوطه با استفاده از روش‌های رسوب‌شناسی (گیلمور و همکاران ۲۰۱۱؛ اشمیت و همکاران ۲۰۱۱؛ مقصودی و همکاران ۲۰۱۴)، ژئومورفولوژی (مقصودی و همکاران ۱۳۹۶؛ عظیمی راد و همکاران ۱۳۹۷؛ صفاری و همکاران ۱۳۹۸)، ژئوفیزیک (رنجی رودپستی و حفیظی ۱۳۹۱؛ مجرب و همکاران ۱۳۹۱؛ احمدپور و همکاران ۱۳۹۵)، خاک‌شناسی (مقصودی و همکاران ۲۰۱۴؛ رازانی و همکاران ۱۳۹۶). مطالعات زمین‌باستان‌شناسی در ایران به‌رغم سابقه کم نسبت به سایر زمینه‌های مطالعاتی در ژئومورفولوژی توسعه بسیار پیدا کرده است و عمده مطالعات مربوط به لندفرم‌های دشت مخروط‌افکنه است و از نقش لندفرم‌ها در سکونت‌گزینی انسان‌ها نشان دارد. در بخش‌های غربی کشور، به جهت توسعه غارها در سازندهای کارستی، نقش این لندفرم در سکونت‌گزینی چشم‌گیر است (شکل ۱).

حوضه رود کر یکی از کانون‌های اصلی فرهنگ ایلامی به حساب می‌آید که شهر انشان (تل ملیان) در مرکز آن قرار دارد و از مراکز بزرگ دوره ایلامی بوده است (رینر^۱ ۱۹۷۳). بیشتر محققان انشان را یک شهر و نیز یک منطقه، که در استان فارس قرار دارد، پذیرفته‌اند (هانسن^۲ ۱۹۸۷؛ رینر^۳ ۱۹۷۳؛ والات^۴ ۱۹۹۸). رود کر و چشمه‌هایی که از حواشی کوه‌ها و دامنه‌های شیب‌دار ارتفاعات غربی سرچشمه می‌گیرند از زهکش‌های مهم و منابع آبی اصلی در محدوده دشت

1. Reiner
2. Hansman
3. Reiner
4. Vallat

مروذشت‌اند. این منابع آبی باعث به وجود آمدن فرهنگ‌های مختلف در طول چندین هزار سال بوده‌اند. فراوانی نسبی منابع آب و خاک و شرایط اقلیمی مناسب از عوامل مهم شکل‌گیری استقرارهای متعدد پیش از تاریخ، تاریخی، و اسلامی در محدوده مورد مطالعه‌اند (سامنر^۱ ۱۹۷۲).



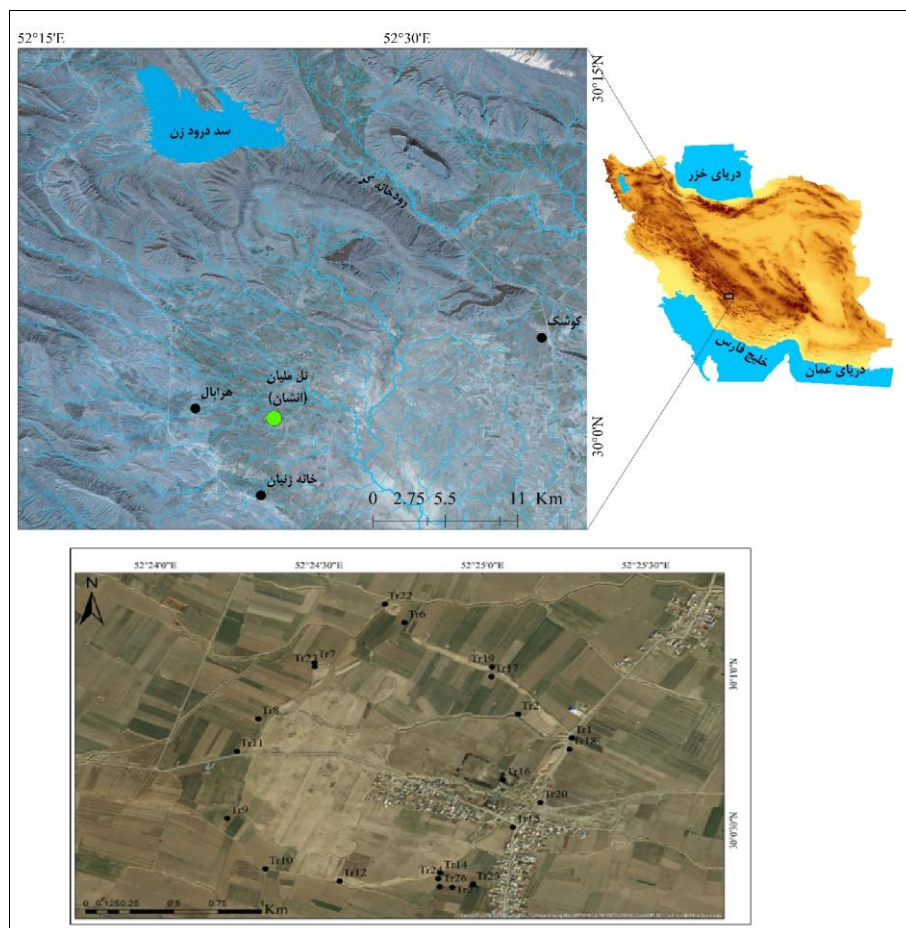
شکل ۱. نقشه پیشنهادی مطالعات زمین‌باستان‌شناسی در ایران (منبع: نگارندگان).

به‌رغم کاوش‌ها و حفاری‌های باستان‌شناسی وسیع انجام‌شده در محوطه ملیان، مطالعات ژئومورفولوژی و زمین‌باستان‌شناسی به‌ندرت در این محل صورت گرفته است. در سال ۱۳۹۶ پروژه‌ای جهت تعیین عرصه و حریم محوطه تل ملیان (انشان) از طرف پژوهشکده باستان‌شناسی اجرا و مطالعات ژئومورفولوژی بر محوطه آغاز شد. در این مطالعه با استفاده از آنالیزهای رسوبی و ژئوشیمی تلاش برای بازسازی شرایط محیطی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

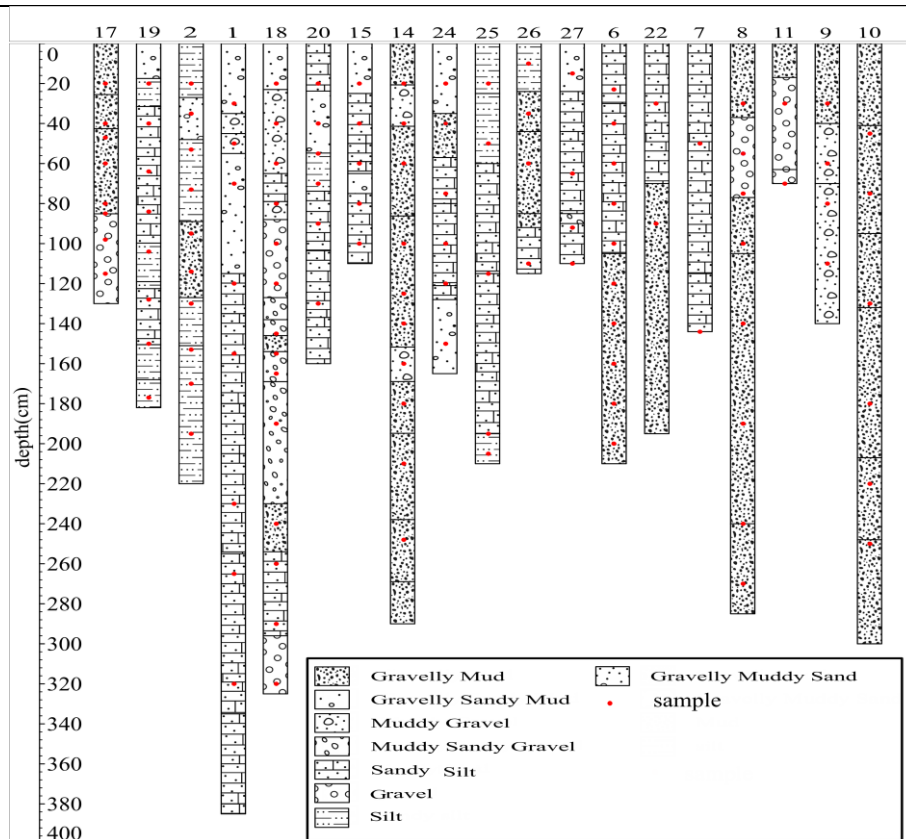
محوطه تل ملیان در مختصات جغرافیایی $30^{\circ}00'43''$ عرض شمالی و $52^{\circ}24'57''$ طول شرقی واقع شده است. این محوطه در فاصله ۴۶ کیلومتری شمال شیراز در استان فارس قرار دارد. این محوطه در اصلی‌ترین شبکه هیدروگرافی محدوده رودخانه کر واقع شده است. این رودخانه از ارتفاعات اقلید در شمال‌غربی استان فارس سرچشمه می‌گیرد و در

مجاورت سد درودزن وارد دشت مرودشت می‌شود. رودخانه، بعد از سد درودزن، در منطقه رامجرد جریان می‌یابد و با گذشتن از حاشیه شهر مرودشت و یکی شدن با رودخانه سیوند در محل پل خان به سوی بند امیر پیش می‌رود و در نهایت به دریاچه بختگان می‌ریزد (شکل ۲).



شکل ۲. محدوده مورد مطالعه.

