Archive of SID

مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته یادداشت پژوهشی زمستان ۹۴، شماره ۱۸

بررسی بنای تاریخی زیگورات از دیدگاه زمین‌شناسی مهندسی

مریم قاسمی گماری

کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه آزاد تهران شمال

دکتر ایمان انتظام سلطانی

گروه زمین‌شناسی مهندسی سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور

تاریخ دریافت: ۹۴/۲/۱۰ تاریخ پذیرش : ۹۴/۵/۲۷

m.qasemi68@yahoo.com

چکیده

معبد زیگورات چغازنبیل در جنوب‌غرب ایران، استان خوزستان، ۴۵ کیلومتری جنوب‌شرقی شهرباستانی شوش در طول جغرافیایی ´۱۵و °۴۸ شرقی و عرض جغرافیایی ´۱۲ و°۳۲ شمالی می‌باشد. معبد چغازنبیل که در حال حاضر تاریخ ۳۳۰۰ ساله ایران را از معماری تمدن ایلامی رقم می‌زند در قرن ۱۳ بر تاقدس سردارآباد در منطقه زاگرس چین‌خورده ساخته شده است. این بنا پس از سالیان متمادی دست‌خوش تغییرات بسیاری شده است و آنچه از بازمانده‌های این بنا در اختیار است دو طبقه و نیم از پنج طبقه‌ی آغازین آن است. نتایج آزمایشات شیمیایی و مکانیک خاک نشان دهنده آن است که ترکیبات بافت بنای زیگورات به میزان اندک نسبت به سال‌های گذشته بر اثر فرسایش تغییر کرده است و میزان کلر، رس و سیلت نمونه ها بر اثر تماس با آب و شسته شدن کاهش و میزان سولفات خاک و ماسه افزایش یافته است و همین امر موجب فرسوده‌تر شدن بنا نسبت به سال‌های گذشته می‌باشد. با توجه به نتایج ارزیابی‌ها به طور کلی مهم‌ترین عامل تخریبی معبد در حال حاضر به دلیل خشت و گلی بودن معبد فرسایش ناشی از باران‌های منطقه می‌باشد. بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی بنا تا چه میزان در روند تخریب و فرسایش بنا موثر هستند.

کلمات کلیدی: *چغازنبیل، تاقدیس سردارآباد، بارندگی، فرسایش، زمین‌شناسی مهندسی*

مقدمه

در جای جای کشور ما بناهای تاریخی با ارزشی قرار دارند که در معرض مخاطرات طبیعی هستند و می‌توانند توسط این مخاطرات به‌شدت آسیب ببینند مانندآنچه که در ارگ بم پس از زلزله بم شاهد آن بودیم . یکی از این بناهای تاریخی شناخته شده در جهان بنای معروف زیگورات می‌باشد. محوطه تاریخی چغازنبیل جزئی لاینفک از میهن و تاریخ کشور و یادگار تاریخ ایلام می‌باشد که نگهداری از آن جهت ماندگاری و از همه مهم‌تر انتقال این بنا به نسل آینده ضروری می‌باشد. محوطه تاریخی چغازنبیل در ۴۵ کیلومتری جنوب‌شرقی شهرستان شوش در طول جغرافیایی ´۱۵ و°۴۸ شرقی و پهنای جغرافیایی ´۱۲ و°۳۲ شمالی قرار گرفته است (شکل ۱).

معبد چغازنبیل بزرگترین اثر معماری تمدن ایلامی است که در سال ۱۳۰۰ پیش از میلاد با به کارگیری میلیون‌ها آجر و خشت در ۵ طبقه ساخته شده بود. ارتفاع آن در گذشته حدود ۵۲ متر بوده و امروزه ارتفاع آن ۲۵ متر و تنها دو طبقه‌ونیم از آن باقی مانده است. (سطح زیربنای آن ۲۵۰۰۰ متر مربع است). راه دسترسی به محوطه باستانی از طریق جاده اهواز – شوشتر که در کیلومتر ۱۱۵ آن جاده فرعی آسفالته اختصاصی محوطه چغازنبیل به طول ۲۵ کیلومتر جهت دسترسی به سایت باستانی مهیا می‌باشد. در فاصله سال‌های ۱۳۳۰ تا ۱۳۴۱ توسط رومن گیرشمن، باستان‌شناس بزرگ فرانسوی، از زیر خاک بیرون آورده شد و سپس در تابستان سال ۱۳۵۷ همراه با تخت جمشید و میدان نقش جهان اصفهان در فهرست میراث فرهنگی جهانی جای گرفت. این مجموعه باستانی شامل یک معبدمرکزی مطبق (زیگورات)، سه حصار تودرتو، ۱۲ معبد، مخزن آب می‌باشد. مجموعه این شهر و آثار تمدن ایلام در هفت تپه در سال ۶۴۰ پیش از میلاد در حمله آشوریان ویران گردید. در این میان تحقیق در مورد فرآیندهای مخرب فرساینده بنا از جمله شرایط اقلیمی که موجب فرسایش بنا شده‌اند ما را در جهت حفظ هر چه بهتر این بنای باستانی یاری می‌رساند. در این مقاله سعی گردیده است تا مطالعه جامعی بر روی محوطه تاریخی چغازنبیل از لحاظ زمین‌شناسی مهندسی صورت گیرد تا مشخص شود خصوصیات اقلیمی تا چه میزان موجب تخریب این بنای ارزشمند شده‌اند. (گیرشمن ، ۱۳۷۳).

