

بررسی زمین ساخت فعال در تاقدیس سردارآباد و اثر آن بر معبد چغازنبیل

ندا بهاروند^۱، دکتر مهران آراین^۲، محمد سالار ترخانی^۳، دکتر منوچهر قرشی^۴ و دکتر محمد حسین طالبیان^۵

چکیده

چغازنبیل نام محوطه‌ای باستانی در جنوب غرب ایران، استان خوزستان، جنوب شرقی شهر باستانی شوش در طول جغرافیایی $30^{\circ} 48'$ و عرض جغرافیایی 32° می‌باشد. معبد چغازنبیل که در حال حاضر بزرگ ترین اثر معماری شناخته شده تمدن ایلامی است، در قرن ۱۳ قبل از میلاد بر روی تاقدیس سردارآباد، در منطقه زاگرس چین‌خورده ساخته شده است. سنگ‌های رخنمون یافته در این منطقه به سازندهای گچساران، میشان، آغاچاری، کنگلومرای بختیاری تعلق دارند. بررسی های صورت پذیرفته نشان می دهد که پیشانی کوهستانی اصلی این منطقه دارای رده دوم فعالیت های تکتونیکی نسبی است و این رده نشان دهنده عدم تخریب این اثر بر اثر فرآیند های تکتونیکی می باشد. مقادیر SI پایین (۱۰) در دره رودخانه دز به دلیل وجود گسلش در آن می باشد، زیرا در اثر کارکرد این گونه گسل های عرضی، غالباً سنگ ها خرد شده اند و رودها در دره های کم شیب تر جریان می یابند. مقادیر SI بالا (۵۰) بر روی سنگ های نرم بخش جنوب خاوری تاقدیس نیز نشانگر فعالیت تکتونیکی اخیر نسبتاً بیشتر این بخش، نسبت به بخش شمال باختری (ساختگاه معبد) است. این بنا دارای سه حصار می باشد و جایجایی در حصارهای دوم و سوم نشانگر عملکرد گسل های مورب لغز چپ بر و راست بر طی هولوسن در منطقه می باشد.

کلید واژه ها: چغازنبیل، تاقدیس سردارآباد، تکتونیک فعال، گسلش هولوسن.

Active tectonic study on Sardarabad anticline and its effects on Choqa Zanbil temple

Neda Baharvand, Dr. Mehran Arian, Mohammad Salar Tarkhani, Dr. Manochehr Qoreshi and Dr. Mohammad Hossein Talebian

Abstract

Choqa Zanbil is a historical district which located at $48^{\circ} 30'$ northern latitude and $32^{\circ} 00'$ eastern longitude at southwest of Iran, Khuzestan Province and southeast of ancient city of Shoush.

^۱ - کارشناسی ارشد تکتونیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سقز

^۲ - عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران - عهده دار مکاتبات

^۳ - عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سقز

^۴ - عضو هیات علمی پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی

^۵ - عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز

Choqa Zanbil temple which is the largest remained architecture record of Eilami Civilization was built on Sardar Abad Anticline at 3th century b.c. which located inside Folded Zagross Zone. Rock outcrops at the area are parts of Gachsaran, Mishan and Aghajari formations and Quaternary Bakhtiari Conglomerates and alluviums.

Low calculated SI values (10) in Valley of Dez River point to faulting process. During this activity, usually transversal faults caused to fragmentation of rocks, so rivers flow in subdued valleys.

High calculated SI values (50) on floppy rocks at southeastern part of the anticline show recent tectonic activities which are more stronger related to northwestern part of temple building.

Performed studies show second class "Relative Tectonic Activities" for the forehead of main mountains of the area, which demonstrated the temple didn't demolish by tectonic processes through time.

However, relocation in second and third enclosures of the temple points to the act of Quaternary dip-slip sinistral and dextral faults at the area.

Keywords: Choqa Zanbil, Sardar Abad Anticline, Active tectonic, Holocene faulting.

مقدمه:

ایران، استان خوزستان، جنوب شرقی شهر باستانی شوش در طول جغرافیایی $29^{\circ} 48'$ تا $31^{\circ} 01'$ و عرض جغرافیایی $58^{\circ} 31'$ تا $32^{\circ} 01'$ می باشد. معبد چغازنبیل بزرگترین اثر معماری شناخته شده تمدن عیلامی است که در قرن ۱۳ قبل از میلاد بر روی تاق‌دیس سردارآباد، در منطقه زاگرس چین‌خورده ساخته شده است. بلندی آغازین بنا ۵۲ متر و در ۵ طبقه ساخته شده است. ارتفاع امروزی آن ۲۵ متر و تنها ۲/۵ طبقه از آن باقی مانده است (سطح زیربنای آن ۲۵۰۰۰ متر مربع است).

مسیر دستیابی به چغازنبیل از طریق جاده اهواز به شوش است و مکان آن دقیقاً بین شوش و شوشتر در کنار رودخانه دز قرار دارد. این خود حکایت از این دارد که در زمان ایجاد بنا شهرهای شوش و شوشتر هر دو وجود داشته اند. فاصله این محوطه از شهرستان شوش حدود ۴۰ کیلومتر و از اهواز ۱۱۵ کیلومتر می باشد.

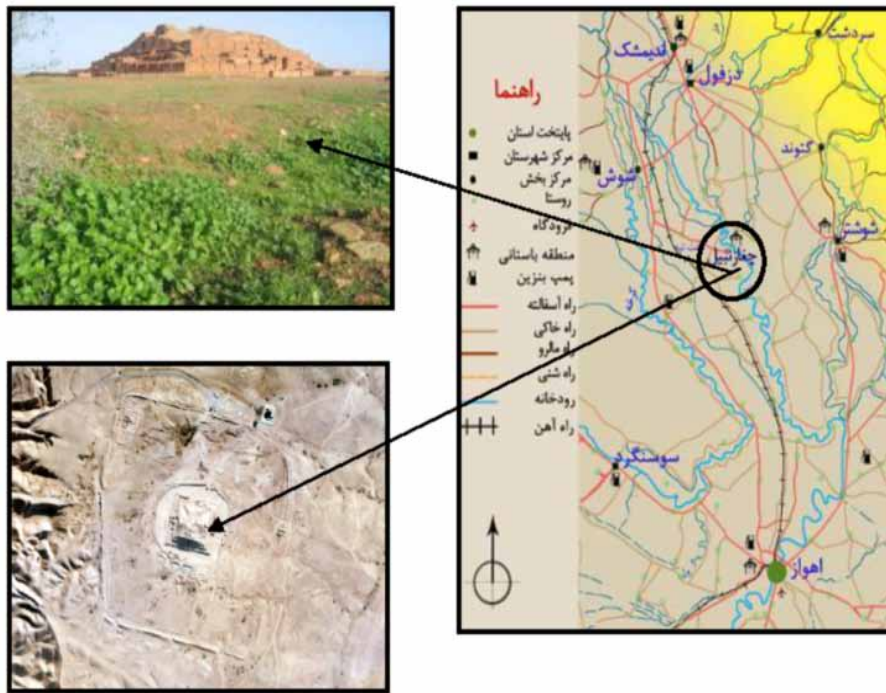
راه دسترسی به محوطه باستانی از طریق جاده اهواز-شوشتر بوده، که در کیلومتر ۱۱۵ آن جاده فرعی آسفالتی اختصاصی محوطه چغازنبیل به طول ۲۵ کیلومتر جهت دسترسی به سایت باستانی مهیا می‌باشد (شکل شماره ۱).