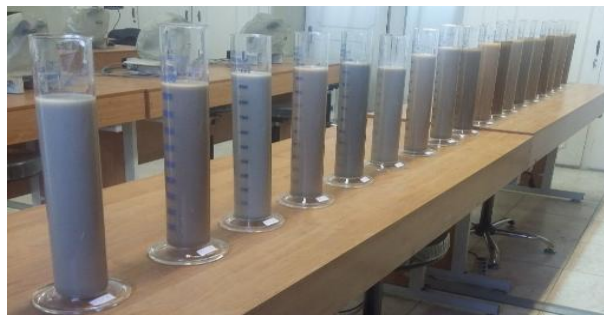
تعداد ۱۴۰ نمونه از محوطه تل ملیان (انسان) با هدف بازسازی شرایط محیطی آن از مجموع ۲۲ گمانه برداشته شد. نمونه‌برداری بر اساس ویژگی‌های لایه و با توجه به تغییر خصوصیات لایه، از قبیل رنگ، انجام پذیرفت و در مواردی که تغییر لایه‌ها تدریجی بود نمونه‌برداری سیستماتیک و به فاصله هر ۲۰ سانتی‌متر صورت گرفت (شکل ۳).



شکل ۳. گمانه‌ها و عمق نمونه‌های برداشت‌شده از لایه‌ها.

بافت رسوبات

مطالعه بافت رسوب شامل تجزیه و تحلیل اندازه دانه، مورفولوژی دانه، بافت سطح دانه، و فابریک رسوب است. چنین ویژگی‌هایی در بافت نشان‌دهنده بلوغ بافتی و بافت رسوبات است (تارکر ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲). جهت تعیین بافت رسوبات، نمونه‌ها به مدت یک شب در دمای ۱۰۵ درجه به وسیله آون خشک شدند. ذرات بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر با استفاده از دستگاه شیکر برای جداسازی گراول و ماسه مورد استفاده قرار گرفت و ذرات کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر برای جداسازی مقدار سیلت و رس و ماسه از روش هیدرومتری با استاندارد (ASTM Standards) به صورت ۹ بار قرائت استفاده شد (شکل ۴).



شکل ۴. آماده‌سازی نمونه‌ها برای آزمایش هیدرومتری.

مواد آلی

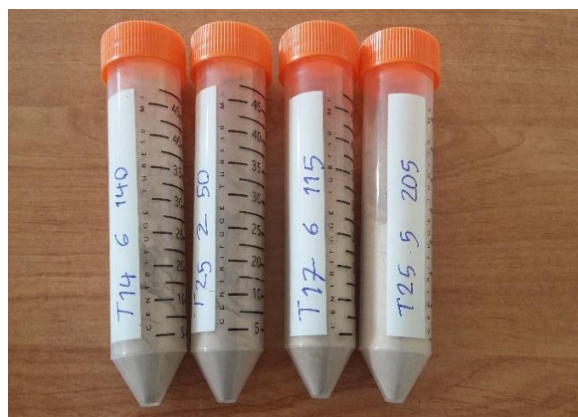
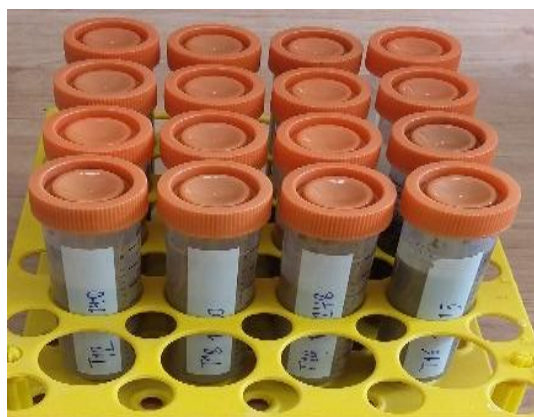
اندازه‌گیری مقدار مواد آلی در رسوبات (۱۰ تا ۲۰ گرم) با استفاده از روش افت حرارتی انجام شد. ابتدا نمونه‌ها در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. سپس نمونه‌ها وزن و در کوره با حرارت ۴۵۰ درجه به میزان چهار ساعت و نیم حرارت داده شدند. بعد از این مراحل، نمونه‌ها وزن و مقدار ماده آلی آن‌ها محاسبه شد (ASTM D2974-00, 2000) (شکل ۵).



شکل ۵. قرار دادن کروزر محتوی نمونه خاک داخل کوره.

شیمی خاک

یکی از کاربردهای شیمی خاک ادغام آن با برنامه‌های کاوش‌های باستان‌شناسی است برای کمک به تفسیر لایه‌ها و بخش‌هایی از محوطه که هنوز کاوش نشده است (فلیشر^۱ و سولاس^۲ ۲۰۱۵). اندازه‌گیری شیمی خاک با استفاده از روش آماده‌سازی نسبت مساوی آب مقطر و نمونه خاک انجام شد. جهت اندازه‌گیری مقادیر اسیدیته و شوری خاک به مقدار ۳۰ گرم از هر نمونه برداشته شد. نمونه‌ها بعد از آماده‌سازی با استفاده از دستگاه pH متر اندازه‌گیری شد (شکل ۶).



1. Fleisher
2. Sulas



شکل ۶. مراحل آماده‌سازی و قرائت پارامترهای اسیدیته و شوری خاک

ژئوشیمی

مجموعه ژئوشیمی اغلب سرخ‌های حیاتی از منشأ، فرایندهای هوازدگی، و حمل در حوضه‌های آبریز را فراهم می‌کند. مقادیر برخی از اکسیدها Al_2O_3 ، TiO_2 ، و Fe_2O_3 اغلب برای ارزیابی هوازدگی در مناطق استفاده می‌شود (داس و همکاران ۲۰۱۷). اندیس هوازدگی شیمیایی (CIA) به طور گسترده برای اندازه‌گیری تغییرات زمانی در شدت هوازدگی استفاده می‌شود (ماکوانا^۱ و همکاران ۲۰۱۹). در این پژوهش تعداد ۷۲ نمونه جهت آنالیز XRF به آزمایشگاه پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی- فرهنگی ارسال شد. اندازه‌گیری عناصر با استفاده از روش طیف‌سنجی فلورسانس پرتو ایکس مدل ۸۴۲۰ صورت گرفت و با توجه به نتایج آنالیز XRF نسبت‌های هوازدگی و پدوژنیک نمونه‌ها مطالعه شد (جدول ۱).

جدول ۱. نسبت‌های هوازدگی و پدوژنیک خاک (رتالاک^۲؛ شلدون^۳ و تابور^۴ ۲۰۰۹)

نسبت	فرمول	فرایندهای پدوژنیک
$Al/\Sigma Bases$	$CIA = [(Al_2O_3)/Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O] * 100$	هوازدگی شیمیایی
Provenance	TiO_2/Al_2O_3	اسیدی
Alkalis to Alumina	$(K_2O + Na_2O)/Al_2O_3$	شوری
Soda to Potash	Na_2O/K_2O	شوری

یافته‌های پژوهش

بافت یک رسوب تابعی از نوع خاص، بزرگی، و پایداری فرایندی است که عمل کرده تا آن را به وجود آورد. نتایج بافت رسوبات در جدول ۳ آمده است.

بافت رسوبات نمونه‌های فرهنگی در قسمت‌های شمالی محوطه شامل گمانه ۲۲ عمدتاً گل گراولی، در قسمت‌های

1. Makwana
2. Retallack
3. Sheldon
4. Tabor

شمال شرقی محوطه شامل گمانه‌های ۱۷ و ۱۹ عمدتاً گل گراولی و گل، در قسمت‌های شمال غربی محوطه شامل گمانه ۲۳ عمدتاً سیلت ماسه‌ای، در قسمت‌های جنوبی و جنوب غربی محوطه شامل گمانه‌های ۱۲ و ۱۴ و ۲۴ عمدتاً گل گراولی و گل ماسه‌ای، و در قسمت جنوب شرقی محوطه شامل گمانه ۱ عمدتاً گل گراولی است. نیز بافت رسوبات نمونه‌های طبیعی در قسمت‌های شمالی محوطه شامل گمانه ۶ عمدتاً گل ماسه‌ای و گل گراولی، در قسمت‌های شمال شرقی شامل گمانه‌های ۲ و ۱۸ عمدتاً گل و گل گراولی و گراول، در قسمت شمال غربی محوطه شامل گمانه ۷ عمدتاً گل گراولی و گراول گلی، در قسمت شرقی محوطه شامل گمانه‌های ۱۶ و ۱۵ و ۲۰ عمدتاً گل و سیلت ماسه‌ای و گل ماسه‌ای، در قسمت غربی محوطه شامل گمانه‌های ۸ و ۹ و ۱۱ عمدتاً گل ماسه‌ای و گراول گلی و گراول ماسه‌ای گلی و گراول، در قسمت جنوبی محوطه شامل گمانه‌های ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ عمدتاً گراول ماسه‌ای گلی و گل ماسه‌ای و گل گراولی، در قسمت‌های جنوب شرقی محوطه شامل گمانه ۱۹ عمدتاً سیلت و گل ماسه‌ای و گل، و در قسمت جنوب غربی محوطه شامل گمانه ۱۰ عمدتاً گل گراولی است.

با توجه به بافت رسوبات در گمانه‌ها در چندین گمانه شواهد جریان سیلابی تشخیص داده شد. به طور مشخص لایه‌های بالایی گمانه ۱۸ و ۸ و گمانه‌های ۹ و ۱۰ و ۱۲ و تا حدودی گمانه ۱۴ بافت سیلابی شناسایی شد. بین بافت سیلابی گمانه‌های حاشیه شرقی آثاری از قطعات سفال نیز به دست آمد و این مؤید آن است که سیلاب لایه‌های فرهنگی را تحت تأثیر قرار داده و در زمان سکونت در منطقه رخداد سیل نیز وجود داشته است.

