



به خداوند جان و خرد

نوزمینساخت، جنبش گسلی و چین خوردگی جنباً در پهنه سد گذار لندر

آرش برجسته

عضو هیئت علمی - صنعتی وزارت نیرو - سازمان آب و برق خوزستان - اهواز

شهریور ۱۴۰۱

مقدمه :

جنبش های نوزمینساختی در پی و دریاچه سدها یکی از خطراتی است که می تواند به آسیب های گسترده سازه ای در سد و سازه های وابسته آن از دیدگاه ایمنی و پایداری سدها بیانجامد. اهمیت بررسی های نوزمینساختی هم از دیدگاه طراحی فراسنج های لرزه ای (ICOLD, 1988, 1989a) و هم از دیدگاه بررسی ایمنی و پیش بینی پایداری سد (ICOLD, 1989b, 1999) و سازه های وابسته چشمگیر است. برآورد زمان یک فرایند نوزمینساختی سخت ترین بخش از مطالعات زمینساختی است. در این نوشتار نوزمینساخت و دگرریختی جنبا در پهنه پیرامون سد خاکی گذار لندر (مسجدسلیمان) در استان خوزستان با توجه به جایگاه آن در پرتکاپوترین پهنه لرزه زمینساختی کشور و مشکلات پیش آمده برای سد در دوره بهره برداری، پرداخته می شود. شواهد جنبایی نوزمینساختی در محدوده ساختگاه سد و پیرامون آن با توجه به جایگیری آن در میان دو گسل جنبای لهبری و اندکا (اندیکا) نشان دهنده نقش این دو گسل در رفتار کنونی سد و دگرریختی جنبا در سازندهای زیر ساختگاه و پیرامون سد است.

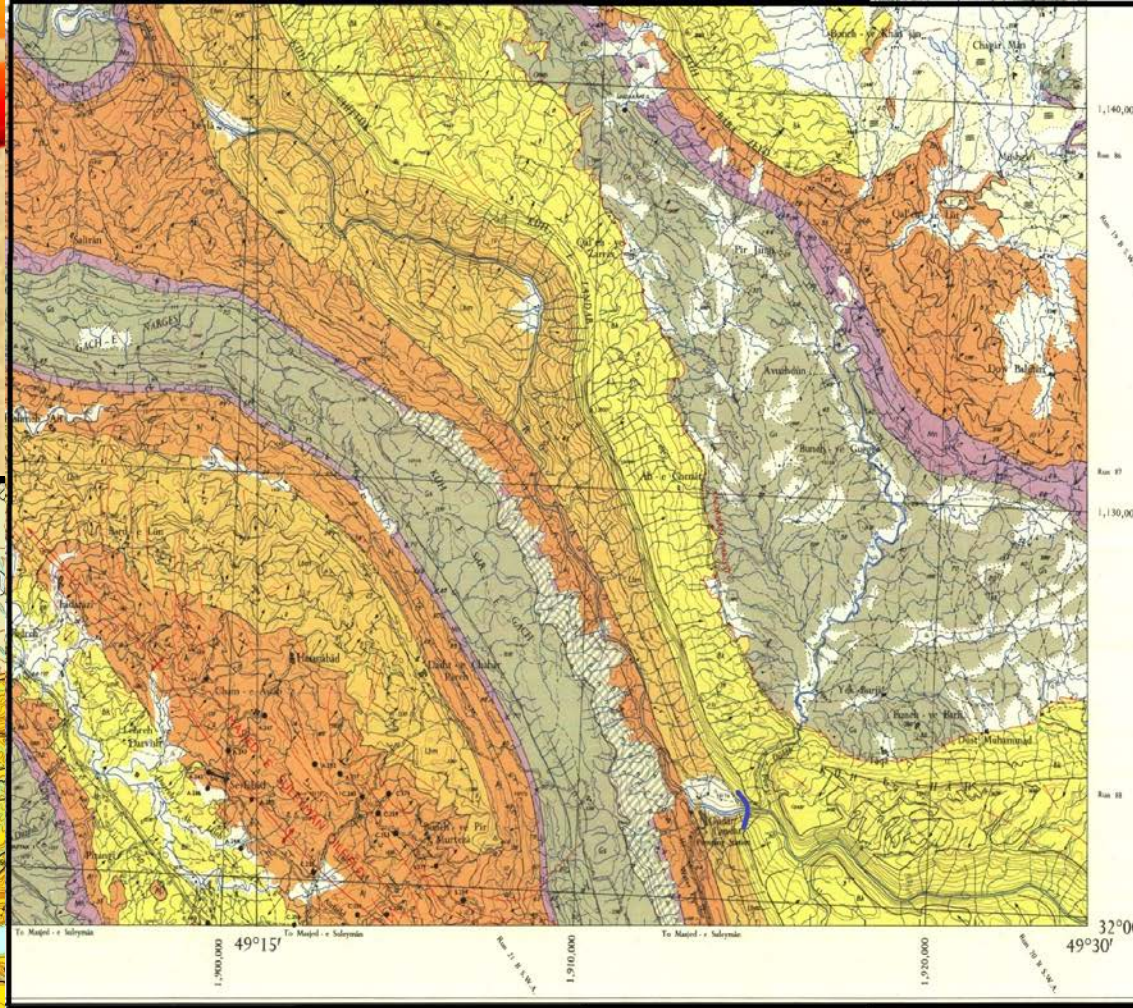
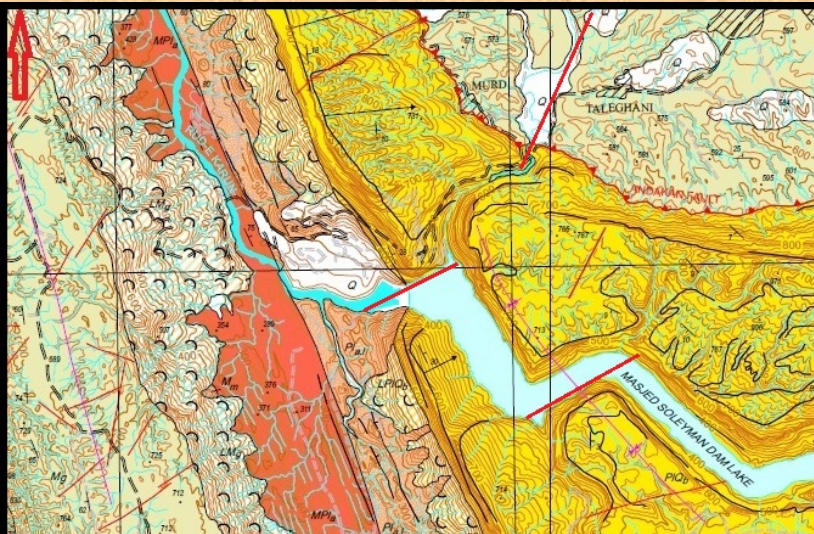
سد گذار لندر (مسجدسلیمان) از نوع سنگریزه ای با هسته رسی قائم و با بلندای ۱۷۷ متر، پهنای تاج ۱۵ متر و طول تاج ۴۹۷ متر بر روی رودخانه کارون ساخته شده است. این سد در حدود ۱۴ کیلومتری شهرستان مسجدسلیمان و ۲۶ کیلومتری پایین دست سد کارون ۱ (شهید عباسپور) جای دارد.

مقدمه :

پهنه سد و نیروگاه گذار لندر (مسجد سلیمان) با توپوگرافی ناهموار و فرازای ۲۰۰ تا ۱۳۰۰ متر از تراز دریا در منطقه کوهستانی زاگرس جای دارد. کوه شور با راستای شمال باختری- جنوب خاوری که بیشتر از سازند بختیاری درست شده است پهنه مورد بررسی را فراگرفته است. این برونزد با تغییر روند کم و بیش خاوری-باختری به سوی جنوب خاوری منطقه همراه است که شواهد ریخت زمینساختی (پرتگاه گسلی، راستای خطی رودخانه کارون و تفاوت ریخت شناسی دو سوی دره نسبت به هم) بیانگر نقش گسلش در این تغییر روند است. ساختگاه سد بر روی رودخانه کارون و تفاوت ریخت شناسی دو سوی دره نسبت به هم) بیانگر نقش گسلش در این تغییر روند است. ساختگاه سد بر روی رودخانه کارون و در بالادست روستای گذار لندر (برش نمونه سازند بختیاری) جای دارد. در پهنه پیرامونی سد، سازند های نئوژن (سازند های گچساران، میشان، آغاچاری و بختیاری) رخنمون دارند. پی سد بر روی سازند آغاچاری (بخش لهبری) ساخته شده است ولی بخش های بالایی تکیه گاه های سد با دگرشیبی بارزی با سازند بختیاری جایگزین می شود. سازند آغاچاری بیشتر از فروش سنگ های سرخ تا قهوه ای رنگ و ماسه سنگ های ریز دانه با دانه های پراکنده ژئوس درست شده و در پایین دست ساختگاه سد رخنمون یافته است. سازند بختیاری در دو تکیه گاه با ویژگی های رسوب شناختی و ساختاری متفاوت دیده می شود و گمان می رود سن های گوناگونی داشته باشند (Fakhari et al., 2008).