محوطه تاریخی چغازنبیل با دارا بودن آثار باستانی فراوان و به ویژه معبد مطبق عیلامی که از بزرگترین شاهکارهای این تمدن است دارای ارزشی ویژه در جهان است. حفظ چنین آثار و تحقیق در مورد چگونگی ماندگاری و حتی فرایندهای منجر به تخریب آن‌ها می‌تواند ما را در جهت نگهداری شایسته‌تر و پیشگیری از نابودی چنین گنجینه‌های ارزشمندی رهنمون سازد. در این بین شناخت و بررسی پدیده‌های زمین‌شناسی و علی‌الخصوص زمین‌ساختی نیز می‌تواند در بر دارنده نکاتی فراوان در مورد هوشمندی سازندگان بنا و توجه آنان به طبیعت اطراف، همچنین تشخیص اهمیت عوامل تاثیرگذار طبیعی یا انسانی بر ساختار آن باشد.

در این مقاله سعی شده تا بررسی جامعی بر روی زمین‌ساخت فعال تاق‌دیس سردارآباد که معبد چغازنبیل بر روی آن بنا گشته صورت گیرد تا مشخص گردد که آیا فعالیت‌های زمین‌ساختی عامل تخریب این بنا بوده‌اند یا خیر.

موقعیت جغرافیایی

چغازنبیل نام محوطه ای باستانی در جنوب غرب



شکل ۱: نمایی از معبد چغازنبیل و راه‌های دسترسی به آن.

با خواندن این کتیبه شناخت از شهری فراهم شد که توسط اونتاش-گال^۲، پادشاه عیلام ساخته شده بود بعدها کاوش‌های باستان‌شناسی بین سال‌های ۱۹۵۱ تا ۱۹۶۲ میلادی توسط رومن گیرشمن^۳ باستان‌شناس فرانسوی انجام شد که اطلاعات مفیدی را از دل خاک در مورد چغازنبیل بیرون کشید.

مجموعه تاریخی چغازنبیل در وسعتی حدود یکصد هکتار، بنا شده که از یک بنای مطبق مرکزی (زیگورات)، سه حصار جداگانه، بقایای ۱۲ معبد، محله شاهی، مخزن آب، آثاری از نگهداری و انبار مصالح ساختمانی خصوصاً گچ و قیر و آثار یک برج تشکیل شده است (شکل شماره ۲).

این شهر در سال ۶۴۰ پیش از میلاد توسط آشوربان پال، پادشاه آشور، تصرف و ویران شد. در سال ۱۹۷۹ چغازنبیل با شماره ۱۱۳ در فهرست جهانی یونسکو ثبت گردیده است (سایت Choqazanbil.com، گیرشمن، ۱۳۷۳).

تاریخچه و مشخصات مجموعه باستانی چغازنبیل

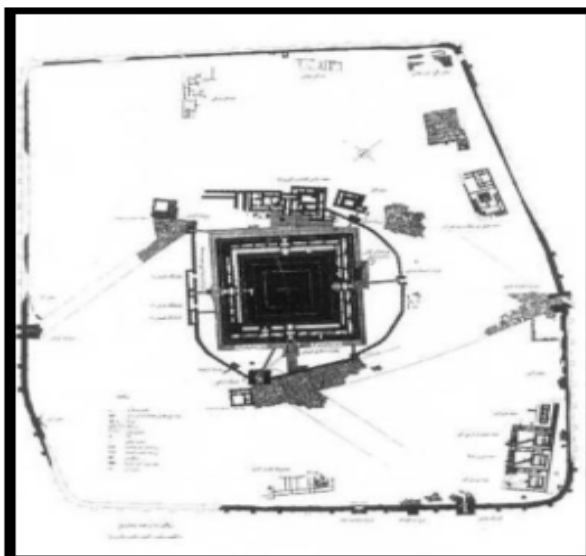
شهر باستانی دوراوتاش یا محوطه تاریخی چغازنبیل در قرن سیزده پیش از میلاد توسط ((اونتاش نپریشا)) همزمان با به حکومت رسیدن وی به عنوان پادشاه عیلام ساخته شده است.

در سال ۱۹۳۵ میلادی هنگامی که شرکت نفت ایران و انگلیس در حوالی رود دز به حفاری‌های نفتی مشغول بود، یکی از کارمندان نیوزیلندی شرکت به نام ((براون)) متوجه مجموعه‌ی عظیمی شبیه تپه شد که در مکانی مرتفع قرار گرفته بود. او از آن مجموعه که در زیر خاک مدفون بود آجری کتیبه‌دار پیدا کرد. در همان زمان یک گروه باستان‌شناس در فاصله‌ی ۳۵ کیلومتری در شوش به کاوش‌های باستان‌شناسی مشغول بود. براون آن آجر را نزد گروه برد تا شاید از راز آن تپه پرده بگشایند. این‌گونه بود که حفاری‌های نفتی، نام ذیقورات^۱ چغازنبیل را در اذهان زنده کرد.

^۱ - ((ذیقورات)) کلمه اکدی است به معنای بالا انداختن، که در بین النهرین و عیلام برای معابد مطبق استفاده شده است. به‌خاطر این‌که فرانسوی‌ها نمی‌توانند حرف (ق) را تلفظ کنند این کلمه را زیگورات خوانده‌اند.

^۲ - Untash-Gal

^۳ - Roman Girshman

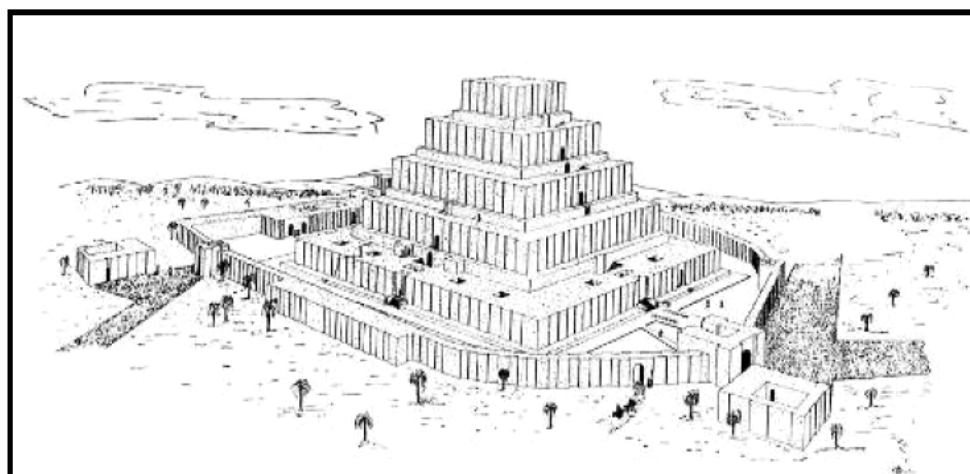


شکل ۲: مجموعه بناهای موجود در محوطه حصار داخلی محوطه چغازنبیل (برق‌دهنده، ۱۳۸۴)

زیگورات

زیگورات چغازنبیل دارای طرح مربعی شکل بوده که طول هر ضلع آن حدود ۱۰۵ متر است. مصالح اصلی در برپائی آن و همچنین بناهای این مجموعه خشت و آجر است. هسته مرکزی طبقات زیگورات تماماً از خشت تشکیل شده که با روکشی از آجر پوشانده شده است.