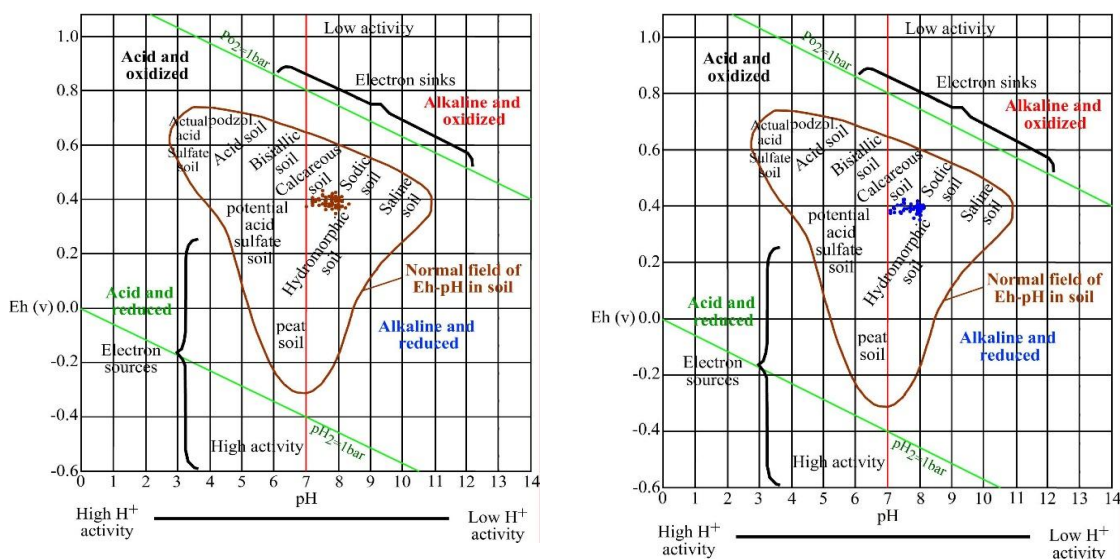
بلوغ بافتی^۱ رسوبات برای نمونه‌های فرهنگی در کلاس بلوغ بافتی نابالغ قرار دارد؛ که عمدتاً مربوط به محیط‌های خارج از کانال است. در این محیط‌ها میزان رس بیش از ۵ درصد با جورشدگی ضعیف و دانه‌های زاویه‌دار و قطعات شکسته شده مشخص شده‌اند. بین نمونه‌های فرهنگی، کمترین میزان رس برای گمانه ۱ به میزان ۶/۹۹ و بیشترین میزان رس برای گمانه ۲۴ به مقدار ۳۶/۸ درصد به دست آمد. بلوغ بافتی نمونه‌های رسوبات طبیعی شامل رسوبات داخل کانال و محدوده دشت سیلابی می‌شود. کمترین مقدار رس برای گمانه ۱۸ به مقدار ۲/۱۸ درصد و گمانه ۹ به مقدار ۴/۴۳ درصد و گمانه ۱۱ به مقدار ۴/۵ درصد رس به دست آمد که اختصاص به زیر محیط داخل کانال دارد. بیشترین مقدار رس نیز برای گمانه ۲۰ به مقدار ۴۹ درصد به دست آمد.

خصوصیات شیمیایی نمونه خاک‌های محوطه تل ملیان در جدول ۳ آمده است. بر اساس داده‌های ستون pH دامنه pH بیشتر نمونه‌ها در محدوده کمی قلیایی قرار دارند و از ۷ تا ۸/۳ متغیر است. از عوامل محیطی مناسب برای شکل‌گیری کانی کلریت pH نزدیک به خنثی یا قلیایی با میزان آبشویی ضعیف است. بین نمونه‌ها، نمونه TR6-4 و Tr11-2 دارای بیشترین میزان کانی کلریت هستند. pH این دو نمونه ۷/۲ به دست آمد که تأییدکننده آبشویی ضعیف در این لایه‌هاست. بارزترین شواهد مربوط به وجود رسوبات رودخانه‌ای در گمانه ۱۸ و گمانه ۹ مشاهده شد. بیشترین میزان pH در این نمونه‌ها به مقدار ۸/۱ به دست آمد.

واکنش‌های شیمیایی خاک مستلزم تلفیقی از انتقال پروتون و الکترون‌اند. در فرایند انتقال، چنانچه الکترون از دست برود، اکسایش رخ می‌دهد؛ درحالی‌که اگر دریافت الکترون صورت گیرد، کاهش اتفاق می‌افتد (اوستان ۱۳۸۹).

1. Textural maturity

دامنه اکسایش- کاهش برای نمونه‌های فرهنگی بین ۳۴۷ تا ۴۲۷ و برای نمونه‌های طبیعی بین ۳۴۶ تا ۴۲۹ است. لایه‌های گمانه ۱۸، با توجه به اینکه داخل محیط کانال شکل گرفته است، مرطوب‌تر است و نتایج داده‌های اکسایش- کاهش به بالای ۴۰۰ میلی‌ولت نمی‌رسد. در قسمت شمال‌غربی محوطه گمانه ۹ دارای اکسایش بالاست و نمونه‌های این قسمت مقادیر بالای ۴۰۰ میلی‌ولت دارند و از نظر رطوبتی در شرایط عادی هستند. رسوبات گمانه ۹ از نظر زمانی جدیدتر از رسوبات گمانه ۱۸ است. پتانسیل ریداکس می‌تواند در مشخص کردن وضعیت اکسایش- کاهش یک خاک بسیار مفید باشد. خاک‌های اکسیده دارای پتانسیل ریداکس از ۴۰۰+ تا ۷۰۰+ میلی‌ولت‌اند. خاک‌هایی که به طور فصلی از آب اشباع‌اند پتانسیل‌های ریداکس از ۴۰۰+ تا ۷۰۰+ میلی‌ولت (اکسیده) تا شرایط خیلی کاهیده (۲۵۰- تا ۳۰۰- میلی‌ولت) دارند (پاتریک^۱ و همکاران ۱۹۹۵). نمودار اکسایش- کاهش نمونه‌ها در شکل ۶ آمده است. بر اساس نتایج نمودار اکسایش- کاهش نمونه‌های فرهنگی و طبیعی عمدتاً در سه گروه خاک‌های هیدرومورف، خاک‌های آهکی، و خاک‌های سدیمی قرار می‌گیرند. برتری خاک‌های گروه هیدرومورف نشان می‌دهد محدوده تل ملیان (انسان) به طور فصلی تحت تأثیر آب زیرزمینی قرار داشته است. به طور کلی، گمانه‌های سمت شرقی محوطه بیشتر تحت تأثیر آب زیرزمینی بوده است و رنگ خاکستری روشن رسوبات این موضوع را تأیید می‌کند.



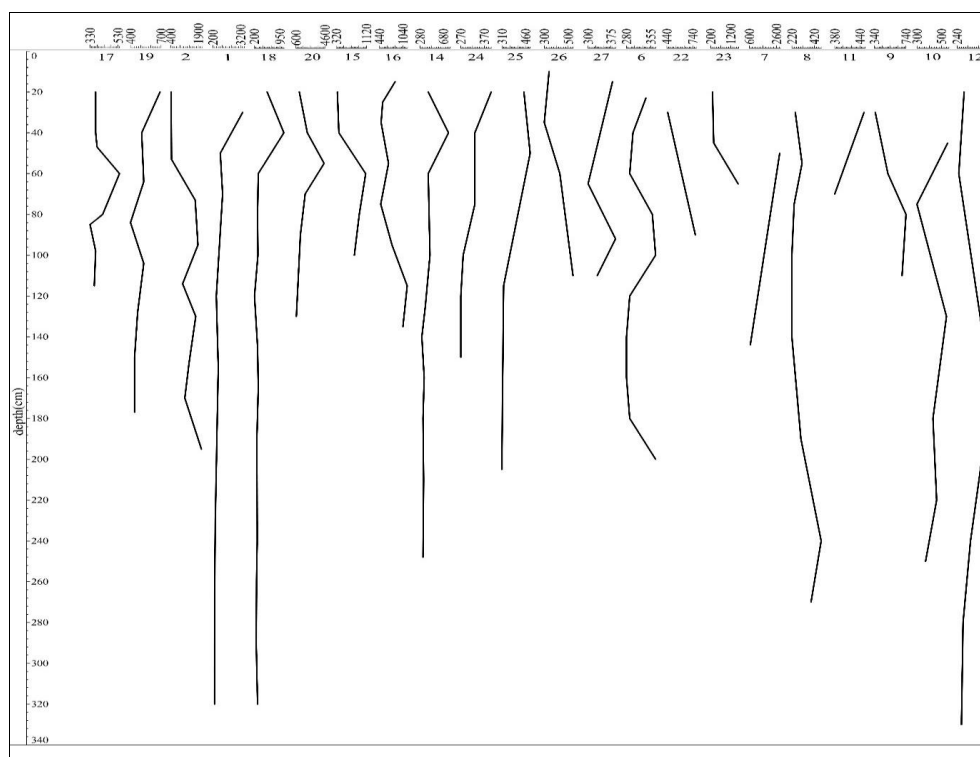
شکل ۷. نمودار اکسایش- کاهش (نقاط آبی: گمانه‌های فرهنگی، نقاط قهوه‌ای: گمانه‌های طبیعی) (سانکین^۲ و همکاران ۲۰۰۱)