واحد	مقدار	عنوان
متر بالاتر از سطح دریا	۳۸۲	تراز تاج
متر	۱۷۷	ارتفاع سد از روی پی
متر	۴۹۷	طول تاج
-	۲/۸	نسبت طول تاج به ارتفاع سد
متر	۷۸۰	عرض سد در تراز پی
متر	۱۵	عرض تاج
متر بالاتر از سطح دریا	۳۷۲	تراز آب بیشینه نرمال
متر بالاتر از سطح دریا	۳۸۰	بیشینه تراز سیلاب
میلیون مترمکعب	۲۲۸	ظرفیت کل مخزن





Quaternary	□	Alluvium and Recent Deposits	
	■	Sub-Recent Conglomerates	
U. Pliocene	■	Bakhtyari Formation	
Pliocene	■	Lahbari Member	
	■	Agha Jari Formation	
Miocene	■	Mishan Formation	
	■	Gachsaran Formation	
Oligocene	■	Asmari Formation	Asmari - Shabban Fms. in N.E.
	■	Pabdeh Formation	
	■	Shabban Fm	
Eocene - Paleocene	■	Taleh Zang Formation	
	■	Amiran Formation	
U. Cretaceous	■	Pabdeh - Garpi Formations	
	■	Ilam - Servak Formations	
I. Cretaceous	■	Kashdani Formation	
	■	Dariyan Formation	

IRANIAN OIL OPERATING COMPANIES	
GEOLOGICAL AND EXPLORATION DIVISION	TEHRAN
LĀLĪ	
GEOLOGICAL COMPILATION MAP	
1 : 100,000	
Authors : J.T. O'B. Ferry	Date : January 1967
A. Setudehnia	Drawing No. 25471 W
Topo Base Sheet No. 20821 W	Printed by Offsets Press Inc., Tehran - Iran



GEOLOGICAL LEGEND		
Quaternary	Q	Alluvium and Recent Deposits
	PIQ _b	Bakhtyari Formation
Pliocene	PI _{a1}	Lahbari Member (PI _{a1})
	MPI _a	Agha Jari Formation (MPI _a)
	MPI _a -M _r	Agha Jari - Razak Formations (MPI _a -M _r)
Miocene	M _m	Mishan Formation (M _m)
	M _g	Gachsaran Formation (M _g)
	MPI _a -M _r	



مقدمه :

سازند بختیاری در تکیه گاه چپ سد را می توان به ۱۰ واحد سنگی کوچکتر بخش بندی نمود که ۸ بخش پایینی آن به صورت هم شیب بر روی بخش لهبری سازند آغاچاری جای گرفته اند (شکل ۲۳). جنس این رخنمون از تناوب لای سنگ، فورش سنگ، ماسه سنگ و کنگلومرا است. آثار گسلش درون سازندی در سازند آغاچاری در بخش های پایین دست تکیه گاه چپ سد دیده می شود (شکل ۳). میان لایه های دو بخش بالایی سازند بختیاری از کنگلومرای ستبر درست شده است. تکیه گاه راست سد از سازند آغاچاری و کنگلومرای ستبر سازند بختیاری که با دگرشیبی بروی آن جای گرفته، درست شده است که با تغییر بارز در شیب توپوگرافی و ریخت شناختی دره همراه است. تفاوت بارز سنگ شناختی و ساختاری سازند بختیاری در دو تکیه گاه از عوامل تفاوت رفتار ژئومکانیکی پی و تکیه گاه های سد انگاشته می شود (Barjasteh 2022).

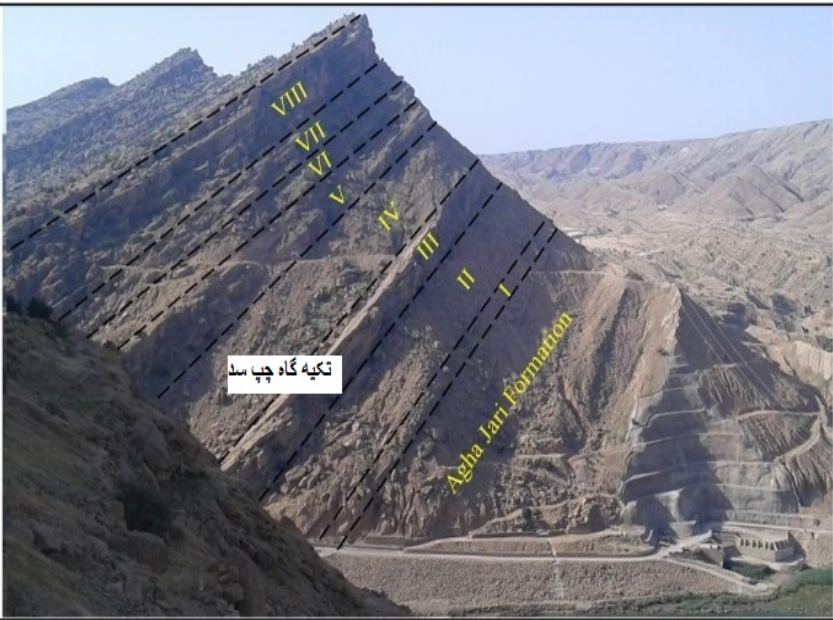
جنبش های ین سد در حدود ۱۴ کیلومتری شهرستان مسجدسلیمان و ۲۶ کیلومتری پایین دست سد کارون ۱ (شهید عباسپور) جای دارد.