زمین شناسی محوطه تاریخی چغازنبیل از نظر زمین شناسی مهندسی

محوطه تاریخی چغازنبیل روی لایه‌های سازند آغاجاری که بیشتر ازماسه سنگ‌های دانه درشت نیمه‌سخت تشکیل شده و در سطح به شدت هوازده و فرسوده هستند بنا شده است. تشکیلات این تاقدیس از قدیم به جدید شامل سازند آغاجاری، کنگلومرای بختیاری و بخش لهبری است(ملک عباسی و شهرابی، ۱۳۷۹).

سازند آغاجاری

دارای نفوذپذیری بسیار کمی می‌باشد و فقط در نواحی سطحی که دچار هوازدگی شده‌اند و از تراکم ماسه‌ها و سیمان بین لایه‌ای کاسته شده، نفوذپذیری ناچیزی مشاهده می‌گردد. با توجه به ذرات گچ و مارن و سفره‌های سطحی و محلی به صورت جزئی با آبدهی بسیار ناچیز تشکیل می‌گردد. براساس طبقه بندی GSI سازند آغاجاری در حد سنگ ضعیف تا متوسط ۴۰ تا ۴۵ قرار می‌گیرد و در صورت اشباع شدن نیز تا حد زیادی از مقاومت سنگ کاسته می‌گردد(خدایی و همکاران، ۱۳۹۱).

بخش لهبری

بخش لهبری در نواحی شمال، جنوب و جنوب‌غربی معبد چغازنبیل گسترش دارد که به دلیل گسترش کم و ضخامت ناچیز مواد تشکیل دهنده وجود آب زیرزمینی در آن غیر ممکن است و به علت لیتولوژی خود قابلیت فرسایش بالا و مقاومت پایین می‌باشد(ابراهیمی پورسنگی و نادعلیان، ۱۳۹۱).

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۱ . نمایی ازرو به روی معبد چغازنبیل

سازند کنگلومرای بختیاری

با توجه به لیتولوژی سازند فوق و وجود سیمان محکم، تشکیل لایه‌های غیرقابل نفوذی داده است اما در مناطقی که فرسایش و هوازدگی عمل کرده باشد و ذرات به صورت منفصل قرار داشته باشند و ضخامت قابل توجه باشد وجود سفره‌های آب زیرزمینی موضعی با آبدهی کم قابل پیش‌بینی است. سازند بختیاری مقاوم‌ترین بخش به فرسایش و با مقاومت بالاتر می‌باشد که کمتر در ساختگاه چغازنبیل گسترش دارد مطالعات بر روی واحد کنگلومرائی نشان داده که واحد کنگلومرائی تراوائی متوسط دارد که به علت درزه‌های کششی حاصل از تاقدیس می تواند تراوائی آن افزایش یابد(بهاروند و همکاران، ۱۳۸۸). انواع فرسایش حاکم بر منطقه شامل:

۱- فرسایش حاصل از هوازدگی (فیزیکی و شیمیایی)

۲- فرسایش حاصل از عملکرد آب‌های سطحی شامل: فرسایش ورقه‌ای، فرسایش آبکندی

۳- فرسایش و فرآیندهای بادی(مجله باستان شناسی و تاریخ، ۱۳۶۷)