داده‌های ریداکس برای آگاهی از مورفولوژی و چگونگی تشکیل خاک مفیدند. رنگ خاک می‌تواند وضعیت رطوبتی خاک را تا حد زیادی روشن سازد. رنگ وابسته به شیمی اکسایش- کاهش Fe در خاک است. وقتی خاک برای مدت زمان طولانی اشباع می‌شود اکسیدهای Fe تحت پتانسیل ریداکس پایین کاهیده می‌شود و خاک به رنگ خاکستری درمی‌آید. خاک‌هایی که در معرض تناوبی از چرخه‌های اکسایش و کاهش (به طور دوره‌ای تحت تأثیر آب) قرار دارند،

1. Patrick
2. Snakin

معمولاً منقوطة (گرهک) هستند (پاتریک و همکاران ۱۹۹۵). در قسمت‌های شمالی و شرقی محوطه، گمانه‌های ۱ و ۱۷ و ۱۹ رسوبات فرهنگی داشتند. رنگ رسوبات این بخش عمدتاً قهوه‌ای روشن و بعضاً خاکستری بود. اما، رسوبات طبیعی شامل گمانه‌های ۲ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۸ و ۲۰ اغلب خاکستری‌رنگ بودند. گمانه‌های جنوب‌شرقی، مانند گمانه ۱۴ و ۲۴، رنگ قهوه‌ای روشن و بعضاً خاکستری روشن داشتند. گمانه‌های ۲۵ و ۲۶، که گمانه‌های دارای رسوبات طبیعی بودند، رنگ‌های قهوه‌ای روشن و خاکستری داشتند. اما، گمانه ۲۷ رنگ قهوه‌ای متمایل به زرد و قرمز داشت. گمانه‌های قسمت‌های جنوبی و غربی، مانند گمانه‌های ۹ و ۸، بیشتر دارای رنگ‌های قهوه‌ای متمایل به زرد و قرمز بودند و به نظر می‌رسد رسوبات این بخش‌ها کمتر از سایر بخش‌ها در حالت اشباع قرار داشته‌اند.

کانی‌های تبخیری، از قبیل ژپس و انیدریت، در اثر بالا رفتن درجه شوری آب تشکیل می‌شوند که این خود یک فرایند شیمیایی غیرآلی است. میزان و الگوی تغییرات EC در این پژوهش به جهت شناخت الگوی تغییرات در محیط طبیعی و نیز کاربری‌های مختلف فرهنگی آشکار می‌شود. دامنه هدایت الکتریکی برای نمونه‌های فرهنگی بین ۲۷۰ تا ۳۴۳۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و برای نمونه‌های طبیعی بین ۲۱۰ تا ۴۵۰۰ است. متوسط هدایت الکتریکی برای نمونه‌های فرهنگی ۵۴۰ و برای نمونه‌های طبیعی ۶۶۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر به دست آمد. با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده هدایت الکتریکی برای نمونه‌های طبیعی و موقعیت محوطه تل ملیان بر دشت آبرفتی، شواهدی از تغییر محیط به سمت دوره خشکی شدید منتهی به شور شدن خاک وجود ندارد (شکل ۸ و جدول ۲).



شکل ۸. نمودار EC

ماده آلی بر تغییر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک، از جمله قابلیت فرسایش پذیری و نفوذپذیری و نگهداری آب و مقاومت برشی، تأثیر زیادی می‌گذارد (یی^۱ و هار^۲ ۱۹۷۷). از مواد آلی عمده در محوطه باستانی زغال، بقایای چوب، و ... است. وجود این مواد در خاک باعث افزایش میزان مواد آلی می‌شود. میانگین ماده آلی برای نمونه‌های فرهنگی ۳/۳۱ درصد و برای نمونه‌های طبیعی ۳ درصد به دست آمد. در محوطه تل ملیان فعالیت کشاورزی گزارش نشده و این میزان مواد آلی ناشی از مصرف ساکنان و موادی که در محل زندگی به خاک اضافه می‌شود است. دامنه مواد آلی برای نمونه‌های فرهنگی بین ۱/۹۰ تا ۴/۵۰ درصد است. با توجه به فعالیت کشاورزی کنونی، افزایش مواد آلی در لایه‌های سطحی به دلیل فعالیت کشت و زرع ساکنان در منطقه است. دامنه مواد آلی در لایه‌های طبیعی بین ۰/۷۴ تا ۸/۵۲ درصد است. بیشترین مقدار ماده آلی در نمونه Tr16-1 مربوط به آثار ریشه‌های درخت‌های کاج است. پایین بودن مقادیر ماده آلی در نمونه‌های ۱۸ و ۹ به جهت کانال طبیعی بودن این گمانه است (جدول ۲).

جدول ۲. نتایج آزمایش‌های شیمی خاک نمونه‌های محوطه تل ملیان (انسان)

Sample	Depth (cm)	Color	Texture	pH	EH	EC	OM	Sample	Depth (cm)	Color	Texture	pH	EH	EC	OM
Tr1-1	30	10YR6/4	(g) sM	7.5	412.7	3430	3.71	Tr1-2	50	10YR 7/1	mG	7.8	390.3 6	1010	3.71
Tr1-3	70	10YR7/1	gM	7.7	405.0 8	1260	2.93	Tr1-4	12 0	10YR 7/1	(g) sM	7.5	388	580	2.75
Tr1-5	155	10YR7/1	sM	7.5	412.7 8	790	2.58	Tr1-6	23 0	10YR 6/4	sM	8	401	470	2.73
Tr1-7	265	10YR6/4	sM	7.4	371.9 8	400	4.37	Tr1-8	32 0	10YR 7/6	sM	7.2	397.7	390	2.40
Tr2-1	20	10YR7/1	Z	7.8	385.7	420	4.49	Tr2-2	35	10YR 7/1	mG	7.8	400.9	420	3.32
Tr2-3	53	10YR7/1	(g) mS	7.4	376	430	2.03	Tr2-4	73	10YR 7/1	sM	7.6	389.9 8	1730	3.30
Tr2-5	95	10YR6/2	Z	7.5	418.8 8	1880	3.58	Tr2-6	11 4	10YR 7/1	(g) sM	7.2	391	1040	0.75
Tr2-7	130	10YR5/1	gM	7.6	388.9 8	1760	3.04	Tr2-8	15 3	10YR 7/1	M	7.3	386.9 8	1390	2.45
Tr2-9	170	10YR7/1	M	7.6	384.9 8	1160	2.42	Tr2-10	19 5	10YR 5/2	Z	7.6	395.3 6	2070	3.80
Tr6-1	23	10YR6/6	sZ	8	389.8 8	340	3.69	Tr6-2	40	10YR 6/4	sM	7.8	375.7 6	300	3.10
Tr6-3	60	10YR7/6	sZ	7.9	373.7 6	290	2.41	Tr6-4	80	10YR 7/6	sZ	7.2	388.2 4	360	2.36
Tr6-5	100	10YR6/6	sM	8	369.3 6	370	2.29	Tr6-6	12 0	10YR 6/4	sM	7.6	387.6 8	290	2.26
Tr6-7	140	10YR6/4	sM	8.1	392	280	2.27	Tr6-8	16 0	10YR 6/4	sM	8.1	393	280	2.61
Tr6-9	180	10YR6/4	gM	8.1	368.8 8	290	2.79	Tr6-10	20 0	5Y7/ 3	mG	8	393.9	370	2.89
Tr7-1	50	7.5YR6/ 6	sZ	7.3	396.6 2	2840	3.08	Tr7-2	14 4	5Y7/ 3	sZ	7.3	396	660	1.88
Tr8-1	30	10YR6/4	gM	8	373.3 6	250	2.35	Tr8-2	55	7.5Y R6/6	G	7.9	397.8	310	2.05
Tr8-3	75	10YR6/6	(g) sM	8	387.6	240	1.91	Tr8-4	10 0	10YR 6/6	ms G	8	382.1 6	220	1.41
Tr8-5	140	10YR7/6	sZ	8.1	371	220	2.53	Tr8-6	19 0	10YR 7/6	gM	8	366.9 8	300	1.80
Tr8-7	240	10YR6/6	m G	8	368.2	480	1.66	Tr8-8	27 0	10YR 6/6	(g) sM	7.8	403.9	390	3.18
Tr9-1	30	10YR7/6	gM	7.4	403.6	350	3.15	Tr9-2	60	10YR 7/6	mG	7.8	385.5 8	510	2.32
Tr9-3	80	10YR6/6	m G	7.5	429.9 2	740	1.90	Tr9-4	11 0	7.5Y R6/6	ms G	7.9	425.9 2	690	1.25