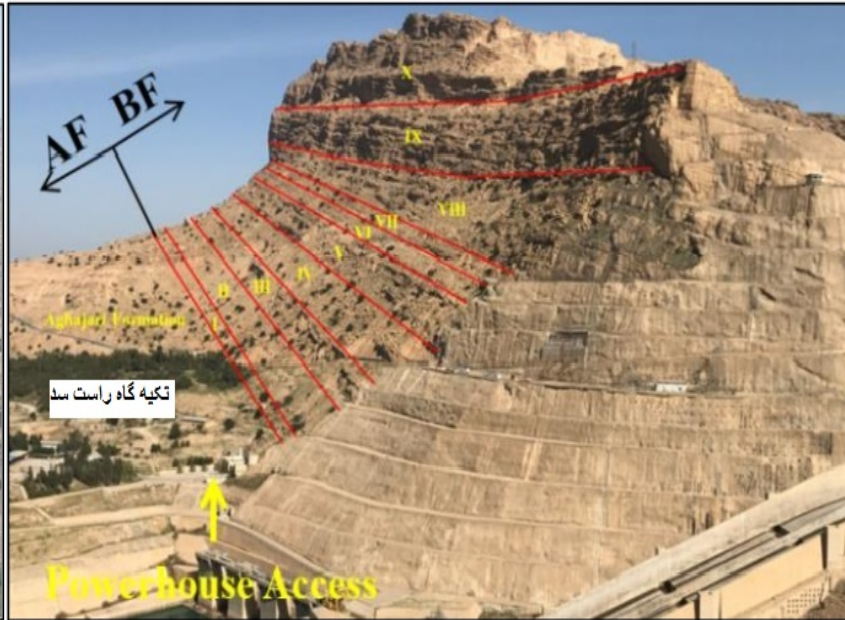
تکیه گاه چپ



تکیه گاه راست

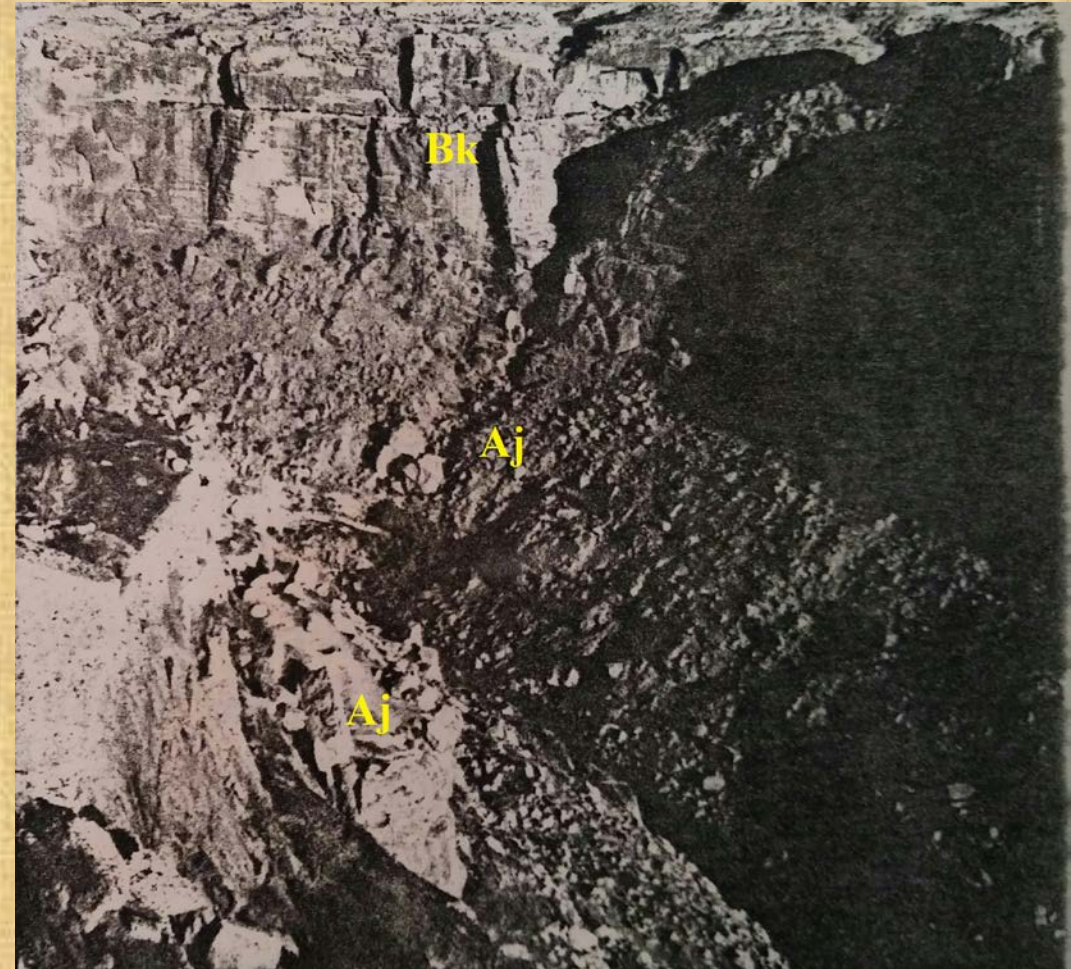


تکیه گاه چپ سد



تکیه گاه راست سد

Powerhouse Access

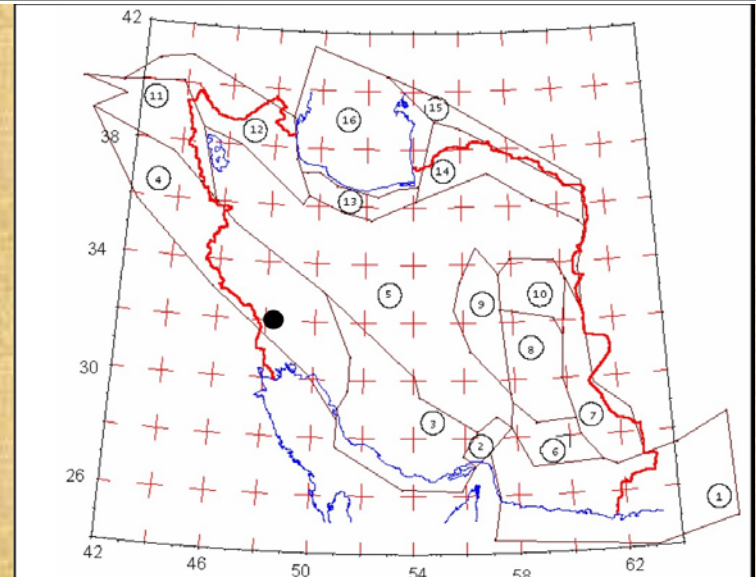
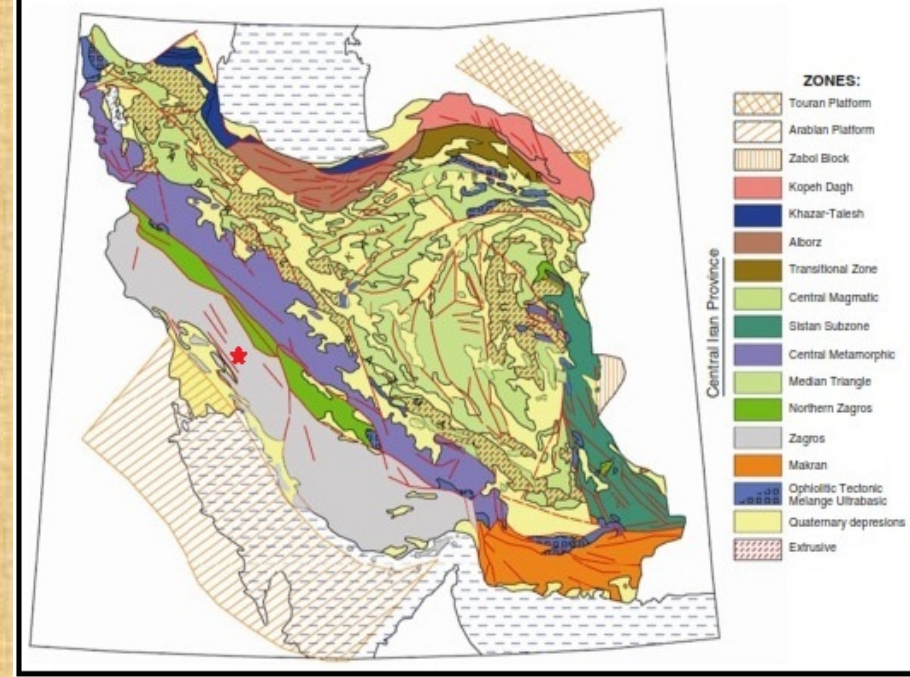
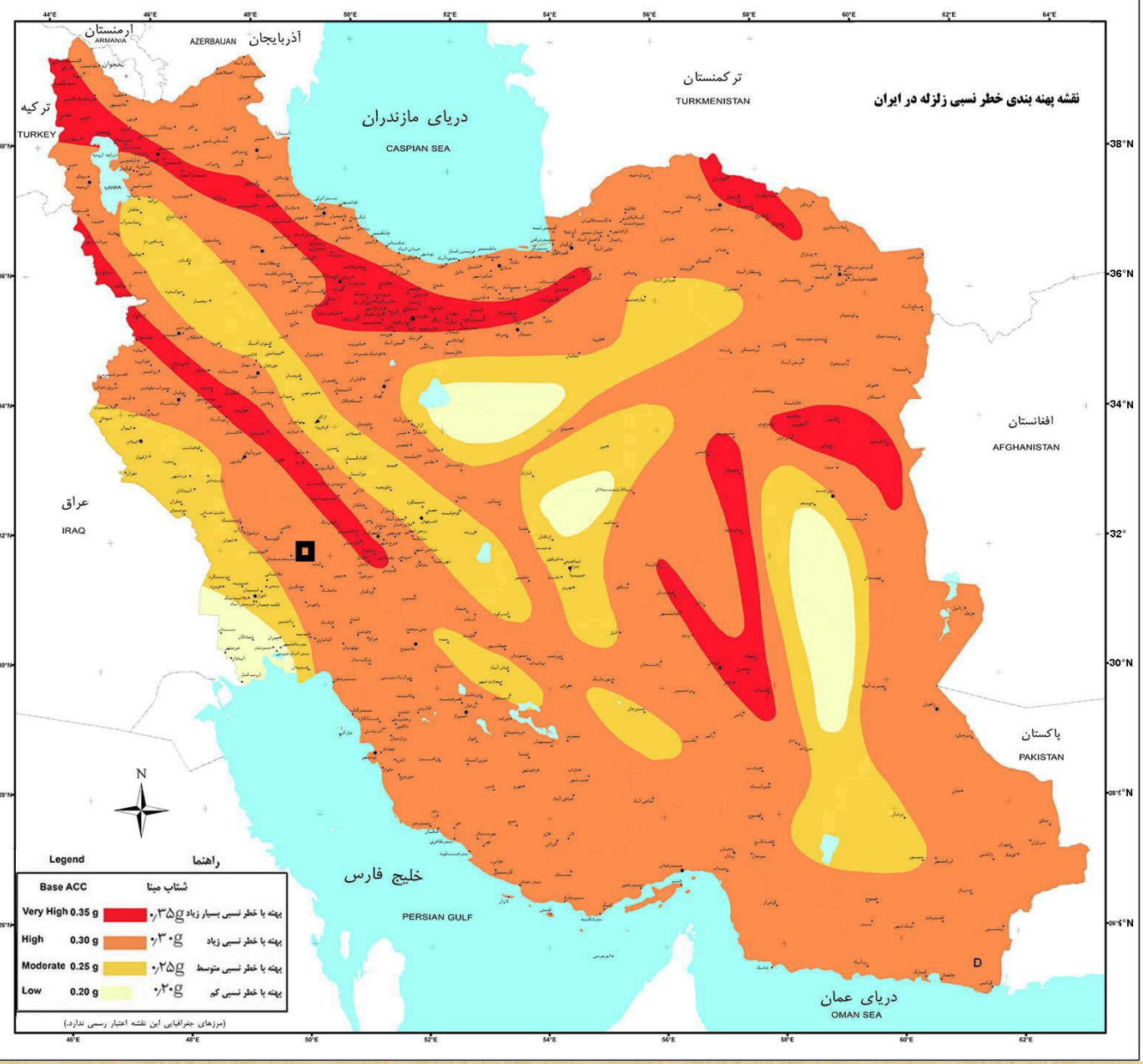


