

## بررسی بنای تاریخی زیگورات از دیدگاه زمین شناسی مهندسی

مریم قاسمی گماری

کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه آزاد تهران شمال

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

m.qasemi68@yahoo.com

### چکیده

معبد زیگورات چغازنبیل در جنوب غرب ایران، استان خوزستان، ۴۵ کیلومتری جنوب شرقی شهر باستانی شوش در طول جغرافیایی ۱۵° و ۴۸° شرقی و عرض جغرافیایی ۱۲° و ۳۲° شمالی می باشد. معبد چغازنبیل که در حال حاضر تاریخ ۳۳۰۰ ساله ایران را از معماری تمدن ایلامی رقم می زند در قرن ۱۳ بر تاقدهس سردارآباد در منطقه زاگرس چین خورده ساخته شده است. این بنا پس از سالیان متمادی دست خوش تغییرات بسیاری شده است و آنچه از بازمانده های این بنا در اختیار است دو طبقه و نیم از پنج طبقه ی آغازین آن است. نتایج آزمایشات شیمیایی و مکانیک خاک نشان دهنده آن است که ترکیبات بافت بنای زیگورات به میزان اندک نسبت به سال های 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 فرسوده تر شدن بنا نسبت به سال های گذشته می باشد. با توجه به نتایج ارزیابی ها به طور کلی مهم ترین عامل تخریبی معبد در حال حاضر به دلیل خشت و گلی بودن معبد فرسایش ناشی از باران های منطقه می باشد. بررسی های صورت گرفته نشان می دهد که خصوصیات زمین شناسی مهندسی بنا تا چه میزان در روند تخریب و فرسایش بنا موثر هستند.

**کلمات کلیدی:** چغازنبیل، تاقدهس سردارآباد، بارندگی، فرسایش، زمین شناسی مهندسی

### مقدمه

در جای جای کشور ما بناهای تاریخی با ارزشی قرار دارند که در معرض مخاطرات طبیعی هستند و می توانند توسط این مخاطرات به شدت آسیب ببینند مانند آنچه که در ارگ بم پس از زلزله بم شاهد آن بودیم. یکی از این بناهای تاریخی شناخته شده در جهان بنای معروف زیگورات می باشد. محوطه تاریخی چغازنبیل جزئی لاینفک از میهن و تاریخ کشور و یادگار تاریخ ایلام می باشد که نگهداری از آن جهت ماندگاری و از همه مهم تر انتقال این بنا به نسل آینده ضروری می باشد. محوطه تاریخی چغازنبیل در ۴۵ کیلومتری جنوب شرقی 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 میلیون ها 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 طبقه ونیم از آن باقی مانده است. (سطح زیربنای آن ۲۵۰۰۰ متر مربع است). راه دسترسی به محوطه باستانی از طریق جاده اهواز - شوشتر که در ۱۱۵ کیلومتر فرعی آسفالتی اختصاصی محوطه چغازنبیل به طول ۲۵ کیلومتر جهت دسترسی به سایت باستانی مهیا می باشد. در فاصله سال های ۱۳۳۰ تا ۱۳۴۱ توسط رومن گیرشمن، باستان شناس 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 معبد مرکزی مطبق (زیگورات)، سه حصار تودرتو، ۱۲ معبد، مخزن آب می باشد. 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 شده اند ما را در جهت حفظ هر چه بهتر این بنای باستانی یاری می رساند. در این مقاله سعی گردیده است تا مطالعه جامعی بر

روی محوطه تاریخی چغازنبیل از لحاظ زمین شناسی مهندسی صورت گیرد تا مشخص شود خصوصیات اقلیمی تا چه میزان موجب تخریب این بنای ارزشمند شده اند. (گیرشمن، ۱۳۷۳).

### زمین شناسی محوطه تاریخی چغازنبیل از نظر زمین شناسی مهندسی

محوطه تاریخی چغازنبیل روی لایه های سازند آغاچاری که بیشتر از ماسه سنگ های دانه درشت نیمه سخت تشکیل شده و در سطح به شدت هوازده و فرسوده هستند بنا شده است. تشکیلات این تاقدهس از قدیم به جدید شامل سازند آغاچاری، کنگلومرای بختیاری و بخش لهبری است (ملک عباسی و شهری، ۱۳۷۹).