1. Yee
2. Harr

Tr10-1	45	10YR6/4	gM	7.4	397.1 6	550	3.33	Tr10-2	75	10YR 6/4	mG	7.9	395.7 8	300	3.23
Tr10-3	130	10YR6/4	gM	7.9	408	540	2.69	Tr10-4	18 0	10YR 6/4	(g) M	7.7	380.5 4	430	2.83
Tr10-5	220	10YR6/4	gM	7.9	371.9 8	460	2.92	Tr10-6	25 0	7.5Y R6/6	(g) sM	7.6	390.2 2	370	2.14
Tr11-1	30	10YR6/4	(g) sM	7.9	366.6 2	450	3.01	Tr11-2	70	10YR 6/4	G	7.2	382	380	1.70
Tr12-1	20	10YR6/4	m G	7.9	422.9 2	370	2.81	Tr12-2	60	10YR 6/4	gM	8	395.7 2	270	2.90
Tr12-3	135	10YR6/4	m G	7.8	385.3 6	700	4.31	Tr12-4	18 0	10YR 6/4	mG	7.2	374	810	2.62
Tr12-5	240	10YR6/4	gM	7.8	353	490	2.91	Tr12-6	28 0	10YR 6/4	mG	7.1	382.7	350	2.63
Tr12-7	330	10YR6/4	gM	8	398.2 2	320	2.65	Tr14-1	20	7.5Y R7/3	(g) sM	7.5	381.6 2	420	4.13
Tr14-2	40	10YR6/2	m G	7.9	427.9 2	770	3.77	Tr14-3	60	10YR 6/4	(g) sM	7.7	381.5 4	420	3.30
Tr14-4	100	7.5YR6/ 4	gM	7.9	371.9 8	450	3.38	Tr14-5	12 5	10YR 6/4	gM	8	399.0 8	370	3.03
Tr14-6	140	10YR6/4	gM	8.1	391.8 8	310	2.51	Tr14-7	16 0	10YR 6/4	sM	8	384.7	350	2.98
Tr14-8	180	10YR6/4	m G	8.1	394.0 8	330	2.76	Tr14-9	21 0	10YR 6/4	gM	7.7	390.6 8	340	2.34
Tr14-10	248	10YR6/4	gM	8	347	330	2.64	Tr15-1	20	10YR 6/4	(g) sM	7.9	389.1 6	350	3.45
Tr15-2	40	10YR7/1	sZ	8.1	367.9 8	390	3.85	Tr15-3	60	10YR 8/1	sZ	7.8	381.9 8	1100	4.26
Tr15-4	80	10YR4/1	(g) sM	7.8	396.4	930	5.86	Tr15-5	10 0	10YR 7/1	sM	7.8	409.9 8	800	4.69
Tr15-6	95	10YR8/1	Z	7.9	370	760	2.61	Tr16-1	15	7.5Y R7/2	sZ	7.8	357.9 4	840	8.53
Tr16-2	25	7.5YR7/ 2	gM	8.1	412	520	6.19	Tr16-3	35	10YR 8/1	Z	8.3	378	480	3.05
Tr16-4	55	10YR8/1	sM	7.6	386.2 2	670	2.61	Tr16-5	75	10YR 8/1	Z	8	387.5 8	470	2.62
Tr16-7	115	10YR7/1	(g) sM	7.8	404.9	1150	2.37	Tr16-8	13 5	10YR 7/1	M	7.7	387.7 6	1040	2.88
Tr17-1	20	10YR6/4	gM	7.5	387.9 4	370	3.71	Tr17-2	40	10YR 6/4	(g) sM	7.9	397.8 8	370	3.12
Tr17-3	60	10YR6/4	sM	7.8	395.6	380	2.92	Tr17-4	80	10YR 6/4	(g) sM	7.9	405.9 4	540	2.77
Tr17-5	98	10YR6/4	m G	7.9	401.8 8	420	2.99	Tr17-6	11 5	10YR 6/4	(g) sM	8.1	396.8 8	330	3.00
Tr17-7	47	10YR6/4	m G	7.8	395.5 4	370	2.76	Tr17-8	85	10YR 6/4	G	8	397.9 4	360	1.90
Tr18-1	20	10YR6/4	(g) sM	7.9	346	580	3.42	Tr18-2	40	10YR 7/1	(g) sM	7.2	387.7	1070	2.68
Tr18-3	60	10YR6/2	m G	7.8	387.2 2	320	2.35	Tr18-4	80	10YR 7/1	sZ	7.9	398.7 8	300	2.80
Tr18-5	100	10YR7/1	m G	7.6	373.6	310	2.09	Tr18-6	12 0	-	G	8.2	365.3 6	210	1.54
Tr18-7	145	10YR6/4	ms G	8	362.2	300	1.22	Tr18-8	15 5	10YR 7/6	gM	7.2	406.7 8	310	1.83
Tr18-9	165	5Y7/3	ms G	7	371	320	1.57	Tr18-10	19 0	5Y7/ 3	sM	8.1	395.8 4	280	1.67
Tr18-11	240	10YR6/4	ms G	7.5	379	290	1.45	Tr18-12	26 0	5Y7/ 3	gM	7.9	394.7	270	2.61
Tr18-13	290	10YR7/1	sM	7.2	375.6	260	1.76	Tr18-14	32 0	10YR 7/1	G	7.6	383	300	1.68
Tr19-1	20	10YR6/4	(g) sM	7.3	403	690	4.10	Tr19-2	40	10YR 6/4	M	7.4	404	510	4.50
Tr19-3	64	10YR6/4	M	7.9	401	530	3.56	Tr19-4	84	10YR 6/4	sZ	7.4	376	400	3.75
Tr19-5	104	7.5YR7/ 2	Z	7.9	383.7	530	4.40	Tr19-6	12 8	7.5Y R7/2	Z	7.2	393.6 8	470	4.04
Tr19-7	150	7.5YR7/ 3	sM	7.9	375.5 4	440	4.07	Tr19-8	17 7	7.5Y R7/3	M	8	366.2	440	3.60
Tr20-1	20	10YR5/1	sZ	7.6	361	1060	6.22	Tr20-2	40	10YR 7/1	(g) sM	7.7	411.6	2170	6.11
Tr20-3	55	10YR7/1	sZ	7.5	410	4500	5.30	Tr20-4	70	10YR 8/1	Z	7.8	416.8 8	1870	5.92
Tr20-5	90	10YR8/1	M	7.8	419	1210	3.15	Tr20-6	13 0	10YR 7/1	M	7.6	407.1 6	650	3.70
Tr22-1	30	10YR6/4	sZ	7.7	383.8 2	450	3.47	Tr22-2	90	10YR 6/4	(g) M	7.5	409.5 4	770	3.98
Tr23-1	20	10YR6/4	sZ	7.9	397.9	290	3.25	Tr23-2	45	10YR 6/4	sZ	7.2	369.7	350	2.17
Tr23-3	65	10YR6/4	sZ	7.6	392.8 2	1570	4.63	Tr24-1	20	10YR 7/1	(g) sM	7.9	396.0 8	400	4.47
Tr24-	40	10YR6/6	gM	8	394	330	3.69	Tr24-3	75	7.5Y	sZ	8	366.2	330	3.53

								R7.2									
2																	
Tr24-4	100	10YR6/4	(g) sM	8	377.5 8	280	2.81	Tr24-5	12 0	10YR 6/4	sM	8.2	393	270	2.73		
Tr24-6	150	10YR6/4	(g) sM	7.9	371.8 2	270	2.88	Tr25-1	20	10YR 6/4	Z	7.9	399.9 2	450	5.63		
Tr25-2	50	10YR6/4	M	8	402	490	3.64	Tr25-3	11 5	10YR 7/6	sZ	8	377.6 4	320	2.23		
Tr25-4	195	10YR7/1	sM	7.9	364.9 8	310	3.38	Tr25-5	20 5	7.5Y R7.3	Z	7.7	392.7	310	2.98		
Tr26-1	10	10YR6/4	Z	8	403.0 8	340	5.11	Tr26-2	35	10YR 6/4	(g) M	8	366.9 8	300	3.84		
Tr26-3	60	10YR6/4	(g) M	7.9	391.1 6	430	2.88	Tr26-4	11 0	7.5Y R7.3	sM	7.6	394.6 8	540	3.21		
Tr27-1	15	10YR6/4	(g) sM	8	403.1 6	380	5.00	Tr27-2	65	10YR 7/6	sM	7.7	372.8 2	300	2.56		
Tr27-3	92	10YR6/6	ms G	7.9	391.0 8	390	2.05	Tr27-4	11 0	7.5Y R6/6	sZ	7.7	370.6 2	330	2.14		