لرزه زمینساخت پهنه :

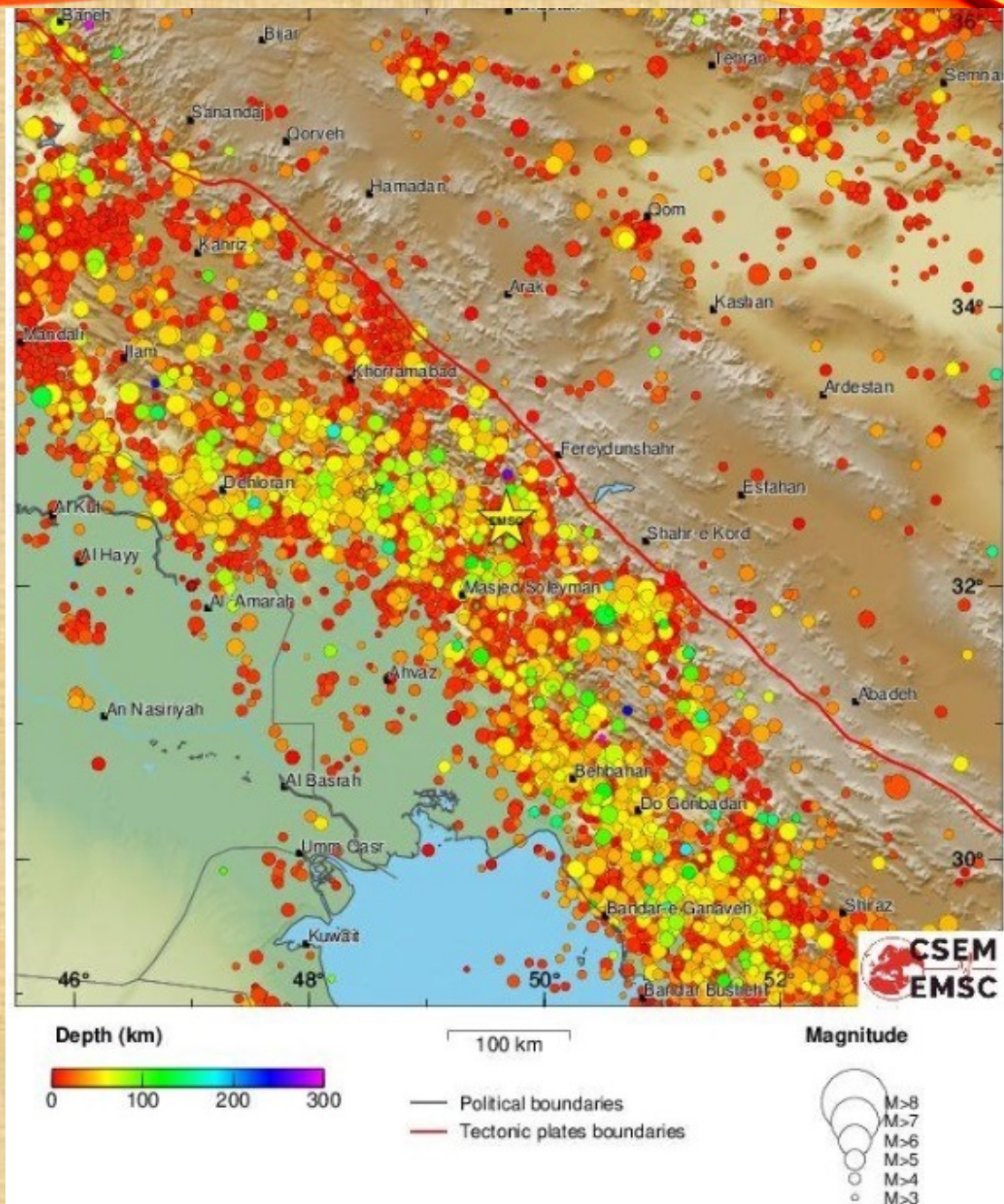
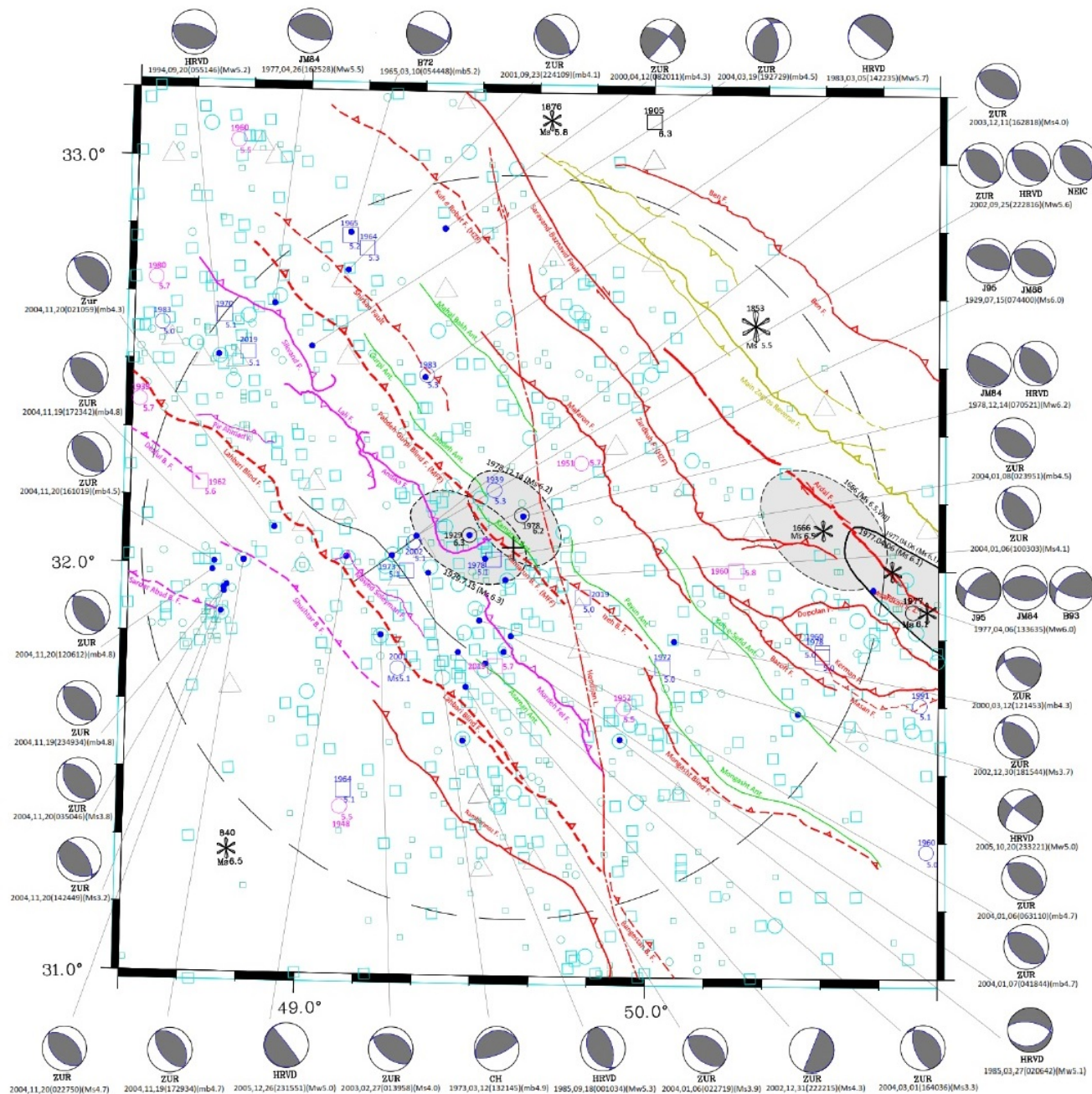
در مطالعات لرزه زمینساختی تلاش بر آن است که با استفاده از زمینلرزه، یک الگوی زمینساختی برای گسلش جنبا و لرزه زا ارائه گردد. در این راستا، شناسایی پارامترهای لرزه خیزی گسل های فعال و مطالعه زمینلرزه های گستره طرح مهمترین اصول بررسی های لرزه زمینساختی به شمار می آیند. با توجه به این که ساختگاه سد گذار لندر در گستره کمر بند چین خوردگی زاگرس جای دارد، داده های موجود از زمین لرزه های تاریخی و دستگاهی این گستره می تواند راهنمای خوبی برای مطالعات لرزه زمینساختی ساختگاه سد باشد. ایران زمین از دیرباز شاهد رویداد لرزه ای بزرگی با شدت های گوناگون بوده است و بر پایه آهنگ لرزه خیزی، دوره بازگشت زمین لرزه ها و به طور کلی از نظر ویژگی های لرزه زمینساختی توسط پژوهشگران به استان های لرزه زمینساختی با ویژگی های متفاوت تقسیم بندی شده است. از آن جمله می توان به کارهایی همچون (Berberian 1976, Nowroozi 1976, Berberian 1981) و نوگل سادات (۱۳۷۲) اشاره کرد. بر این پایه، گستره مورد مطالعه در استان لرزه زمینساختی زاگرس (بخش شمال باختر زاگرس) جای دارد (Berberian 1976). از مهمترین رخدادهای لرزه ای در گستره ۲۰۰ کیلومتری پیرامون ساختگاه سد می توان به زمین لرزه پانزده ژوئیه سال ۱۹۲۹ (ایذه - اندیکا) با بزرگای ۵/۶، زمین لرزه ۱۴ دسامبر ۱۹۷۸ اندیکا با بزرگای ۲/۶ و زمین لرزه ۲۵ سپتامبر ۲۰۰۲ شمال مسجد سلیمان با بزرگای ۸/۵ اشاره نمود. در خلال دوره بهره برداری از سد گذار لندر زمین لرزه های زیادی از سال ۱۳۸۰ روی داده که شدیدترین آنها، رویداد ۳/۷/۱۳۸۱ (۲۵ سپتامبر ۲۰۰۲) با فاصله کانونی نزدیک به ۷ کیلومتری از ساختگاه سد بوده است (آمبراسیز و ملویل ۱۳۸۲). از دیدگاه خطر پذیری جایگاه سد در پهنه با خطر نسبی بالا جای دارد.