پلکان‌هایی مرکزی در چهار سوی بنا قرار داشته که به طبقه اول منتهی می‌شدند. برای صعود به طبقات بالاتر از پلکان ضلع جنوب غربی استفاده می‌شده. این زیگورات به دو تن از مهمترین خدایان عیلام یعنی اینشوشیناک و نریشا اهدا شده که معابد اصلی آن‌ها در بالای این بنا واقع بوده‌اند (برق‌دهنده، ۱۳۸۴) (شکل شماره ۳).



شکل ۳: طرح بازسازی شده زیگورات و حصار داخلی (گیرشمن، ۱۹۶۶- دید از جنوب)

کانال آب

با پشت سر گذاشتن زیگورات و صحن‌های اطراف آن، در بخش غربی شهر به ساختاری آجری می‌رسیم که احتمالاً برای دفع آب باران‌های سیل‌آسا ایجاد شده است. این ساختار آجری از نُه آبراه تشکیل شده که در زیر

حصار قرار داشتند و آب‌های زاید را از قسمت‌های درونی به خارج هدایت می‌کردند. تمام این ساختار از آجر با ملات قیر و گچ ساخته شده تا در برابر آب مقاوم باشد (سایت Choqazanbil.com) (شکل شماره ۴).



شکل ۴: تصاویری از مجاری ورود و خروج آب

زمین شناسی محوطه تاریخی چغازنبیل

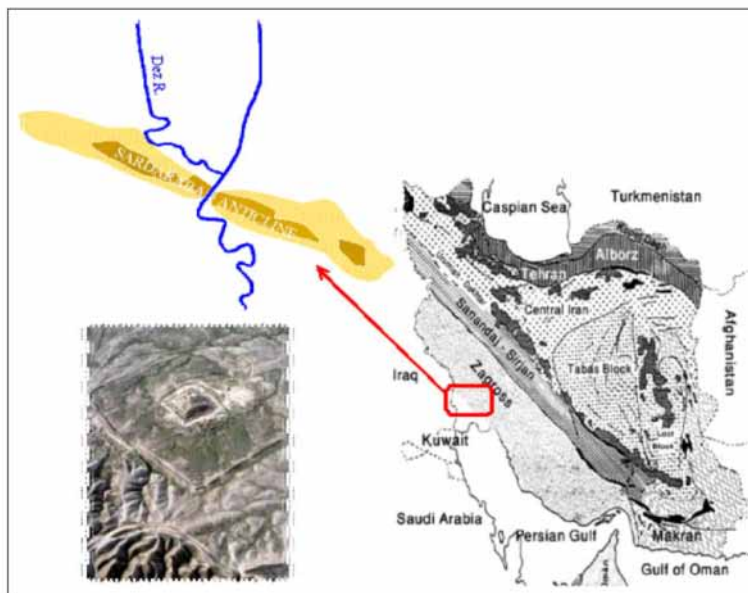
از نظر زمین شناسی، چغازنبیل در بخش کوچکی از پهنه ساختاری زاگرس چین خورده قرار دارد که بر روی تاقدیس سردارآباد قرار گرفته است (شکل شماره ۵). این تاقدیس در ادامه صفحه عربستان در دشت خوزستان از زون زاگرس در امتداد چین خوردگی پهنه ساختاری زاگرس قرار دارد و باروند شمال غربی - جنوب شرقی (در امتداد زون چین خورده زاگرس) می باشد. از شاخص های بنای چغازنبیل ساخت آن بر روی بلندترین نقطه ارتفاعی در این دشت آبرفتی (بر روی تاقدیس) می باشد که به جهت حفاظت از گزند آسیب ها و بلایای طبیعی بوده است. پس از فاز کوهزایی پاسادین (حدود دو میلیون سال پیش)، شکل نهایی و فعلی این منطقه بوجود آمده و

هنوز در حال تکامل است که شدت آن بسیار کم بوده و می توان آنرا به یک منطقه آرام زمین ساختی تشبیه کرد. در طی کواترنری به علت فرم فرسا بودن و شرایط خاص اقلیمی منطقه، همواره عوامل فراوان و موثری در فرسایش این ناحیه تاثیر گذار بوده اند. رودخانه دز و سیلابهای آن، حتی بر روی بنای چغازنبیل نیز تاثیر گذاشته است. ساختارها و سازندهای زمین شناسی تشکیل دهنده این ناحیه، شامل تناوب های مارن و ماسه سنگ سازند آغاچاری و بخش لهری و کنگلومرای بختیاری می باشد. در لایه های زیرین سازندهای میشان و گچساران نیز در شکل گیری این تاقدیس نقش داشته اند. از مجموع سازندهای این تاقدیس، فقط بخشی از سازند آغاچاری و همچنین بخشی از عضو لهری در محدوده مورد مطالعه

اشاره کرد. همچنین لیتولوژی سنگ‌های رسوبی (خشکی، دریایی و تبخیری) را می‌توان نام برد (درویش زاده، ۱۳۸۰).

رخنمون دارند (شکل شماره ۶).

از ویژگی‌های زاگرس چین‌خورده در این منطقه می‌توان به روند شمال‌باختری- جنوب‌خاوری و چین‌های موج‌سانی در یک ساختار تاقدیسی (تاقدیس سردارآباد)



شکل ۵: موقعیت زمین‌شناسی تاقدیس سردارآباد.