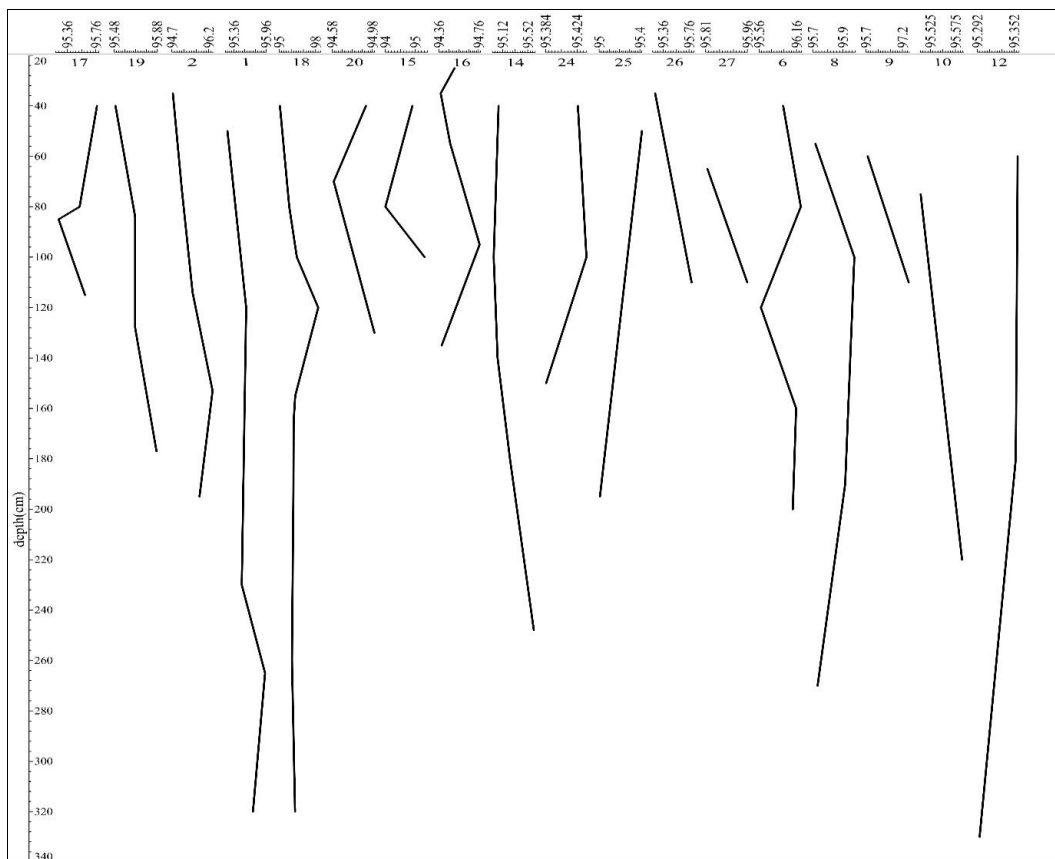
ژئوشیمی

اندیس شیمیایی دگرسانی^۱ (CIA) ممکن است پایین، متوسط، و بالا باشد. CIA پایین نشان‌دهنده آن است که دگرسانی وجود نداشته یا خیلی پایین بوده است و بازتابی از شرایط اقلیمی سرد و خشک است؛ درحالی‌که CIA متوسط و بالا با انتقال کاتیون‌های متحرک، مانند K و Na و Ca، و باقی ماندن تشکیل‌دهنده‌های Ti و Al با تحرک کمتر مرتبط است (نزبیت^۲ و یانگ^۳ ۱۹۸۲). به منظور تعیین دقیق میزان CIA و حذف سیمان‌های کربناتی، نمونه‌های با CaO بالاتر از ۵ درصد در نظر گرفته نمی‌شوند (نزبیت ۲۰۰۳؛ گارسیا^۴ و همکاران ۲۰۰۴؛ باتومیکی^۵ و همکاران ۲۰۰۶). لاگ اندیس شیمیایی دگرسانی نمونه‌های تل ملیان (انسان) در شکل ۹ نشان آمده است. مقادیر CaO برای همه نمونه‌ها، با توجه به منطقه زاگرس فارس و کارستی بودن منطقه، بالای ۵ درصد به دست آمد. بنابراین، در محاسبه اندیس شیمیایی CaO محاسبه نشد. دامنه تغییرات اندیس شیمیایی دگرسانی بین ۹۴ برای نمونه Tr 15-4 و بیشترین مقدار برای نمونه Tr 18-6 به میزان ۹۸/۲۱ به دست آمد. با توجه به نتایج این اندیس، منطقه از نظر دگرسانی شیمیایی در طبقه بالا قرار داشته و شرایط اقلیمی مرطوب‌تری نسبت به اکنون داشته است. الگوی تغییرات گمانه‌های ۱۵ و ۱۶ و ۲۰ در حاشیه شرقی محوطه با الگوی تغییرات گمانه ۱۸ همخوانی دارد. برای گمانه ۸ در قسمت غربی محوطه، که در راستای گمانه ۱۸ قرار دارد، الگوی تغییرات یکسان است و تغییرات جزئی به موقعیت و ارتفاع این گمانه نسبت به گمانه ۱۸ مربوط است. سایر نمونه‌ها، اعم از طبیعی و فرهنگی، نیز این الگو را تداعی می‌کند (شکل ۹ و جدول ۳).

اندیس نسبت سدیم به پتاسیم (شوری) جهت آگاهی از تغییرات محیطی بسیار مفید است. این تغییرات به صورت افزایش یا کاهش کاتیون Na در لایه‌ها نمود پیدا می‌کند. دامنه تغییرات اندیس سدیم به پتاسیم مقدار ۰ برای نمونه Tr18-6 و بیشترین مقدار ۱/۳۱ برای نمونه Tr16-8 محاسبه شد. با توجه به وجود لایه‌های خاکستر، که معمولاً کاربری اجاق در محوطه‌های باستانی داشته‌اند، در تفسیرهای مربوط به تغییرات زیست‌محیطی باید نمونه‌های طبیعی، که کمتر دستخوش تغییرات انسانی شده‌اند، مورد استفاده قرار بگیرد. بین نمونه‌های طبیعی، گمانه‌های سمت شرقی محوطه برای استفاده این

1. Chemical Index of Alteration
2. Nesbitt
3. Young
4. Garcia
5. Batumike

اندیس مفید است. بر اساس الگوی تغییرات در گمانه ۱۸ مشابه اندیس دگرسانی شیمیایی پنج مرحله تغییرات محیطی دیده می‌شود. الگوی تغییرات گمانه‌های سمت شرقی محوطه نیز پنج دوره تغییر شرایط زیست‌محیطی را تأیید می‌کند (جدول ۳).



شکل ۹. اندیس شیمیایی دگرسانی (CIA)

اندیس نسبت آکالی به آلومینیم نیز تغییرات شوری خاک را نشان می‌دهد. دامنه این اندیس بین ۰/۰۱۸ برای Tr18-6 و ۰/۰۶ برای نمونه Tr15-4 محاسبه شد. نتایج این اندیس نیز مشابه اندیس دگرسانی شیمیایی و اندیس شوری نسبت سدیم به پتاسیم تغییرات افزایش و کاهش رطوبت و به دنبال آن تغییرات افزایش و کاهش شوری خاک را نشان می‌دهد (جدول ۳).

جدول ۳. نتایج اندیس‌های ژئوشیمی نمونه‌های خاک محوطه تل ملیان (انشان)

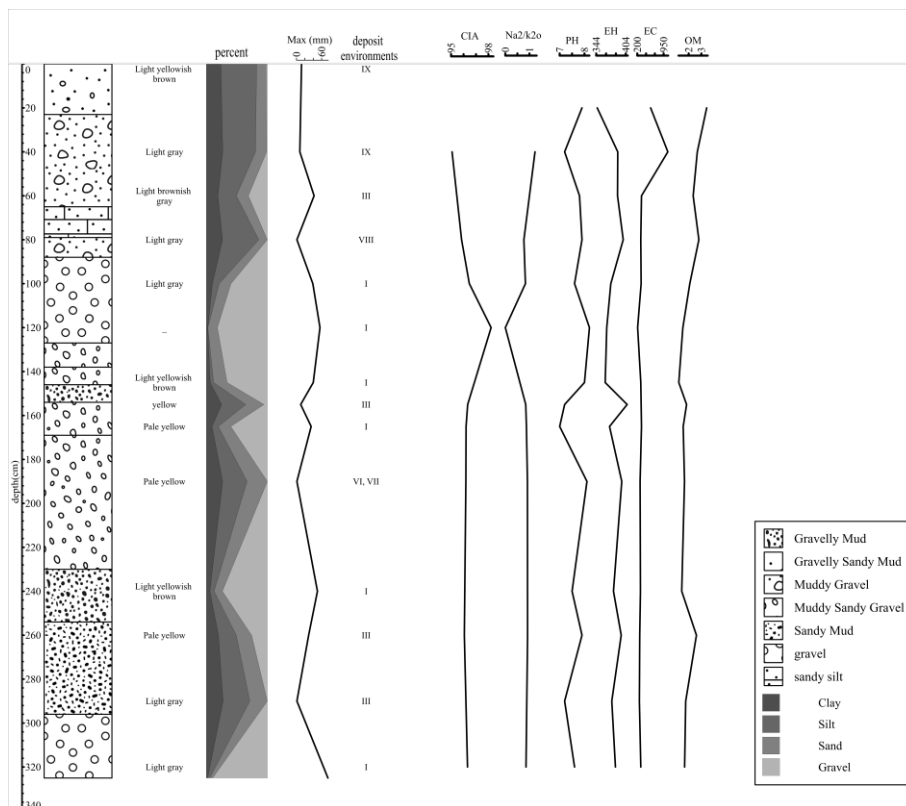
Sample	TiO ₂ /Al ₂ O ₃	(K ₂ O+Na ₂ O)/Al ₂ O ₃	Na ₂ O/K ₂ O	CIA	Sample	TiO ₂ /Al ₂ O ₃	(K ₂ O+Na ₂ O)/Al ₂ O ₃	Na ₂ O/K ₂ O	CIA
Tr1-2	0.066	0.05	1	95.24	Tr1-4	0.061	0.046	0.76	95.58
Tr1-6	0.062	0.047	0.77	95.50	Tr1-7	0.061	0.042	0.57	95.94
Tr1-8	0.061	0.044	0.76	95.71	Tr2-2	0.068	0.055	1.5	94.73
Tr2-4	0.060	0.051	1.12	95.10	Tr2-6	0.060	0.046	1	95.54
Tr2-8	0.058	0.037	0.55	96.35	Tr2-10	0.060	0.043	0.88	95.82
Tr6-2	0.059	0.042	0.87	95.94	Tr6-4	0.061	0.039	0.93	96.23
Tr6-6	0.066	0.046	1.30	95.59	Tr6-8	0.063	0.04	0.85	96.15
Tr6-10	0.060	0.040	0.86	96.10	Tr7-2	0.067	0.037	0.84	96.38
Tr8-2	0.068	0.044	1.12	95.72	Tr8-4	0.067	0.041	1.16	95.97
Tr8-6	0.063	0.042	1.09	95.91	Tr8-8	0.055	0.044	0.94	95.73
Tr9-2	0.060	0.044	1	95.77	Tr9-4	0.047	0.026	0.5	97.45
Tr10-2	0.056	0.47	0.88	95.50	Tr10-5	0.055	0.046	0.89	95.58
Tr11-2	0.058	0.042	1	95.96	Tr12-2	0.056	0.048	0.85	95.35
Tr12-4	0.056	0.048	0.9	95.35	Tr12-7	0.055	0.049	0.95	95.29