مصالح و پایداری بنا از دیدگاه زمین شناسی مهندسی

عمده مصالح مجموعه چغازنبیل خشت می‌باشد به همین خاطر از پوشش آجری با هدف حفاظت از حجم‌های زودفرسای خشتی، به ویژه در مورد زیگورات استفاده زیادی شده است. ساختار ساختمان زیگورات از آجرهای قالب‌زده اما نپخته ازگل و به صورت خشکه چین و با ملات یا سیمان تثبیت نشده است. آزمایشات پروژه چغازنبیل در سه بخش بررسی خاک، خشت و آجر صورت گرفته است که نتایج به صورت زیر است:

خاک: نمونه‌های مورد آزمایش از ترانشه‌های مربوط به معادن(A، B، C، D، E، G) خاک رس در۲ الی ۳ کیلومتری منطقه در برگیرنده معبد برداشت شده‌اند. نمونه‌های مربوط به هر ترانشه و ترکیبات آنها در هر معدن در جدول(۱) آمده است.

جدول ۱. طبقه بندی خاک‌های منطقه چغازنبیل با روش یونیفاید

ردیف	کد نمونه	علامت طبقه	نام گروه
۱	A۲	CL	رس ضعیف ماسه دار
۲	B۱	CL-ML	رس لای دار با ماسه
۳	B۲	ML	لای
۴	C۱	CL	رس ضعیف با ماسه
۵	D۱	ML	لای
۶	E۱	ML	لای
۷	E۲	ML	لای
۸	E۳	CL	رس ضعیف
۹	G۱	ML	لای
۱۰	G۲	ML	لای
۱۱	G۳	ML	لای
۱۲	GX	CL	رس ضعیف
۱۳	H	CL	رس ضعیف
۱۴	I	CL	رس ضعیف
۱۵	R	ML	لای با ماسه

www.SID.ir

Archive of SID

عمده این خاک‌ها شامل رس با خاصیت خمیری کم و دارای چسبندگی و لای با فشردگی متوسط می‌باشد. از جمله مهم‌ترین مشکلات این خاک‌ها همراه بودن آنها با مقادیر زیادی ژیپس که در ذخایر رسی منطقه به چشم می‌خورد می‌باشد. آنالیزهای عنصری نیز حضور SO_3 را بسیار فراوان و غیر کنترل نشان می‌دهد. حضور کانی رسی مونت موریلونیت که دارای قابلیت جذب آب و تورم زیاد می‌باشد در تمامی نمونه‌ها به چشم می‌خورد. وجود ژیپس در خاک سبب تبدیل کربنات‌ها و بی‌کربنات سدیم به سولفات شده و به این صورت از شوری خاک می‌کاهد ولی منشا عمده‌ای برای حضور شوره‌های سولفاته و کربناته می‌باشد (جدول ۲).

جدول ۲. ویژگی مهندسی خاک‌های منطقه

ویژگی مهندسی خاک‌های منطقه	شن وماسه	لای	رس
نفوذپذیری	بسیار زیاد تا زیاد	کم	بسیار کم تا نفوذپذیر
مویینگی	صرفنظرکردنی	زیاد	بسیارزیاد
امکان تورم بر اثر یخ زدن	صفرتاکم	زیاد	زیاد
امکان آبگونگی	صفرتازیاددرماسه ریزدانه	زیاد	صفر
قابلیت تراکم	عالی	بسیارمشکل	نسبتامشکل، محتاج کنترل دقیق رطوبت است
انبساط براثررطوبت	صفر	صفر	متوسط تا بسیارزیاد
انقباض براثرخشک شدن	صفر	ناچیز	کم تا زیاد

مطابق استاندارد ۱۱۶۲ مقدار حد خمیری (PL) برای ساخت آجر (جهت مرمت بنا) باید بین ۱۷-۳۰ باشد که نتایج نشان می‌دهند حد خمیری کلیه خاک‌های رس نمونه‌ها در محدوده فوق چسبندگی لازم را دارا می‌باشند (جدول ۳). (گروه شناخت مواد و مصالح آزمایشگاهی پژوهشکده چغازنبیل، ۱۳۸۰). کلیه خاک‌های مورد آزمایش معادن فاقد خاصیت واگرایی هستند و از این نظر خاک‌ها همگی دارای شرایط مناسبی می‌باشند. لازم به ذکر است که نمونه‌های R ،i به عنوان رسوبات رودخانه دز به طور مقایسه‌ای مورد آزمایش قرار گرفتند و نتایج آنها نشان می‌دهد که این نوع برای پخت آجرمرمتی می‌توانند در الویت قرار گیرند(جدول۴؛ Saeed et al., 1988).