### سازند آغاچاری

دارای نفوذپذیری بسیار کمی می باشد و فقط در نواحی سطحی که دچار هوازدهی شده اند و از تراکم ماسه ها و سیمان بین لایه های کاسته شده، نفوذپذیری ناچیزی مشاهده می گردد. با توجه به ذرات گچ و مارن و سفره های سطحی و محلی به صورت جزئی با آبدی بسیار ناچیز تشکیل می گردد. براساس طبقه بندی GSI سازند آغاچاری در حد سنگ ضعیف تا متوسط ۴۰ تا ۴۵ قرار می گیرد و در صورت اشباع شدن نیز تا حد زیادی از مقاومت سنگ کاسته می گردد (خدایی و همکاران، ۱۳۹۱).

### بخش لهبری

بخش لهبری در نواحی شمال، جنوب و جنوب غربی 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 می باشد (ابراهیمی پورسنگی و نادعلیان، ۱۳۹۱).



شکل ۱. نمایی از رو به روی معبد چغازنبیل

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 می باشد به همین خاطر از پوشش آجری با هدف حفاظت از حجم های زودفرسای خشتی، به ویژه در مورد زیگورات استفاده زیادی شده است. ساختار ساختمان زیگورات از آجرهای قالبزده اما نپخته از گل 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:** نمونه های مورد آزمایش از ترانسه های مربوط به معادن (A, B, C, D, E, G) خاک رس در ۲ الی ۳ کیلومتری منطقه در برگیرنده معبد برداشت شده اند. نمونه های مربوط به هر ترانسه و ترکیبات آنها در هر معدن در جدول (۱) آمده است.

### سازند کنگلومرای بختیاری

با توجه به لیتولوژی سازند فوق و وجود سیمان محکم، تشکیل لایه های 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 سفره های آب زیرزمینی موضعی با آبدی کم قابل پیش بینی است. سازند بختیاری مقاوم ترین بخش به فرسایش و با مقاومت بالاتر می باشد که کمتر در ساختگاه چغازنبیل گسترش دارد مطالعات بر روی واحد کنگلومرایی نشان داده که واحد کنگلومرایی تراوایی متوسط دارد که به علت درزه های کششی حاصل از تاقدیس می تواند تراوایی 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 آب های سطحی شامل: فرسایش ورقه ای، فرسایش آبکندی

جدول ۱. طبقه بندی خاک های 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

جذب آب و تورم زیاد می‌باشد در تمامی نمونه‌ها به چشم می‌خورد. وجود ژپس 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 سولفات و کربنات می‌باشد (جدول ۲).

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 ژپس 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 موریلونیت که دارای قابلیت

جدول ۲. ویژگی مهندسی خاک‌های منطقه

ویژگی مهندسی خاک‌های منطقه	شن و ماسه	لای	رس
نفوذپذیری	بسیار زیاد تا زیاد	کم	بسیار کم تا نفوذپذیر
موبینگی	صرفنظر کردنی	زیاد	بسیار زیاد
امکان تورم بر اثر یخ زدن	صفر تا کم	زیاد	زیاد
امکان آبگونگی	صفر تا زیاد در ماسه ریزدانه	زیاد	صفر
قابلیت تراکم	عالی	بسیار مشکل	نسبتاً مشکل، محتاج کنترل دقیق رطوبت است
انبساط بر اثر رطوبت	صفر	صفر	متوسط تا بسیار زیاد
انقباض بر اثر خشک شدن	صفر	ناچیز	کم تا زیاد

### نتایج بررسی دانه‌بندی خاک‌های درشت‌دانه (ماسه) منطقه چغازنبیل

خاک‌های درشت‌دانه از نوع ماسه لای‌دار با دانه‌بندی بد (همگن) هستند. مانده روی الک ۱۰۰ این 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  $30/6 \text{ Kg/cm}^2$  است (جدول ۴). (گروه شناخت مواد و مصالح آزمایشگاهی پژوهشکده چغازنبیل، ۱۳۸۱).

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<sub>1</sub> 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 (جدول ۴؛ 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.

جدول ۳. حدود آتبرگ خاک‌های چغازنبیل

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

جدول شماره ۴. حدود آتبرگ خشت‌های چغازنبیل (Report to UNESCO – 1998)

میانگین مقاومت فشاری نمونه‌ها	حدروانی LL	حد خمیری PL	شاخص خمیری PL	مقاوت برشی در حدروانی FI	مقاوت برشی در حد خمیری TI	عدداکتیویته A
$30/6 \text{ Kg/cm}^2$	۲۷	۲۹/۲۴	۷۱/۲	۱۸/۷	۳۷	۱۶