Tr14-2	0.056	0.052	0.85	95.05	Tr14-4	0.057	0.052	0.76	94.98
Tr14-6	0.056	0.052	0.89	95.04	Tr14-8	0.056	0.05	0.88	95.24
Tr14-10	0.055	0.045	0.73	95.61	Tr15-2	0.056	0.053	0.71	94.90
Tr15-4	0.059	0.063	0.76	94	Tr15-5	0.055	0.049	0.72	95.31
Tr15-6	0.064	0.055	1.28	94.77	Tr16-2	0.062	0.058	0.70	94.52
Tr16-3	0.066	0.059	0.86	94.37	Tr16-4	0.064	0.058	0.82	94.47
Tr16-8	0.059	0.059	1.31	94.39	Tr17-2	0.058	0.044	1	95.77
Tr17-4	0.061	0.046	1.07	95.53	Tr17-6	0.061	0.05	0.82	95.24
Tr17-8	0.067	0.045	1.12	95.60	Tr18-2	0.064	0.051	1.23	95.07
Tr18-4	0.066	0.043	0.76	95.84	Tr18-5	0.080	0.036	0.83	96.46
Tr18-6	0.072	0.018	0	98.21	Tr18-8	0.068	0.038	0.84	96.33
Tr18-9	0.081	0.039	0.87	96.20	Tr18-10	0.075	0.039	0.91	96.18
Tr18-12	0.072	0.040	0.92	96.06	Tr18-14	0.076	0.038	0.85	96.31
Tr19-2	0.057	0.047	0.78	95.49	Tr19-4	0.054	0.045	0.73	95.67
Tr19-6	0.054	0.045	0.73	95.67	Tr19-8	0.050	0.043	0.68	95.87
Tr20-2	0.059	0.053	0.66	94.91	Tr20-4	0.062	0.057	0.6	94.59
Tr20-6	0.056	0.052	0.57	95	Tr22-2	0.059	0.042	0.72	95.92
Tr23-3	0.057	0.047	0.87	95.45	Tr24-2	0.548	0.047	0.75	95.42
Tr24-4	0.053	0.047	0.73	95.43	Tr24-6	0.058	0.048	0.76	95.38
Tr25-2	0.060	0.048	1	95.41	Tr25-4	0.057	0.052	0.82	95
Tr26-2	0.055	0.05	1.05	95.24	Tr26-4	0.057	0.043	0.88	95.80
Tr27-2	0.057	0.043	0.93	95.81	Tr27-4	0.056	0.042	1	95.96

بحث و نتیجه

باروی بزرگ محوطه ملیان، که آثاری از آن در قسمت‌های شمالی و تا حدودی شرقی بر جای مانده، در دوره بانس در حدود ۵۲۰۰ سال پیش احداث شده است. مساحت داخلی این محوطه ۲۰۰ هکتار وسعت دارد (سامنر ۱۹۸۵). بر اساس گزارش‌های کاوش ویلیام سامنر، هیچ شبکه زهکشی بر سطح ملیان جریان نداشته است (سامنر ۱۹۷۲). بین ۲۲ گمانه حفرشده در حاشیه تل ملیان جهت تعیین عرصه و حریم، در گمانه ۱۸ در حاشیه شرقی و داخل محوطه و گمانه ۹ در قسمت جنوب و بیرون از دیواره جنوبی محوطه آثار شاخص رسوبات رودخانه‌ای شناسایی شد. جهت رسوب‌گذاری رسوبات قله‌سنگی گمانه ۱۸ غربی-شمال شرقی است. این الگوی رسوب‌گذاری و نوع و بافت رسوبات گمانه ۱۸ تداعی‌کننده محیط رودخانه‌ای در بخش‌های شمالی محوطه است که از ارتفاعات غربی (کوه‌های سپیدان) سرچشمه گرفته است. محیط رسوب‌گذاری با علامت I در نمونه‌های ۵ و ۶ و ۷ و ۹ و ۱۱ و ۱۴ گمانه ۱۸ دیده شد. ویژگی این محیط برتری رسوبات درشت‌دانه و حرکت ذرات به صورت بار کف و کششی است (شکل ۱۰). ازین‌رو، به طور کلی استنباط می‌شود در زمان جریان شبکه زهکشی استقرار در ملیان وجود داشته و فعالیت‌های پرانرژی رودخانه مربوط به قبل از احداث دیوار و باروی محوطه بوده است.

بر اساس نتایج خصوصیات بافت، وجود شبکه زهکشی در گمانه‌های ۱۸ در قسمت شمال شرقی محوطه و شبکه زهکشی جدیدتر منطقه در قسمت‌های جنوبی در گمانه ۹ است. به نظر می‌رسد فعالیت شبکه زهکشی بخش شمالی قدیمی‌تر است و در لایه‌های پایین‌تر رسوب‌گذاری رسوبات رودخانه‌ای داخل محیط کم‌عمق دریاچه‌ای در شمال شرقی محوطه بوده است. وجود رسوبات خاکستری روشن همراه با لایه‌های صدف دوکفه‌ای و فقدان لایه‌های فرهنگی در بخش‌های شرقی شاهد این ادعاست. با توجه به وضعیت توپوگرافی محدوده ملیان و حفاری‌ها و کاوش‌های صورت‌گرفته، بیشتر اسکان و استقرار انسانی در بخش‌های مرتفع و نیمه‌جنوبی محوطه بوده است. شبکه زهکشی در قسمت جنوبی محوطه بعد از دیوار و باروی جنوبی محوطه بیانگر رسوبات رودخانه‌ای جدید با بلوغ بافتی خوب و اختصاص به محیط داخل کانال است. جهت رسوب‌گذاری رسوبات این گمانه به طور کلی غربی-شرقی است و با الگوی کلی جریان در دشت بیضا همخوانی و مطابقت دارد.



شکل ۱۰. گمانه ۱۸ همراه ویژگی‌های ژئوشیمی

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی- فرهنگی و سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام گرفته است. بدین‌وسیله از زحمات سازمان‌های یادشده قدردانی می‌شود.

منابع

- احمدپور، ا؛ کامکار روحانی، ا، احمدی، ر. (۱۳۹۵). «بررسی‌های باستان‌شناسی منطقه تپه حصار دامغان با استفاده از مدل‌سازی پیشرو و وارون داده‌های رادار نفوذی به زمین»، *پژوهه باستان‌سنجی*، ۲(۱): صص ۱-۱۶.
- رازانی، م؛ مارتینز گونیکرو، ف؛ منصوری اصفهانی، م، افشاری‌نژاد، ح. (۱۳۹۶). «آماده‌سازی مقاطع نازک از مواد متخلخل برای مطالعات با میکروسکوپ پلاریزان در باستان‌سنجی»، *پژوهه باستان‌سنجی*، ۳(۲): صص ۴۵-۶۰.
- رنجی رودپشتی، ه، حفیظی، ک. (۱۳۹۱). «مطالعات باستان‌شناسی به روش مقاومت ویژه و قطبش القایی در شادمهرک نیشابور»، *علوم زمین*، ۲۲(۸۶): صص ۲۲۱-۲۲۸.
- صفاری، ا، کرم، ا؛ سرداری زارچی، ع؛ فتاحی، م، معتمد، ر. (۱۳۹۷). «زمین‌باستان‌شناسی دشت شوشان غربی با تحلیلی بر سازه‌های آبی»، *پژوهه باستان‌سنجی*، ۵(۱): صص ۱۷-۲۹.

- عظیمی راد، ص؛ روستایی، ش؛ مختاری، د؛ حجازی، ا.، یمانی، م. (۱۳۹۶). «دیرینه ژئومورفولوژی سکانس‌های دریاچه‌ای و تأثیرات آن بر مدنیت منطقه سیمره»، *کواترنری ایران*، ۳(۲): صص ۹۱-۱۰۵.
- مجرب، م؛ معماریان، ح.، زارع، م. (۱۳۹۱). «جست‌وجوی زمین‌لرزه‌های تاریخی در تپه باستانی سیلک، با استفاده از باستان‌شناسی لرزه‌ای»، *مطالعات باستان‌شناسی*، ۴(۱): صص ۲۰۳-۲۲۰.
- مقصودی، م؛ زمان‌زاده، م؛ یمانی، م؛ حاجی‌زاده، ع. (۱۳۹۶). «ارزیابی تغییرات الگوی پیچان رودی رودخانه مارون و تحلیل هیدروژئومورفولوژی منطقه، مطالعه موردی: رودخانه مارون (از سرچشمه تا ورودی آن به رودخانه جراحی)»، *جغرافیای طبیعی*، س ۱۰، ش ۳۵: صص ۱-۲۸.
- مقصودی، م؛ شرفی، س.، شرفی، ف. (۱۳۹۳). «عوامل طبیعی تأثیرگذار بر الگوی پراکنش سایت‌های باستانی دشت سیلاخور در استان لرستان»، *جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، ۲۲: صص ۱۷۱-۱۹۰.
- Ahmadpour, A., Kamkar-Rouhani, A., Ahmadi, R. (2016). "Archaeological Exploration of Tappeh Hissar, Damghan Using Forward and Inverse Modeling of Ground- Penetrating Radar Data", *Journal of Research on Archaeometry*, 2(1): pp. 1-16.
- ASTM D2974-00 (2000). Standard Test Method for Moisture, Ash and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils (Test Method C).
- Azimirad, S., Roustaei, Sh., Mokhtari, D., Hejazi, A., Yamani, M. (2017). "Paleogeomorphology of successive dam lakes and its effects on the civilization in Saymarreh region", *Quaternary Journal of Iran*, 3(2): pp. 91-105.
- Batumilke, M. J., Kampunzu, A. B., Cailteux, J. H. (2006). "Petrology and geochemistry of the Neoproterozoic Nguba and Kundelungu Groups, Katangan Supergroup, southeast Congo: Implications for provenance, paleoweathering and geotectonic setting", *Journal of African Earth Sciences*, 44: pp. 97-115.
- Butzer, K. W. (1982). *Archaeology as human ecology: method and theory for a contextual approach*, Cambridge University Press.
- Butzer, K. W., Butzer, E., Love, S. (2013). "Urban geoarchaeology and environmental history at the Lost City of the Pyramids, Giza: synthesis and review", *Journal of Archaeological Science*, 40(8): pp. 3340-3366.
- Das, A., Prizomwala, S. P., Makwana, N., Thakkar, M. G. (2017). "Late Pleistocene-Holocene climate and sea level changes inferred based on the tidal terrace sequence, Kachchh, Western India", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 473: pp. 82-93.
- Dugmore, A. J. & Newton, A. J. (2012). "Isochrons and beyond: maximising the use of tephrochronology in geomorphology", *Jökull*, 62: pp. 39-52.
- Fleisher, J. & Sulas, F. (2015). "Deciphering public spaces in urban contexts: geophysical survey, multi-element soil analysis, and artifact distributions at the 15th-16th-century AD Swahili settlement of Songo Mnara, Tanzania", *Journal of archaeological science*, 55: pp. 55-70.
- Fouache, E., Pavlopoulos, K., Stiros, S. (2010). "Landscape evolution and geoarchaeology", *Quaternary International*, 216: pp. 1-2.
- Garcia, D., Ravenne, C., Marechal, B., Moutte, J. (2004). "Geochemical variability induced by entrainment sorting: quantified signals for provenance analysis", *Sedimentar Geology*, 171:

- pp. 113-128.
- Ghilardi, M. & Tristant, Y. (2012). "Geoarchaeology of Egypt and the Mediterranean: reconstructing Holocene landscapes and human occupation history", *Quaternary International*, 266, pp. 1-3.
- Ghilardi, M., Colleu, M., Pavlopoulos, K., Fachard, S., Psomiadis, D., Rochette, P., Bicket, A. (2013). "Geoarchaeology of ancient aulis (boeotia, Central Greece): human occupation and holocene landscape changes", *Journal of Archaeological Science*, 40(4): pp. 2071-2083
- Gillmore, G. K., Stevens, T., Buylaert, J. P., Coningham, R. A., Batt, C., Fazeli, H., Maghsoudi, M. (2011). "Geoarchaeology and the value of multidisciplinary palaeoenvironmental approaches: a case study from the Tehran Plain, Iran", *Geological society, london, special Publications*, 352(1): pp. 49-67.
- Goldberg, P. & Macphail, R. I. (2006). *Practical and Theoretical Geoarchaeology*, Blackwell Publishing, Malden, MA.
- Hansman, J. (1987). "Anshan", *Encyclopaedia Iranica*, Vol. II, edited by E. Yarshater, pp. 103-107, Mazda Publishers, Costa Mesa, California.
- Hill, C. L., Rapp, G., Jing, Z. (2011). "Alluvial stratigraphy and geoarchaeology in the Big Fork River Valley, Minnesota: human response to Late Holocene environmental change", *Geological Society, London, Special Publications*, 352(1): pp. 109-124.
- Macklin, M. G. & Lewin, J. (2015). "The rivers of civilization", *Quaternary Science Reviews*, 114: pp. 228-244.
- Maghsoudi, M., Simpson, I. A., Kourampas, N., Nashli, H. F. (2014). "Archaeological sediments from settlement mounds of the Sagzabad Cluster, central Iran: Human-induced deposition on an arid alluvial plain", *Quaternary international*, 324: pp. 67-83.
- Maghsoudi, M., Zaman Zadeh, M., Yamani, M., Hajizadeh, A. (2017). "Evaluation of Maron River Pattern Changes and Hydrogeomorphological Analysis Case Study: Maron River (From Source to Jarahi River)", *Physical geography journal*, 10(35): pp. 1-26.
- Magsoudi, M., Shrafi, S., Sharafi, F. (2016). "Natural factors affecting the distribution pattern of ancient sites of Silakhor plain in Lorestan province", *Journal of Geography and Regional Development*, 22: pp.171-190.
- Makwana, N., Prizomwala, S. P., Chauhan, G., Phartiyal, B., Thakkar, M. G. (2019). "Late Holocene palaeo-environmental change in the Banni Plains, Kachchh, Western India", *Quaternary International*, 507: pp. 197-205.
- Maurizio, L. & Silvestro, L. (2012). "Geological and geomorphological hazard in historical and archaeological sites of the mediterranean area: knowledge, forecasting and mitigation", *DISASTER ADVANCES*, 5(3): pp. 63-71.
- Mojarab, M., Memarian, H., Zare, M. (2012). "Searching for Historic Earthquakes in Silk Ancient Hill Using Seismic Archeology", *Journal of Archaeological Studies*, 4(1): pp. 203-220.
- Moore, C. R. (2009). *Late Quaternary geoarchaeology and geochronology of stratified aeolian deposits, Tar River, North Carolina*.
- Munsell Color Company (1990).
- Nesbitt, H. W. & Young, G. M. (1982). "Early Proterozoic climates and plate motions inferred from mayor element chemistry of lutites", *Nature*, 299: pp. 715-717.

- Nesbitt, H. W. (2003). Petrogenesis of siliciclastic sediments and sedimentary rocks. In: Lenz, D. R. (Ed.), *Geochemistry of Sediments and Sedimentary Rocks*, Geotext 4. Geological Association of Canada, Newfoundland: pp. 39–51.
- Nicoll, K. & Murphy, L. R. (2014). "Soil and sediment archives of ancient landscapes, paleoenvironments, and archaeological site formation processes", *Quaternary International*, 342: pp. 1-4.
- Passega, R. & Byramjee R. (1969). "Grain size image of clastic deposits", *Sedimentology*, 13: pp. 830-847.
- Patrick, W. H. Jr., Gambrell, R. P., Faulkner, S. P. (1995). Redox measurements of soils. In *Methods of Soil Analysis: Chemical Methods* (D. L. Sparks, ed.), 3rd ed. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI (in press).
- Perry, C. & Taylor, K. (Eds.). (2009). *Environmental sedimentology*. John Wiley & Sons.
- Pollard, A. M. (1999). "Geoarchaeology: an introduction", *Geological Society*, London, Special Publications, 165(1): pp. 7-14.
- Ranjy Roodposhti, H. & Hafizi, M. K. (2013). "Archaeological Studies by Electrical Resistivity and Induced Polarization in Shadmehrak, Neyshabour", *Scientific Quarterly Journal, GEOSCIENCES*, 22(86): pp. 221-228.
- Razani, M., Martinez Conjero, F., Mansori Isfahani, M., Afsharinezhad, H. (2017). "Preparation of Thin Sections of Porous Materials for Polarizing Microscope Investigation in Archaeometry", *Journal of Research on Archaeometry*, 3(2): pp. 45–60.
- Reiner, E. (1973). Tall-i Malyan, Epigraphic finds, 1971-72. *Iran* 12, 176.
- Retallack, G. J. (2001). *Soils of the Past*, Blackwell, Oxford.
- Rittenour, T. M. (2008). "Luminescence dating of fluvial deposits: applications to geomorphic, palaeoseismic and archaeological research", *Boreas*, 37(4): pp. 613-635.
- Safari, A., Karam, A., Sardari Zarchi, A., Fattahi, M., Motamed, R. (2019). "Geo-Archaeology of west Susiana Plain with an Analysis of Hydraulic Structures", *Journal of Research on Archaeometry*, 5(1): pp. 17-29.
- Schmidt, A., Quigley, M., Fattahi, M., Azizi, G., Maghsoudi, M., Fazeli, H. (2011). "Holocene settlement shifts and palaeoenvironments on the Central Iranian Plateau: investigating linked systems", *The Holocene*, 21(4): pp. 583-595.
- Sheldon, N. D. & Tabor, N. J. (2009). "Quantitative paleoenvironmental and paleoclimatic reconstruction using paleosols", *Earth- Science Reviews*, 95: pp. 1–52.
- Snakin, V. V., Prisyazhnaya, A. A., Kovacs-Lang, E. (2001) *Soil liquid phase composition*, Elsevier Science B. V., Amsterdam
- Sumner, W. M. (1985). The proto-elamite city wall at Tal-i Malyan. *Iran*, 23: pp. 153-161.
- Sumner, W. M. (1972). Cultural development in the Kur River Basin, Iran: an archaeological analysis of settlement patterns, PhD, Thesis Pennsylvania.
- Tucker, M. E. (2001). *Sedimentary Petrology—An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks*.— Blackwell. Scientific publication, London.
- Tucker, M. E. (2003). *Sedimentary rocks in the field*, John Wiley & Sons.
- Vallat, F. (1998). "The history of Elam", *Encyclopoedia Iranica*, Vol. VIII, E. Yarshater (ed.), Mazda Publishers, Costa Mesa, California, pp. 302-313.
- Waters, M. R. (1988). "Holocene alluvial geology and geoarchaeology of the San Xavier reach of

- the Santa Cruz River, Arizona”, *Geological Society of America Bulletin*, 100(4): pp. 479-491.
- Waters, M. R. (1992). *Principles of geoarchaeology: A North American perspective*, University of Arizona Press.
- Woodward, J. & Huckleberry, G. (2011). “The geoarchaeology of river basin systems: an introduction”, *Geoarchaeology*, 26(5): pp. 611-615.
- Yee, C. S. & Harr, R. D. (1977). “Influence of soil aggregation on slope stability in the Oregon Coast Ranges”, *Environmental Geology*, 1(6): pp. 367-377.