نتایج بررسی دانه‌بندی خاک‌های ریزدانه منطقه چغازنبیل

درصد وزن بخش غیرماسه‌ای خاک‌های منطقه ۶۳٪ و درصد وزن بخش ماسه‌ای ۳۹٪ است. مانده روی الک ۱۰۰ نمونه‌ها بین ۱٪ تا ۱۶٪ و میزان مواد ریزدانه ۸۲٪ است.

نتایج بررسی دانه‌بندی خاک‌های درشت‌دانه (ماسه) منطقه چغازنبیل

خاک‌های درشت دانه از نوع ماسه لای‌دار با دانه‌بندی بد (همگن) هستند. مانده روی الک ۱۰۰این خاک‌ها ۵۱٪ و میزان مواد ریزدانه ۳۳٪ است.

خشت: خشت‌ها از قسمت‌های دانه ریز لای ، رس و ماسه بسیار ریزدانه تشکیل شده‌اند. بر طبق آزمایش بر روی ۱۰ نمونه خشت همگی فاقد واگرایی و قلیایی یا خنثی و دارای تورم پذیری ناچیز و همگی دارای نمک ولی مقدار متفاوت می‌باشند. همچنین یون سولفات و کلر موجود در خشت‌ها بالاتر از حد مجاز است و میانگین مقاومت فشاری خشت‌ها ۳۰/۶ (Kg/cm^3) است(جدول ۴). (گروه شناخت مواد و مصالح آزمایشگاهی پژوهشکده چغازنبیل،۱۳۸۱).

جدول ۳. حدود آتربرگ خاک‌های چغازنبیل

حدروانی	۲۴ تا ۴۵
حدخمیری	۱۹ تا ۳۴
شاخص خمیری	۲ تا ۲۲

جدول شماره۴. حدود آتربرگ خشت‌های چغازنبیل(Report to UNESCO – 1998)

میانگین مقاومت فشاری نمونه ها	حدروانی LL	حد خمیری PL	شاخص خمیری PL	مقاوت برشی در حدروانیFI	مقاوت برشی در حد خمیریTI	عدداکتیویته A
۳۰/۶Kg/cm^3	۲۷	۲۹/۲۴	۷۱/۲	۱۸/۷	۳۷	۱۶

www.SID.ir

Archive of SID

امرزه با گذشت سالیان دراز فرآیند تخریب آجرهای محوطه چغازنبیل روندی فزاینده یافته است. پس از بیرون آوردن این مجموعه خشتی – آجری از زیر خاک عوامل محیطی مهم‌ترین نقش را در فرسایش آجرها ایفا نموده است. هم‌جواری مصالح خاکی– خشتی با آجرها و حضور رطوبت باعث نفوذ شوره‌های مختلف به درون ساختار متخلخل آجر شده که یک فرآیند تخریبی رطوبت حاصل از منابع مختلف مهم‌ترین عامل است زیرا انواع رطوبت در بنا می‌تواند نمک‌های محلول را منتقل کند با این وجود، بارندگی‌های فراوان در مجموعه چغازنبیل یکی از مهم‌ترین عوامل تخریب به شمار می‌رود. تبلور نمک‌ها و آسیب‌های ناشی از آن در بناها و سازه‌های آجری به صورت شوره در سطح آجر و یا به صورت نهان شکفته در نهاد آن، نمایان شده و باعث پیشرفت ترک‌ها، پوسته شدن، پودری شدن در سطوح آجر می‌شود. همه آجرهای مورد استفاده در چغازنبیل بافت سطحی بسیار زبری داشته و میزات تخلخل آنها بالا و بین ۲۱/۵ تا ۵۲/۵ درصد نشان داده شده است. عمده‌ترین ترکیبات موجود در شوره آجر از نوع کربنات، نیترات و سولفات شناسایی شده‌اند (گروه شناخت مواد و مصالح آزمایشگاهی پژوهشکده چغازنبیل، ۱۳۷۹).