مخصوص خاک خشک و تر در میانگین نمونه های آزمایشی کمتر شده می توان نتیجه گرفت که تورم، تراکم و فشردگی کمتر و تخلخل و درجه پوکی در خاک بیشتر شده است با این وجود خاک برای تغییر حالت به آب کمتری نیازمند است. با توجه به نتایج دانه بندی، میزان رس، سیلت و ماسه خاک به میزان کم تغییر کرده است. بررسی نتایج حدود آتبرگ نیز تغییرات اندکی را نسبت به سال های گذشته مشخص نموده است. میزان مقاومت فشاری در خشت ها در مقایسه با نمونه های قبلی در سال های گذشته تغییری نکرده است. در مجموع بافت بنای مورد نظر به مرور زمان طی فرسایش توسط باران های منطقه تحت تاثیر قرار گرفته است و نسبت به سال های گذشته فرسوده تر به چشم می رسد. تجهیز معبد به ایستگاه هواشناسی مقدماتی، از آن جهت که اقدامات مرمتی به اطلاعات هواشناسی و اقلیم مورد نیاز است پیشنهاد می شود. با توجه به نتایج ارزیابی ها به طور کلی مهم ترین عامل تخریبی معبد در حال حاضر به دلیل خشت و گلی بودن معبد فرسایش ناشی از باران های منطقه می باشد بدین منظور اندود بدنه دیوارها به منظور جلوگیری از فرسایش و احداث شبشکن در قله زیگورات جهت احداث موانع انحرافی جهت هدایت آب به طرف ناودان ها توصیه می شود.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود لازم می دانند که از مدیریت پژوهشکده چغازنبیل هفت تپه جهت همکاری های لازم تشکر و قدردانی نماید.

امروزه 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 مهم ترین نقش را در فرسایش آجرها ایفا نموده است. همجواری مصالح خاکی - خشتی با آجرها و حضور رطوبت باعث نفوذ شوره های مختلف به درون ساختار متخلخل آجر شده که یک فرآیند تخریبی رطوبت حاصل از منابع مختلف مهم ترین عامل است زیرا انواع رطوبت در بنا می تواند نمک های محلول را منتقل کند با این وجود، بارندگی های فراوان در مجموعه چغازنبیل یکی از مهم ترین عوامل تخریب به شمار می رود. تبلور نمک ها و آسیب های ناشی از آن در بناها و سازه های آجری به صورت شوره در سطح آجر و یا به صورت نهان شکفته در نهاد آن، نمایان شده و باعث پیشرفت ترک ها، پوسته شدن، پودری شدن در سطوح آجر می شود. 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. عمده ترین ترکیبات موجود در شوره آجر از نوع کربنات، نیترات و سولفات شناسایی شده اند (گروه شناخت مواد و مصالح آزمایشگاهی پژوهشکده چغازنبیل، ۱۳۷۹).

### نتیجه گیری

همه خشت ها از کانی های رسی مرغوب فقیر هستند در حالی که کانیهای هالیت و ژیبس به وفور یافت می شوند و عواملی از قبیل ترک خوردگی، پوسته ای و پودری شدن و شوره زنی به علت ماندگاری رطوبت و تبخیر نامتعادل بر دیوارهای معبد به وفور به چشم می خورد. با توجه به اینکه وزن

### 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 هفت تپه، 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 منشأ آلودگی به کمک ایزوتوپ های  $N^{15}$  و  $O^{18}$ ، فصل نامه زمین شناسی ایران، سال ششم، شماره ۲۲، ص ۹۳-۱۱۱.
- ابراهیمی پورفرسنگی، م؛ نادعلیان، آ.، ۱۳۹۱. بازتاب باورهای مرتبط با آب در آثار هنری ایلامیان، فصل نامه علمی پژوهشی نگره، بهار ۹۱، شماره ۲۱، 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، فصل نامه زمین دانشکده علوم پایه تهران شمال، سال پنجم، شماره ۲، ص ۶-۱۴.
- مومن زاده، م.، ۱۳۶۷. مجله باستان شناسی و تاریخ، سال سوم، شماره اول، ص ۲۵.
- زکوی، س.، ۱۳۸۰. گزارش مطالعات انجام شده روی خاک های رسی چغازنبیل، مرکز مطالعات موزه آثار تاریخی شوش.
- حبیب نژاد، ع.، ۱۳۸۱. گزارش مطالعات انجام شده روی مواد و مصالح خشت های چغازنبیل، مرکز مطالعات موزه آثار تاریخی شوش.
- وطن دوست، ر.، ۱۳۷۹. گزارش مطالعات آسیب شناسی 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 Construction of Chogha Zanbil Ziggurat.