لرزه زمینساخت پهنه :

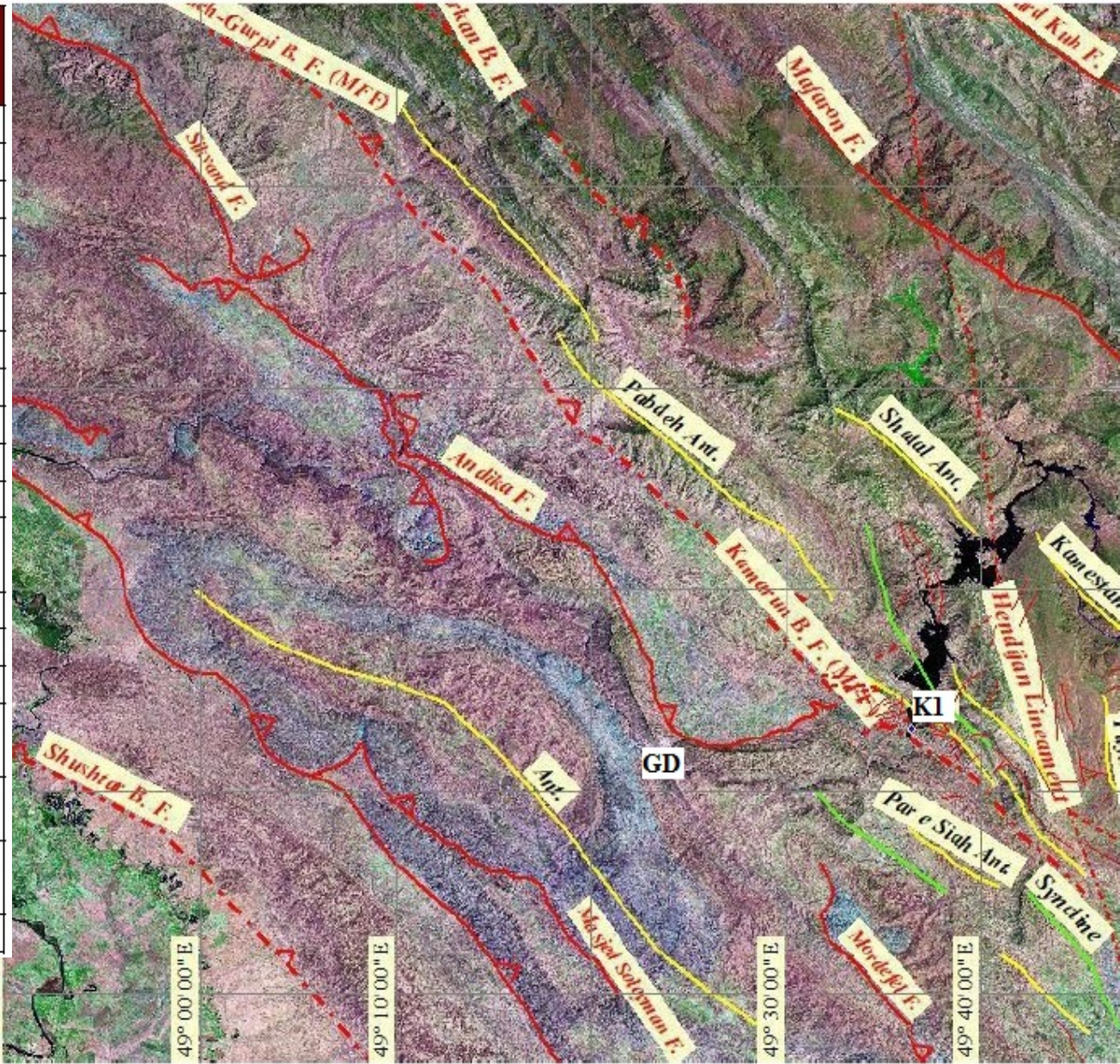
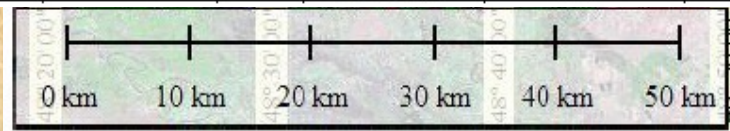
گستره مورد مطالعه بنا بر تقسیم بندی زمینساختی ایران توسط بربریان در واحد زمینساختی زاگرس جوان قرار دارد (Berberian 1995). این استان شامل مجموعه ای از تاقدیس ها و ناودیس ها با امتداد شمال باختری- جنوب خاوری است که بیشتر از رخنمون های مزوزوئیک و سنوزوئیک تشکیل یافته اند و سازوکار چیره زمینلرزه ها در آن از نوع گسلش واژگون بزرگ زاویه است (شکل ۵) و راستای تنش اصلی بزرگ (σ_1) کم و بیش افقی و دارای روند است. میدان تنش در گستره مورد مطالعه در سالیان اخیر روش های جدیدی برای تخمین جهت تنش زمینساختی و در نتیجه برآورد بردار لغزش روی سطوح گسلی ابداع شده است. از طرف دیگر، جهت لغزش می تواند از جهت نسبی حرکت صفحات در طول گسل های تشکیل دهنده مرز صفحات تخمین زده شود. چگونگی سازوکار گسلش جوان، ایجاد دگرریختی های نوزمینساختی، شکل گیری آنها و جنبش های نیرومند زمین همراه با رویداد زمینلرزه ها، همگی به میزان قابل توجهی تابع میدان تنش حاکم بر پوسته در ناحیه مورد نظر می باشد. از مطالعه سازوکار ژرفی گسل زمینلرزه ها و ساختارهای زمین شناسی هر ناحیه می توان اطلاعات ارزشمندی را بیشتر دگرریختی در زاگرس در پیشانی کمربند چین خورده ساده نزدیک به ساحل خلیج فارس، جمع شده در حالی که لرزه خیزی در تمام طول کمربند پخش شده است که نمایانگر یک جفت نشدگی بین لایه های رسوبی سطحی و پی سنگ لرزه زای زیر آن وجود دارد. پس می توان گفت که حضور نهشته های تبخیری در قاعده پوشش رسوبی پالئوزوئیک و همچنین به تناوب در توالی های رسوبی (جدایش های میانی) بالاتر در ناحیه کمربند چین خورده زاگرس، باعث شده است که شناسایی پیوند ساختارهای سطحی با حرکات پی سنگ در اغلب موارد به سادگی قابل حل نباشد.