نتیجه‌گیری

همه خشت‌ها از کانی‌های رسی مرغوب فقیر هستند در حالی که کانیهای هالیت و ژیپس به وفور یافت می‌شوند و عواملی از قبیل ترک خوردگی، پوسته‌ای و پودری شدن و شوره زنی به علت ماندگاری رطوبت و تبخیر نامتعادل بر دیوارهای معبد به وفور به چشم می‌خورد. با توجه به اینکه وزن مخصوص خاک خشک و تر در میانگین نمونه های آزمایشی کمتر شده می‌توان نتیجه گرفت که تورم، تراکم و فشردگی کمتر و تخلخل و درجه پوکی درخاک بیشتر شده است با این وجود خاک برای تغییر حالت به آب کمتری نیازمند است. با توجه به نتایج دانه‌بندی، میزان رس، سیلت و ماسه خاک به میزان کم تغییر کرده است. بررسی نتایج حدود آتربرگ نیز تغییرات اندکی را نسبت به سال‌های گذشته مشخص نموده است. میزان مقاومت فشاری در خشت‌ها در مقایسه با نمونه‌های قبلی در سال‌های گذشته تغییری نکرده است. در مجموع بافت بنای مورد نظر به مرور زمان طی فرسایش توسط باران‌های منطقه تحت تاثیر قرار گرفته است و نسبت به سال‌های گذشته فرسوده‌تر به چشم می‌رسد. تجهیز معبد به ایستگاه هواشناسی مقدماتی، از آن جهت که اقدامات مرمتی به اطلاعات هواشناسی و اقلیم مورد نیاز است پیشنهاد می‌شود. با توجه به نتایج ارزیابی ها به طور کلی مهم‌ترین عامل تخریبی معبد در حال حاضر به دلیل خشت و گلی بودن معبد فرسایش ناشی از باران‌های منطقه می‌باشد بدین منظور اندود بدنه دیوارها به منظور جلوگیری از فرسایش و احداث شیب‌شکن در قله زیگورات جهت احداث موانع انحرافی جهت هدایت آب به طرف ناودان‌ها توصیه می‌شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند که از مدیریت پژوهشکده چغازنبیل هفت‌تپه جهت همکاری‌های لازم تشکر و قدردانی نماید.

منابع

گیرشمن، ر. ، ۱۳۷۳ . (چغازنبیل دورانتاش) ، جلد اول (زیگورات)، وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، ص ۳۳۸.

ملک عباسی، م؛ شهرابی، م.، ۱۳۷۹. گزارش زمین شناسی ۱:۲۰۰۰ منطقه چغازنبیل و هفت‌تپه، مرکز مطالعات موزه آثار تاریخی شوش.

خدایی، ک؛ محمدزاده، ح؛ ناصری، ح؛ شهسواری،ع.، ۱۳۹۱. بررسی آلودگی نیترات آب زیرزمینی دشت دزفول – اندیمشک و تعیین منشاآلودگی به کمک ایزوتوپ های N^{15} و O^{18} ، فصل‌نامه زمین شناسی ایران، سال ششم، شماره۲۲،ص ۹۳-۱۱۱.

ابراهیمی پورفرسنگی، م؛ نادعلیان، آ.، ۱۳۹۱. بازتاب باورهای مرتبط با آب در آثار هنری ایلامیان، فصل‌نامه علمی پژوهشی نگره،بهار۹۱، شماره۲۱، ص ۸۵.

بهاروند، ن؛ آرین، م؛ ترخانی، م؛ قرشی، م؛ و همکاران.، ۱۳۸۸. بررسی زمین ساخت فعال در تاقدیس سردارآباد و اثر آن بر معبد چغازنبیل ، فصل‌نامه زمین دانشکده علوم پایه تهران شمال، سال پنجم ، شماره۲ ،ص۶-۱۴.

مومن‌زاده، م. ،۱۳۶۷.مجله باستان‌شناسی و تاریخ، سال سوم، شماره اول، ص ۲۵.

زکوی،س. ،۱۳۸۰. گزارش مطالعات انجام شده روی خاک‌های رسی چغازنبیل ،مرکز مطالعات موزه آثار تاریخی شوش.

حبیب نژاد،ع. ،۱۳۸۱. گزارش مطالعات انجام شده روی مواد و مصالح خشت‌های چغازنبیل ،مرکز مطالعات موزه آثار تاریخی شوش.

وطن‌دوست ، ر. ،۱۳۷۹. گزارش مطالعات آسیب‌شناسی آجرهای چغازنبیل چغازنبیل ،مرکز مطالعات موزه آثار تاریخی شوش.

Seed. H.B., Woodward. R. J., Lundgren. R., 1988, Pressure of swelling soil against retaining Wall , Soil Mech, And Found ENg , vol:25, No:3.p:25-26.

Watanabe. K. , Report to UNESCO –1998 , Mineralogical and Chemical Properties of Mud Bricks and Mortars Used for the Canstruction of Chogha Zanbil Ziggurat.

www.SID.ir