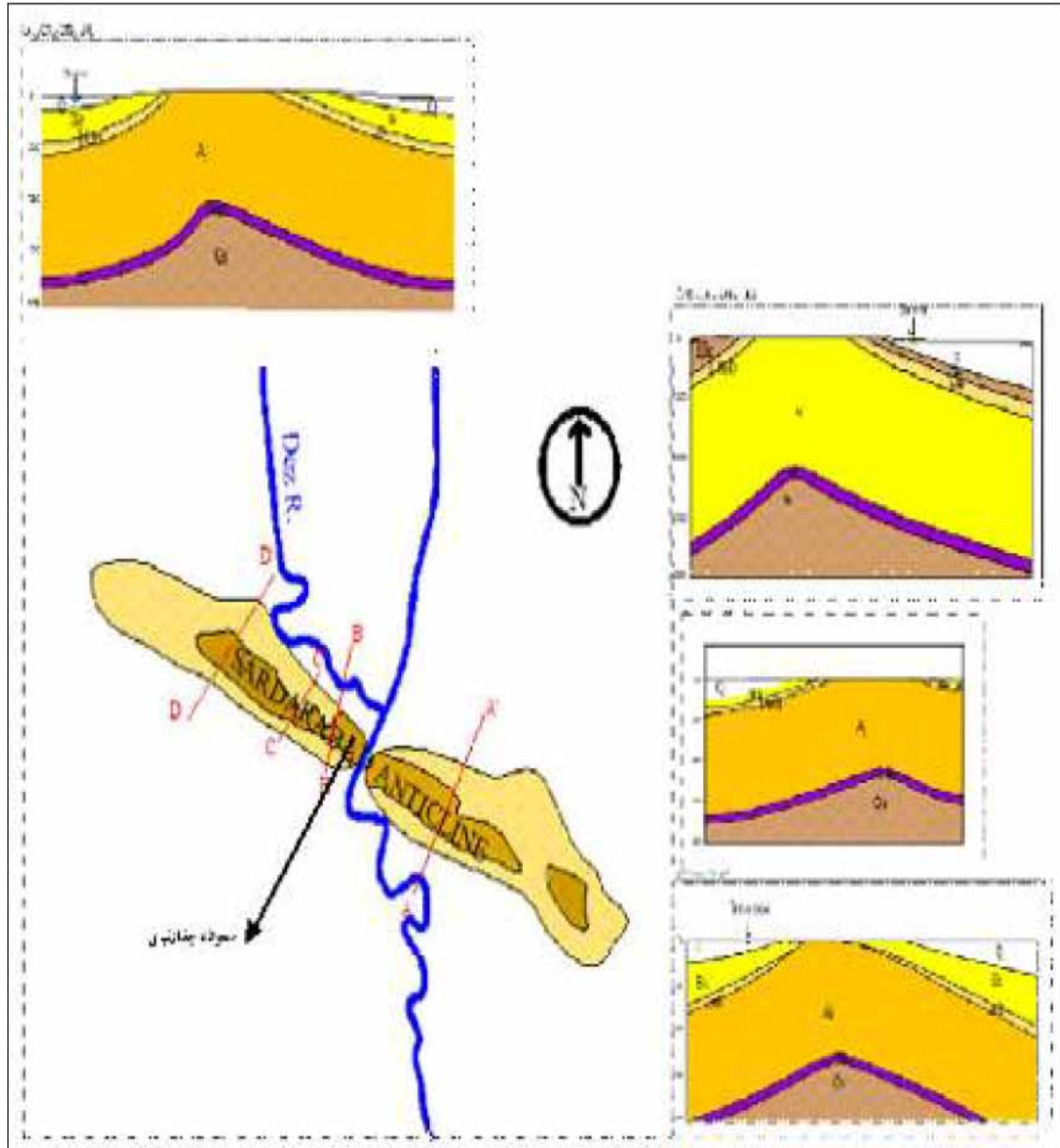


شکل ۶: نماهایی از سازندهای آغاچاری و بختیاری که در منطقه مورد مطالعه رخنمون دارند.

ساختارهای زمین‌شناسی و گسلش در لایه‌های زیرین رسم شده‌اند (براساس نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شوشتر، ملاثانی، سوسنگرد و دزفول، شرکت ملی نفت ایران) (شکل شماره ۷) نمایی از لایه‌های زیرین و عدم گسلش را در این تاقدیس نشان می‌دهد.

تاقدیس سردارآباد

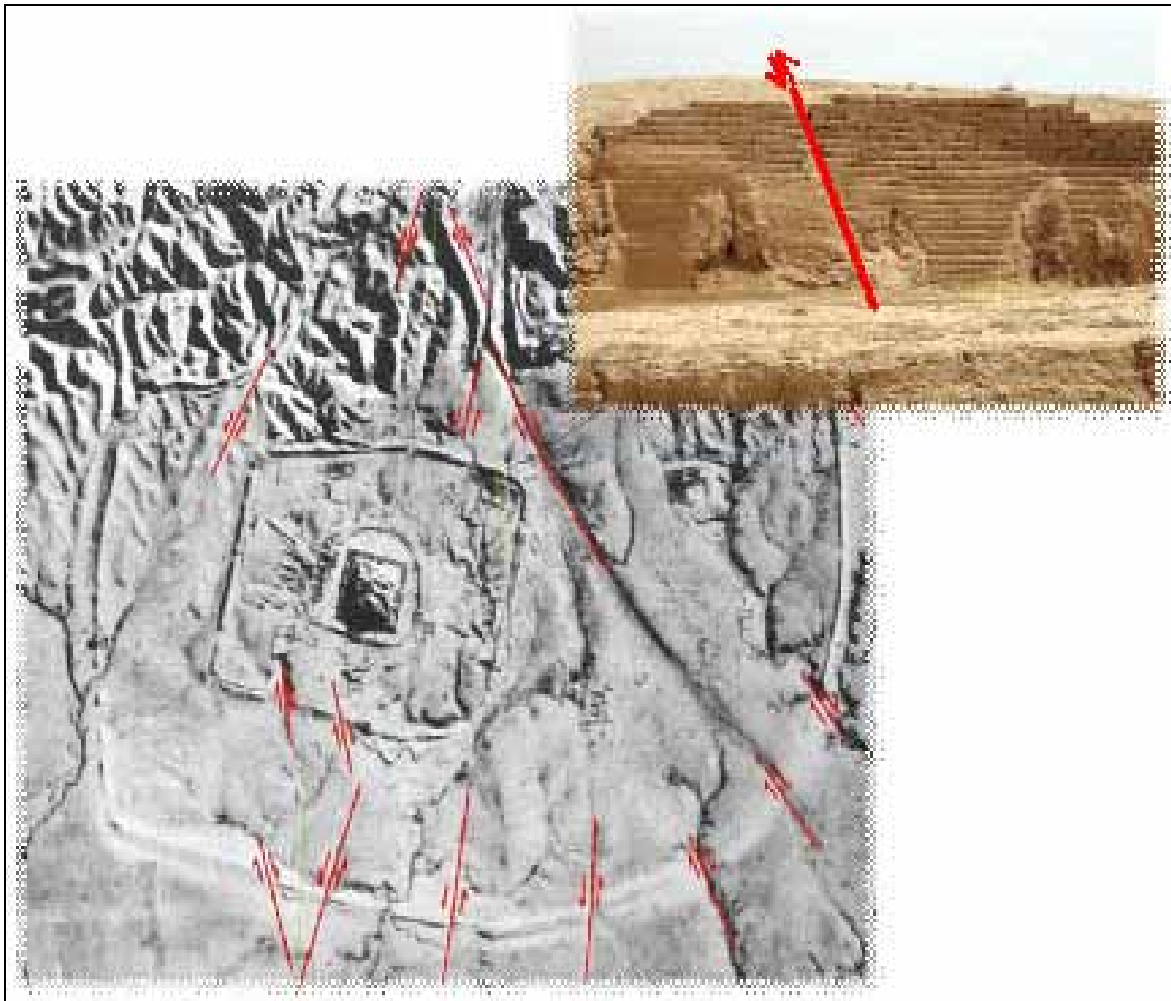
این تاقدیس با طول ۱۳۷۵۰ متر و عرض ۱۵۰۰ متر و با راستای شمال‌غربی- جنوب‌شرقی در جنوب‌غربی هفت‌تپه قرار دارد. چهار نیم‌رخ زمین‌شناسی از این تاقدیس ترسیم شده است. این نیم‌رخ‌ها جهت تعیین