- | | |
|----------------------|------------------------------|
| 1) Makran | 9) Tabas |
| 2) Khorgu | 10) Ferdows |
| 3) South East Zagros | 11) Van |
| 4) North West Zagros | 12) Azarbaijan |
| 5) Central Iran | 13) Alborz |
| 6) Jazmurian | 14) Kopet -Dagh |
| 7) East Iran | 15) Kopet -Dagh Fault Zone |
| 8) Lut | 16) South Caspian Depression |

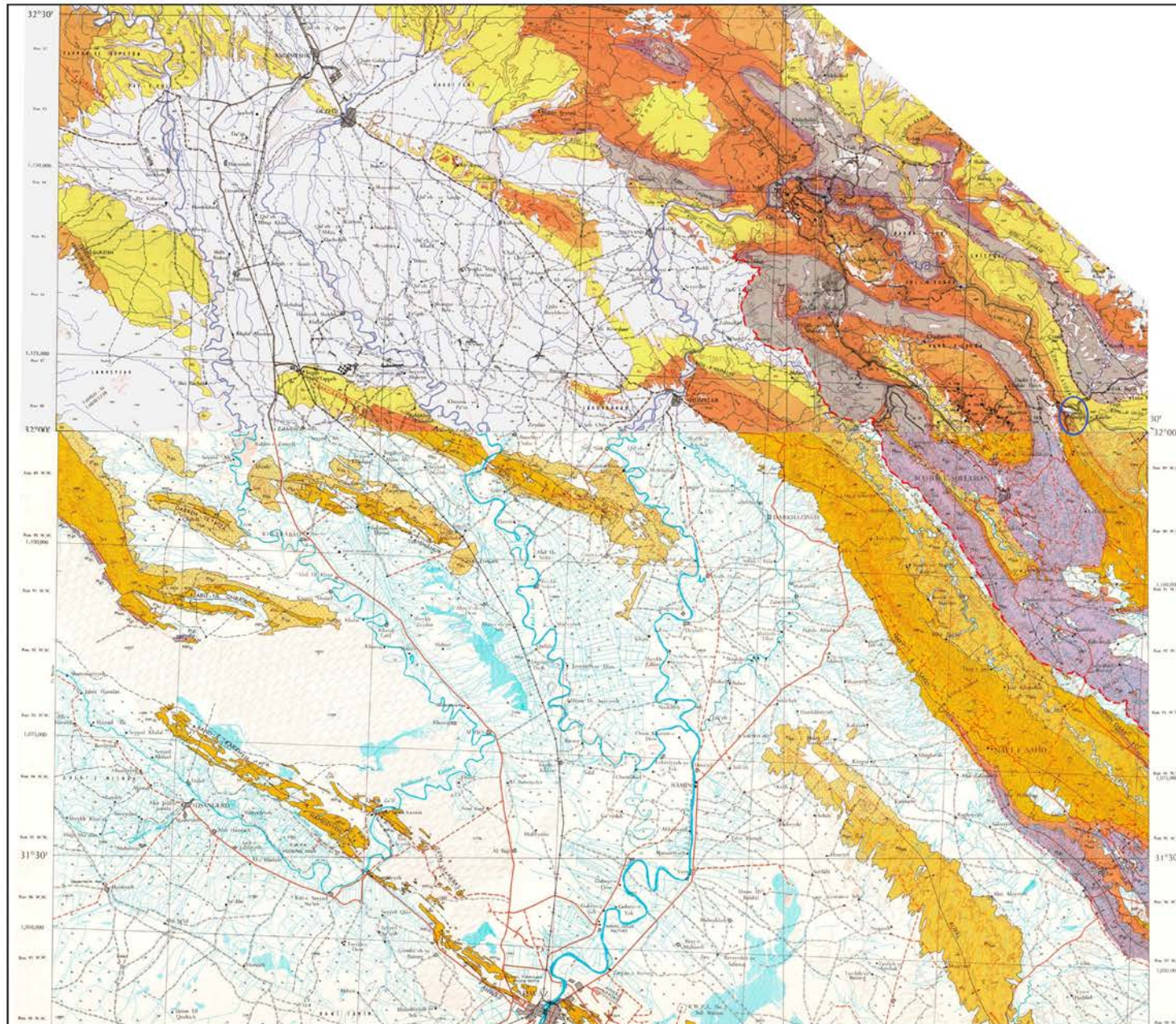


توضیحات	بیشینه توان لرزه‌زایی (M)	کوتاهترین فاصله تا ساختگاه (km)	طول (km)	سازوکار	نام چشمه لرزه‌زا	رتبه
شیب سطح لغزش به سمت شمال خاور-شمال	۶/۹	۲	۷۳	تراست	اندکا	۱
شیب سطح لغزش به سمت شمال خاور-شمال	۶/۷	۱۵	۵۰	معکوس بزرگ‌زاویه	مورده‌فل	۲
شیب سطح لغزش به سمت شمال خاور-شمال	۷/۰	۲۴	۸۳	تراست	لهبری	۳
شیب سطح لغزش به سمت شمال خاور-شمال	۶/۸	۱۷	۵۵	تراست	مسجد سلیمان	۴
شیب سطح لغزش به سمت شمال خاور-شمال	۶/۱	۱۴	۱۴	تراست	بی‌بیان	۵
شیب سطح لغزش به سمت شمال خاور-شمال	۷/۱	۵۵	۱۰۰	معکوس بزرگ‌زاویه	مافارون	۶
شیب سطح لغزش به سمت شمال خاور-شمال	۷/۳	۷۰	۱۸۰	معکوس بزرگ‌زاویه	زردکوه	۷
شیب سطح لغزش به سمت شمال خاور-شمال	۶/۹	۴۵	۷۰	معکوس بزرگ‌زاویه	رامهرمز	۸
شیب سطح لغزش به سمت شمال خاور-شمال	۶/۸	۳۶	۵۷	معکوس بزرگ‌زاویه	سرخ	۹
شیب سطح لغزش به سمت شمال خاور-شمال	۶/۹	۷۲	۶۵	معکوس بزرگ‌زاویه	دوپلان	۱۰
شیب سطح لغزش به سمت شمال خاور-شمال	۷/۱	۱۱۵	۲۰۰	معکوس بزرگ‌زاویه	آغاچاری	۱۱
راستالغز راستگرد	۷/۴	۱۴۰	۸۰	راستالغز (راستگرد)	دورود	۱۲
شیب سطح لغزش به سمت شمال خاور-شمال	۶/۶	۱۴۷	۴۰	معکوس بزرگ‌زاویه	سبزپوشان	۱۳
شیب سطح لغزش به سمت شمال خاور-شمال	۶/۷	۱۳۶	۴۹	معکوس بزرگ‌زاویه	انصاری	۱۴
شیب سطح لغزش به سمت شمال خاور-شمال	۶/۵	۱۲۲	۲۵	معکوس بزرگ‌زاویه	میشداخ	۱۵
شیب سطح لغزش به سمت شمال خاور-شمال	۷/۱	۱۴	۸۰۰	معکوس بزرگ‌زاویه	حاشیه کوهستان زاگرس (ZMFF)	۱۶
شیب سطح لغزش به سمت شمال خاور-شمال	۷/۴	۹۴	۲۲۵۰	معکوس بزرگ‌زاویه	معکوس اصلی زاگرس (ZMRF)	۱۷
شیب سطح لغزش به سمت شمال خاور-شمال	۷/۱	۱۰۴	۷۰۰	معکوس بزرگ‌زاویه	پیش‌گودال زاگرس	۱۸
شیب سطح لغزش به سمت شمال خاور-شمال	۷/۰	۱۰۰	۸۰۰	معکوس بزرگ‌زاویه	اردل	۱۹



نوزمینساخت و گسلش جنبا پهنه :

عوامل نوزمین ساختی در محدوده طرح را می توان در دو قالب گسلش و چین خوردگی جنبا ارائه نمود. شمار زیادی از گسل های بزرگ در پهنه پیرامونی سد شناخته شده اند که از مهمترین آنها می توان گسل های خمش لبه کوهستان، فروبار دزفول (لهبری)، مسجد سلیمان، اندیکا و لالی را نام برد. با توجه به جای گیری ساختگاه سد میان دو گسل جنبای لهبری و اندکا (اندیکا) و نقش این دو گسل در رفتار کنونی سد و دگرریختی جنبا در سازندهای زیر ساختگاه و پیرامون سد، ویژگی های آنها در زیر بررسی و ارزیابی خواهد شد.



GEOLOGICAL LEGEND

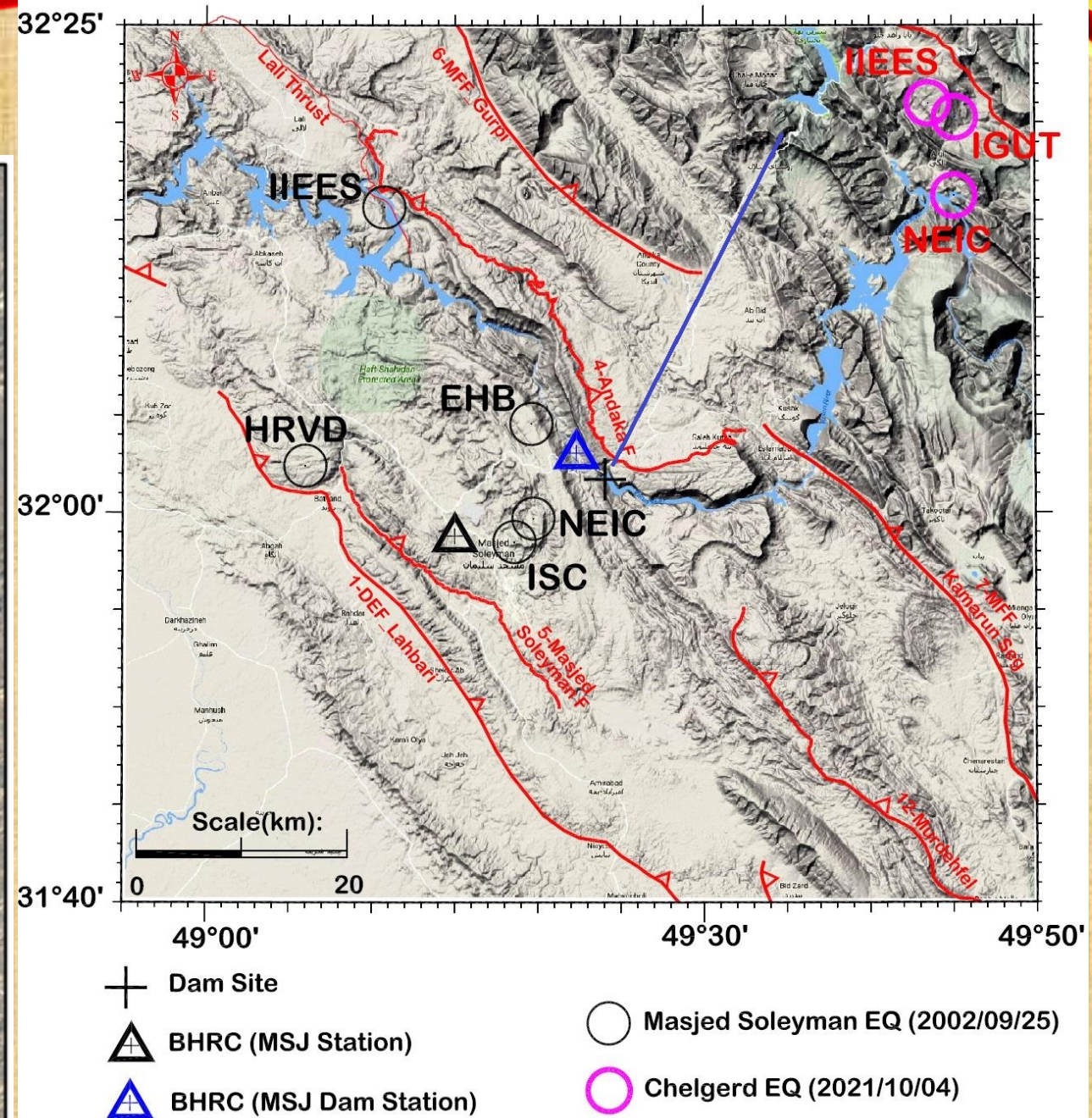
Quaternary	—	Miocene and Recent Deposits, Unconsolidated soils, clay, sand, gravel
Pliocene	Yellow	Sakarya Formation, Conglomerates, sandy, mostly conglomerates
Pleistocene	Orange	Latakia Member, Red soil
	Light Orange	Agla 1st Formation, Sandstone and red soil
Miocene	Red	Miskin Formation, Green soil
Pliocene	Purple	Çukurova Formation, Marl, calcareous, salt

CONVENTIONAL SYMBOLS

North Arrow	Anticline Axis with plunge	Blue line	River
Red line	Trench	Blue wavy line	Land subject to inundation
Red line with dots	Thrust fault	Red wavy line	Canyons
Red line with triangles	Normal Dip	Red wavy line with dots	Sand dunes
Red line with circles	Overturned Dip	Blue wavy line with dots	Tidal flat
Red line with squares	Landlip	Blue wavy line with triangles	Cultivation
Red line with diamonds	Structural Section	Blue wavy line with squares	Palm trees
Red line with stars	Terrace	Blue wavy line with diamonds	Principal point of aerial photograph
Red line with crosses	Village	Blue wavy line with crosses	Major trig. point
Red line with dots and dashes	International Boundary	Blue wavy line with crosses and dots	Spot height
Red line with dashes	Highway road		
Red line with dots and dashes	Secondary road		
Red line with crosses and dashes	Unimproved dirt road		
Red line with stars and dashes	Foot path		
Red line with diamonds and dashes	Railway		