شکل ۷: نیمرخ‌های زمین‌شناسی تهیه شده از تاق‌دیس سردارآباد، خطوط قرمز جهت نیمرخ‌های ترسیم شده هستند. معبد چغازنبیل در مرکز تاق‌دیس و نزدیک رود دز واقع شده است

نیمساز گسل‌های مورب‌لغز چپ‌پر و راست‌پر موجود در یال شمال‌شرقی تاق‌دیس سردارآباد، امتداد $N40E$ برای تنش اصلی حداکثر ناحیه‌ای (δ_1) بدست آمد.

در بررسی‌های صحرایی و همچنین در تصاویر هوایی گسل‌هایی متعدد مشاهده گشت که در شکل شماره ۸ برخی از آن‌ها مشخص شده‌اند. با اندازه‌گیری آزمون



شکل ۸: گسل‌های مورب لغز چببر و راست‌بر در حصار دوم و سوم چغازنبیل (عکس از کمودور فریمن-کتاب چغازنبیل، جلد اول).

تشخیص سطح فعالیت‌های زمین‌ساختی

مورفومتری به اندازه‌گیری کمی شکل چشم اندازه‌های زمین‌ساختی (مجموعه‌ای از عوارض) اطلاق شده است. در ساده‌ترین سطح، عوارض می‌توانند بر اساس اندازه، ارتفاع (حد اکثر، حداقل یا میانگین) و شیب مشخص شوند. اندازه‌گیری‌های کمی به ژئومورفولوژیست‌ها اجازه مقایسه واقعی عوارض را می‌دهد و سبب محاسبه پارامترهای ساده‌ای (شاخص‌های ژئومورفیک) می‌شود که می‌توانند برای شناسایی ویژگی‌های خاص یک ناحیه نظیر سطح فعالیت زمین‌ساختی مفید باشد.

برخی از شاخص‌های ژئومورفیک، ابزارهای مقدماتی و پایه برای تشخیص نواحی دچار دگرشکلی زمین‌ساختی سریع می‌باشند. این اطلاعات که از بررسی نقشه‌ها حاصل می‌شوند، اطلاعات دقیقی را از زمین

ساخت فعال در اختیار ما قرار می‌دهند. سایر شاخص‌ها برای توصیف کمی چشم اندازه‌های زمین‌ساختی هستند. به‌طور کلی شاخص‌های ژئومورفیک در بررسی‌ها مفید هستند زیرا می‌توانند برای ارزیابی سریع مناطق وسیع بکار گرفته شوند و داده‌های ضروری آن اغلب به سرعت از نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی به دست می‌آید.

کاربردترین شاخص‌های ژئومورفیک در مطالعات زمین‌ساخت فعال عبارتند از (Keller and Pinter, 1996):

- انتگرال ارتفاع سنجی
- عدم تقارن حوضه زهکشی
- شاخص طول-گرادیان رود

$$SI = \left(\frac{\Delta H}{\Delta l} \right) \times L$$

مهمی به شمار می آید، زیرا به توانایی رود برای فرسایش کف و انتقال رسوب وابسته می باشد. قدرت کلی یا مفید رودخانه با شیب کانال مرتبط است و همچنین در آنجا تطابق خوبی بین طول کلی کانال بالادست و تخلیه کامل (تخلیه لازم جهت پر کردن یک کانال) برقرار است که به نظر می رسد در تشکیل و حفظ رودها مهم باشد (Keller and Pinter, 1996).

شاخص SI به تغییرات شیب کانال بسیار حساس است و این حساسیت سبب ارزیابی روابط زمین ساختی ممکن، مقاومت سنگ و توپوگرافی می شود (بر اساس نقشه های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ شهرک شهید چمران، عبدل خان، مزرعه و هفت تپه، سازمان جغرافیایی ارتش).

• سینوسیته پیشانی کوهستان

$$S_{mf} = \frac{L_{mf}}{L_s}$$

• نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره

$$V_f = 2V_{fw} / [(E_{ld} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})]$$

شاخص طول-گرادیان رود

شاخص طول-گرادیان رود یا SI^۱ برای یک محدوده مورد نظر به صورت ذیل تعریف می شود:

$$SI = \left(\frac{\Delta H}{\Delta L} \right) \times L$$

شاخص SI با قدرت رود متناسب است. کل قدرت مفید رود در یک بخش خاص از کانال، متغیر آب شناسی

جدول شماره ۱: مقادیر SI محاسبه شده بر روی تاقدیس سردارآباد

ΔH	$\Delta L(\text{mm})$	L(mm)	SI	ΔH	$\Delta L(\text{mm})$	L(mm)	SI
10	16	40	25	10	10	44	44
10	88	88	11.7	10	24	40	16.66
10	36	21	5.83	10	8	23	28.75
10	20	12	6	10	20	85	42.5
10	56	48	8.57	10	28	15	5.35
10	25	18	7.2	10	14	36	25.71
10	24	38	15.83	10	9	47	52.22
10	17	50	31.25	10	30	58	13.33
10	46	155	33.96	10	10	15	25
10	24	45	18.75	10	32	45	15
10	5	62	124	10	24	85	35.41
10	32	84	26.25	10	28	54	13.28
10	68	48	7.05	10	12	32	26.6
10	62	113	18.22	10	4	3	7.5
10	28	155	55.35	10	4	7	17.5
10	6	15	25	10	6	12	20
10	8	22	27.5	10	14	24	10
10	31	21	6.77	10	14	28	20
10	17	10	5.88	10	30	50	16.66
10	28	25	8.92	10	14	37	26.42
10	16	29	18.12				

الف) دره رودخانه دز که دارای مقادیر SI پایین (۱۰) است و این به دلیل وجود گسلش عرضی در آن می باشد، زیرا در اثر کارکرد این گونه گسلها، غالباً سنگها خرد شده و رودها در دره های کم شیب تر جریان می یابند.

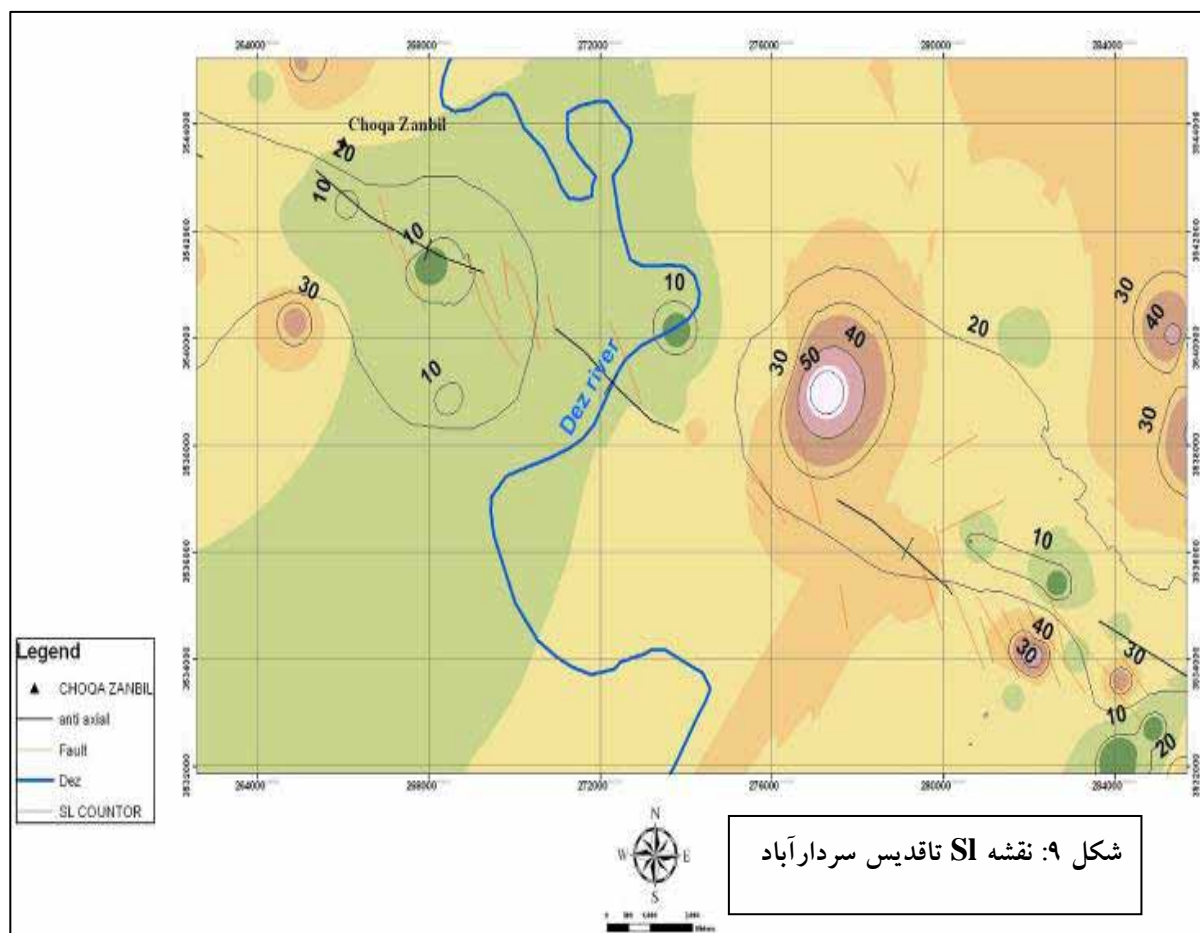
ب) بخش جنوب خاوری تاقدیس که در آن مقادیر SI بالا (۵۰) بر روی سنگهای نرم نشانگر فعالیت زمین ساختی اخیر نسبتاً بیشتر این بخش (به صورت

شکل شماره ۹ دو ناحیه دارای ناهنجاری اصلی مشخص می گردد.

^۱ - SI شاخص طول-گرادیان رود شیب کانال یا گرادیان محدوده مورد نظر (ΔH) نشانگر تغییر ارتفاع کانال و ΔL معرف طول آن است. L نیز طول کل کانال از نقطه مورد نظری است که شاخص تا مرتفع ترین نقطه آن محاسبه می شود.

Smf سینوسیته پیشانی کوهستان، Lmf طول پیشانی کوهستان در طول کوهپایه و انحناهای مشخص در دامنه آن و Ls طول خط مستقیم پیشانی کوهستان است (Keller and Pinter, 1996).

بالآمدگی) نسبت به بخش شمال باختری (ساختگاه معبد) است. سینوسیته پیشانی کوهستان سینوسیته پیشانی کوهستان به صورت ذیل تعریف شده است:



جدول ۲: مقادیر محاسبه شده سینوسیته تاقدیس سردارآباد از روی نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰

پیشانی	Ls	Lmf	Smf
طول مستقیم یال شمالی	۷۸/۵	۹۴	۱/۱۹۷
طول مستقیم یال شمالی	۸۴	۷۳/۳	۱/۱۴۵

Vfw پهنای کف دره

Eld و Erd ارتفاع دیواره های چپ و راست دره نسبت به هم Esc ارتفاع کف دره است.

نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره

نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن Vfw، به صورت ذیل بیان شده است (Keller and Pinter, 1996):

$$Vf = 2Vfw / [(Eld - Esc) + (Erd - Esc)]$$

Vf نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن

جدول ۳: مقادیر Vf تاقدیس سردارآباد

Vf	Vfw(m)	Erd(m)	Eld(m)	Esc(m)	پیشانی کوهستانی	ردیف
۱۳.۱۵۷	۲۵۰	۷۰	۶۸	۵۰	A	۱
۷.۸۹۴	۱۵۰	۷۴	۶۴	۵۰	B	۲

رده بندی فعالیت زمین ساختی نسبی

هنگامی که کل اطلاعات پیشانی های کوهستانی و شاخص های SI ترکیب شوند، می توان یک رده از فعالیت زمین ساختی نسبی را به آن نسبت داد که این رده ها به صورت زیرند:

- پیشانی های کوهستانی که بیشترین فعالیت های زمین ساختی را دارا هستند، در رده ۱ قرار می گیرند. این پیشانیها به طور نمونه دارای مقادیر پایین Smf، Vf و شاخص های SL زیاد هستند.
- رده ۲ پیشانی های کوهستانی، به فعالیت زمین ساختی کمتری مربوط می شود و مقادیر Vf و Smf بزرگتر و SL کوچکتری نشان می دهند.
- رده ۳ پیشانیهای کوهستانی نیز دچار زمین ساخت فعال هستند ولی شاخص های ژئومورفیک، فعالیت کمتری را نسبت به رده ۲ نشان می دهند.

• پیشانی های کوهستانی مشخص شده به وسیله فعالیت زمین ساختی ناچیز یا آنهایی که هم اکنون غیر فعال هستند، در رده ۴ یا ۵ قرار می گیرند (Keller and Pinter, 1996):

همان گونه که در جدول شماره ۴ ملاحظه می گردد، بر اساس بررسی های انجام شده، فعالیت زمین ساختی منطقه مورد مطالعه در رده ۲ واقع می شود. سینوسیته رودخانه دز نیز که بر اساس نسبت طول کانال ($c=137/25 km$) و طول دره ($v=71/25 km$) سنجیده می شود، $1/92$ محاسبه گردید. به بیان دیگر تغییر شکل های تکتونیکی، سبب تغییر شیب دره رودخانه می گردند و این موضوع به نوبه خود سبب افزایش مقدار سینوسیته به مقدار کنونی گردیده است.

جدول ۴: رده بندی فعالیت زمین ساختی نسبی.

نام پیشانی کوهستانی	نوع پیشانی	جهت پیشانی	طول پیشانی (km)	بیشترین ارتفاع (m)	سینوسیته پیشانی کوهستان Smf	نسبت پهنای کف دره به ارتفاع Vf	کلاس فعالیت زمین ساختی
یال شمالی تاقدیس سردارآباد	چین خورده	NE-SW	۴۴	۵۰	۱/۱۴۵	۱۰/۵	۲
یال جنوبی تاقدیس سردارآباد	چین خورده	NE-SW	۳۹.۲۵	۶۰	۱/۱۹۷	۱۰/۵	۲

لرزه خیزی

دوره بازگشت زمین لرزه

دوره بازگشت زمین لرزه با در نظر گرفتن میزان پذیرش خطر در طول عمر مفید سازه حساب می شود. میزان پذیرش خطر تابع اهمیت اقتصادی، اجتماعی و سیاسی

سازه است. این درصد خطر برای سطوح گوناگون طراحی متفاوت است. در منطقه مورد مطالعه، سطح بالای طراحی^۱ (M.D.L) لحاظ شده است. در این سطح لرزه ای، احتمال رویداد در زمین لرزه در طول عمر مفید

^۱ -Maximum Designing Level.

M	N	LOG(N)	LN(N)	LN(N')
4	437	2.640481	6.079933	10.5498
4.5	242	2.383815	5.488938	11.1408
5	72	1.857332	4.276666	12.3531
5.5	15	1.176091	2.70805	13.9217
6	4	0.60206	1.386294	15.2434
6.5	1	0	0	16.6297
7	0	0	0	0

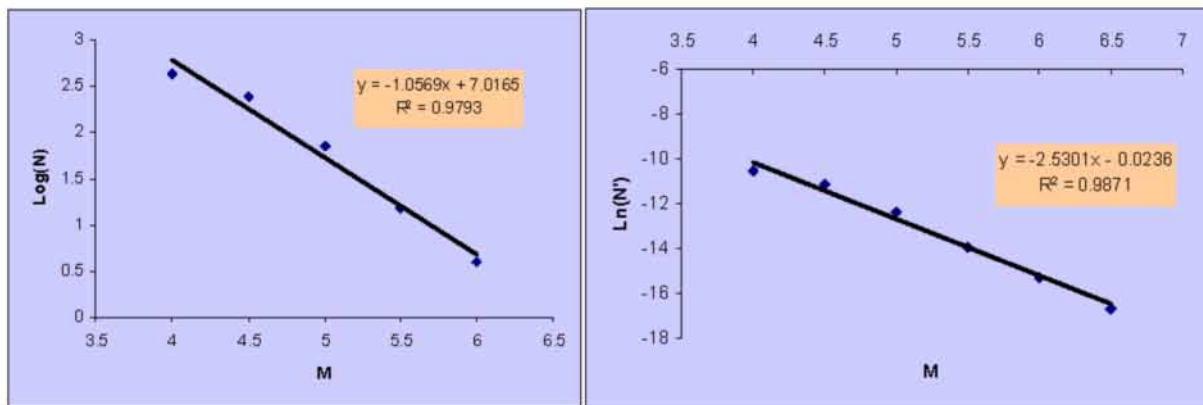
جدول ۵: بزرگی و فراوانی زمین‌لرزه‌های رخ داده در منطقه مورد مطالعه

۵۰ سال با درصد پذیرش خطر ۱۰ درصد می‌باشد. در فرمول زیر TR مدت زمان لازم برای بازگشت زمین لرزه است (Keller and Pinter, 1996).

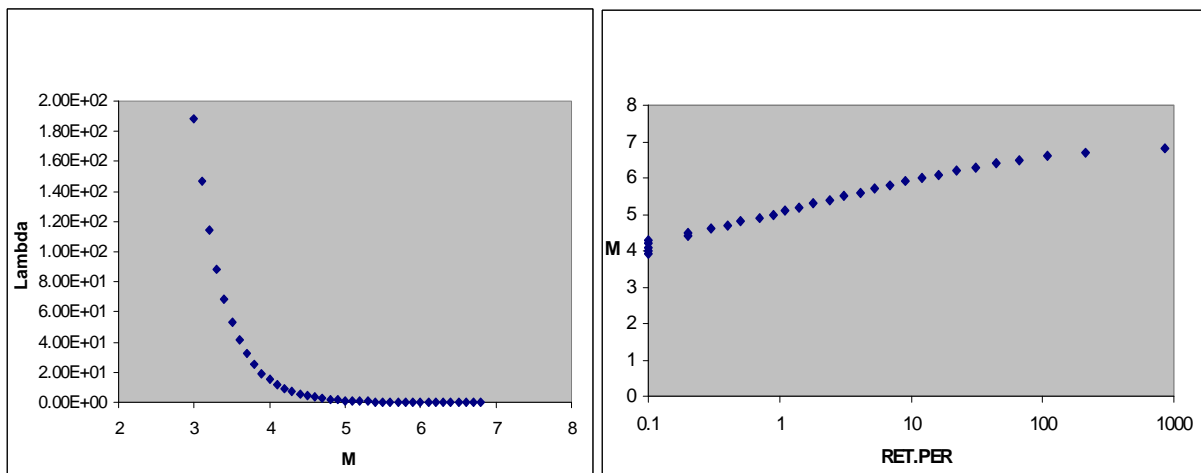
$$T_R = \frac{1}{1 - (1 - q)^{1/n}} = \frac{1}{1 - (1 - 1/10)^{1/50}} = 476$$

شکل شماره ۱۲ نقشه پراکندگی رومرکز داده‌های لرزه‌ای در در محدوده اطراف معبد در فاصله طول‌های جغرافیایی ۴۸° تا ۵۰° و عرض‌های جغرافیایی ۳۰° تا ۳۱° را با بزرگی‌های متفاوت نشان می‌دهد.

شکل ۱۰: داده‌ها و رابطه فراوانی - بزرگی

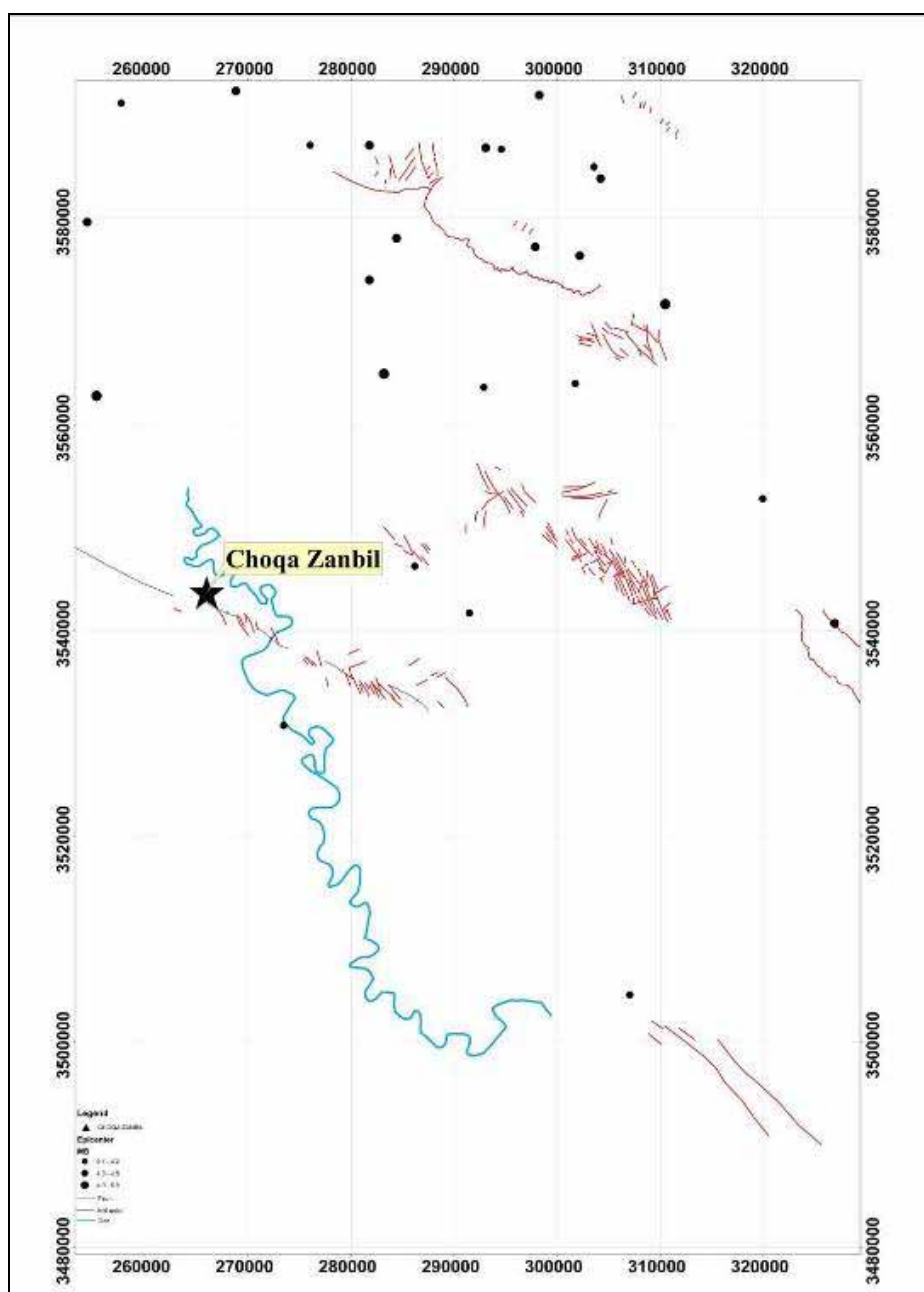


شکل ۱۱: نرخ فعالیت‌های لرزه‌ای و دوره بازگشت



جدول ۶: پارامترهای لرزه‌خیزی محاسبه شده با استفاده از نرم افزار Kijko.

Ln		Log		نرم افزار (Kijko)	
β (نرمال شده)	α (نرمال شده)	b (گوتنبرگ)	a (گوتنبرگ)	β (kijko)	Lambda (kijko) for M=4
۲.۵۴	۰.۰۲	۱.۱۰	۷.۰۱	۲.۵۴	۱۵.۵۹



شکل ۱۲: نقشه رومرکز داده‌های لرزه‌های منطقه مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

۳- بر اساس تعیین پارامترهای لرزه خیزی منطقه مورد مطالعه (منطقه چغازنبیل) به عنوان بخشی از یک منطقه دارای لرزه‌خیزی ضعیف می‌باشد.

۴- با توجه به مطالعات صحرائی و بررسی عکس‌های هوایی و مطالعات انجام شده در این مقاله مشخص گردید که فرآیندهای زمین‌ساختی عامل اصلی تخریب معبد نبوده‌اند.

۱- وجود گسل‌های مورب لغز چپ‌بر و راست‌بر که سبب جابه‌جایی حصارهای دوم و سوم شده‌اند، نشانگر فعالیت‌های تکتونیکی ضعیف هولوسن در منطقه می‌باشند.

۲- شاخص‌های زمین‌ساختی نشانگر وجود زمین‌ساخت فعال در منطقه است و نیمه جنوبی شرقی فعالیت از نیمه شمال غربی آن است.

پیشنهادات

- انجام بررسی‌های لرزه‌شناسی دیرینه بر روی گسل‌های موجود به منظور تعیین سن دقیق رخدادها.
- انجام بررسی‌های رادیوایزوتوپی بر روی پادگانه‌های آبرفتی رودخانه دز در محدوده تاقدیس سردارآباد به منظور تعیین نرخ بالآمدگی آن.

منابع

- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۸۴): شهرک شهید چمران، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰
- شرکت ملی نفت ایران (۱۹۶۷): دزفول، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰
- شرکت ملی نفت ایران (۱۹۶۷): شوشتر، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰
- شرکت ملی نفت ایران (۱۹۶۷): ملاتانی، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰
- شرکت ملی نفت ایران (۱۹۶۷): سوسنگرد، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰
- گیرشمن، ر.، چغازنبیل (دور-اوتاش) (۱۳۷۳)، جلد اول (زیگورات)، وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، ۳۳۸ صفحه
- Keller, E. A., Pinter, N., (1996): Active Tectonics: Earthquakes, uplift and landscape, Prentice – Hall Inc. New Jersey.
- www.choghazanbil.com
- www.21mehr.com
- www.urwaterloo.ca.com
- برق‌دهنده، ع.ر.، (۱۳۸۴)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، بررسی راهکارهای دستیابی به حفاظت موثر در محوطه‌های باستان‌شناسی
- درویش‌زاده، ع.، (۱۳۸۰)، زمین‌شناسی ایران، موسسه انتشارات امیرکبیر، ۹۰۱ صفحه
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۸۴): مزرعه، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۸۴) هفت‌تپه، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۸۴): عبدالخان، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