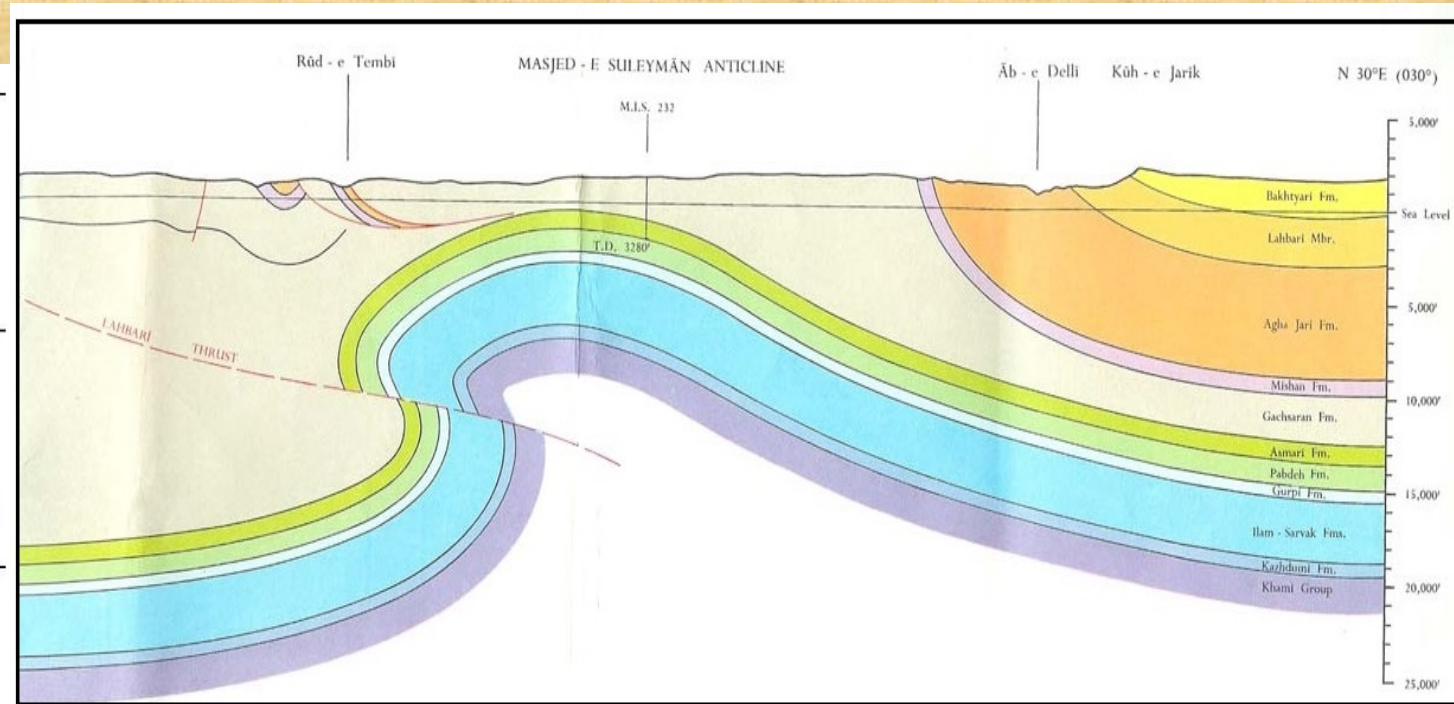
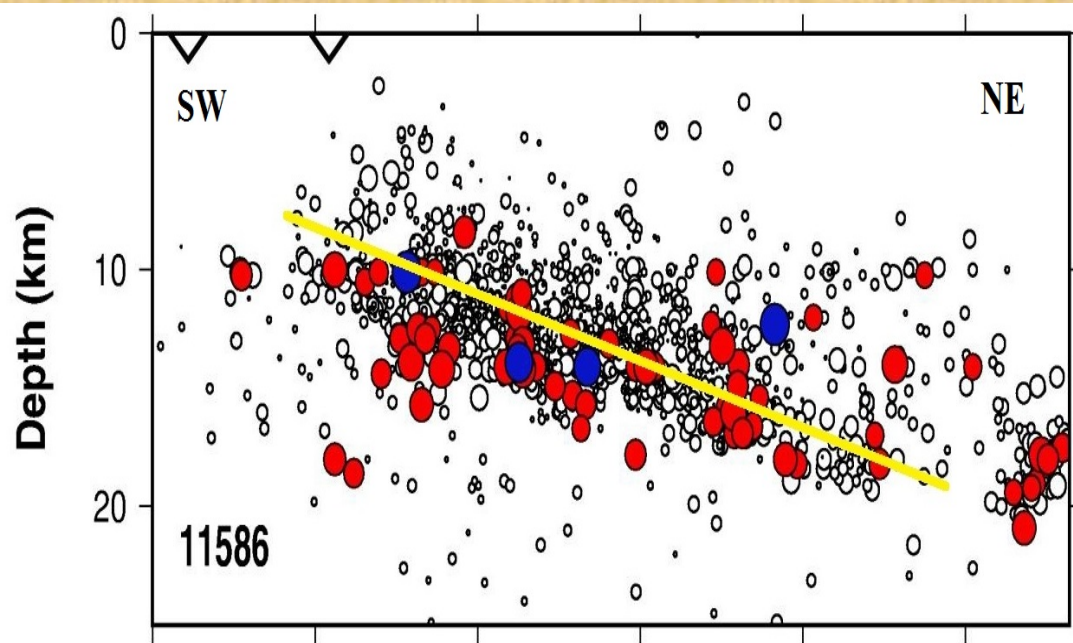
PETROLEUM INDICATIONS

Blue wavy line	Seepages and Springs	Blue wavy line with dots	Sulphur Spring
Blue wavy line with dots	1. Gas	Blue wavy line with triangles	Thermal Spring
Blue wavy line with triangles	2. Crude Oil	Blue wavy line with squares	Leak or Trunk (active)
Blue wavy line with squares	3. Heavy Oil or Asphaltic gas	Blue wavy line with diamonds	Leak or Trunk (inactive)
Blue wavy line with diamonds	4. Gas and Oil or Asphalt		
Blue wavy line with crosses	5. Crude Oil of lighter grade		
Blue wavy line with crosses and dots	6. Heavy Oil or Asphalt		



گسل جنبای لهبری:

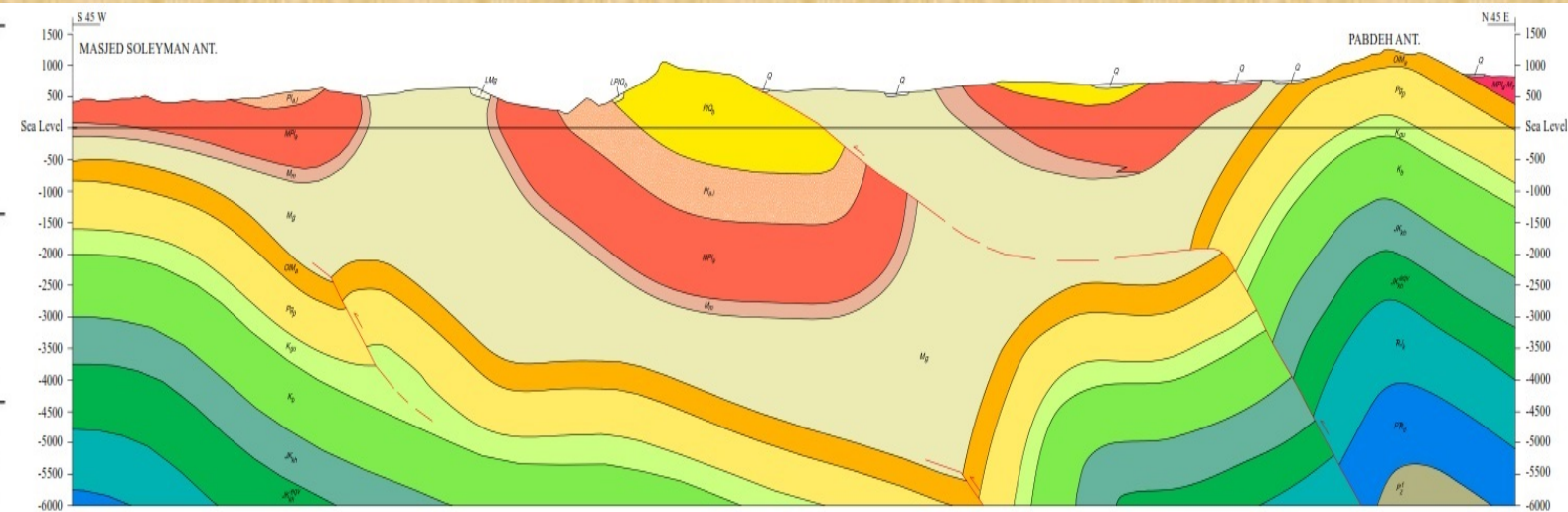
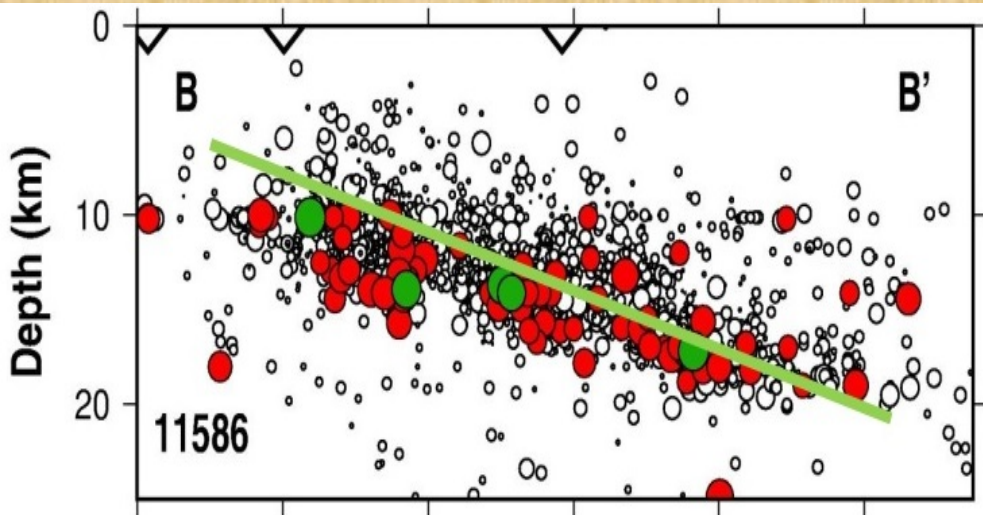
راندگی لهبری با راستای شمال باختری-جنوب خاوری و درازای ۱۰۸ کیلومتر، نزدیک ترین پاره از گسل بنیادی فروبار دزفول (Berberian 1995) با سازوکار واژگون کوچک زاویه (راندگی) است که در دامنه جنوب باختری تاقدیس پاگچ در جنوب باختری ساختگاه سد جای دارد و کوتاهترین فاصله رخنمون این گسل تا ساختگاه سد نزدیک ۲۴ کیلومتر است. عملکرد این گسل باعث رانده شدن لایه های سازند گچساران بر روی لایه های بخش لهبری از سازند آغاچاری یا بر روی سازند بختیاری و آبرفت های کواترنر شده است و بر این اساس یک راندگی کواترنر به شمار می آید.



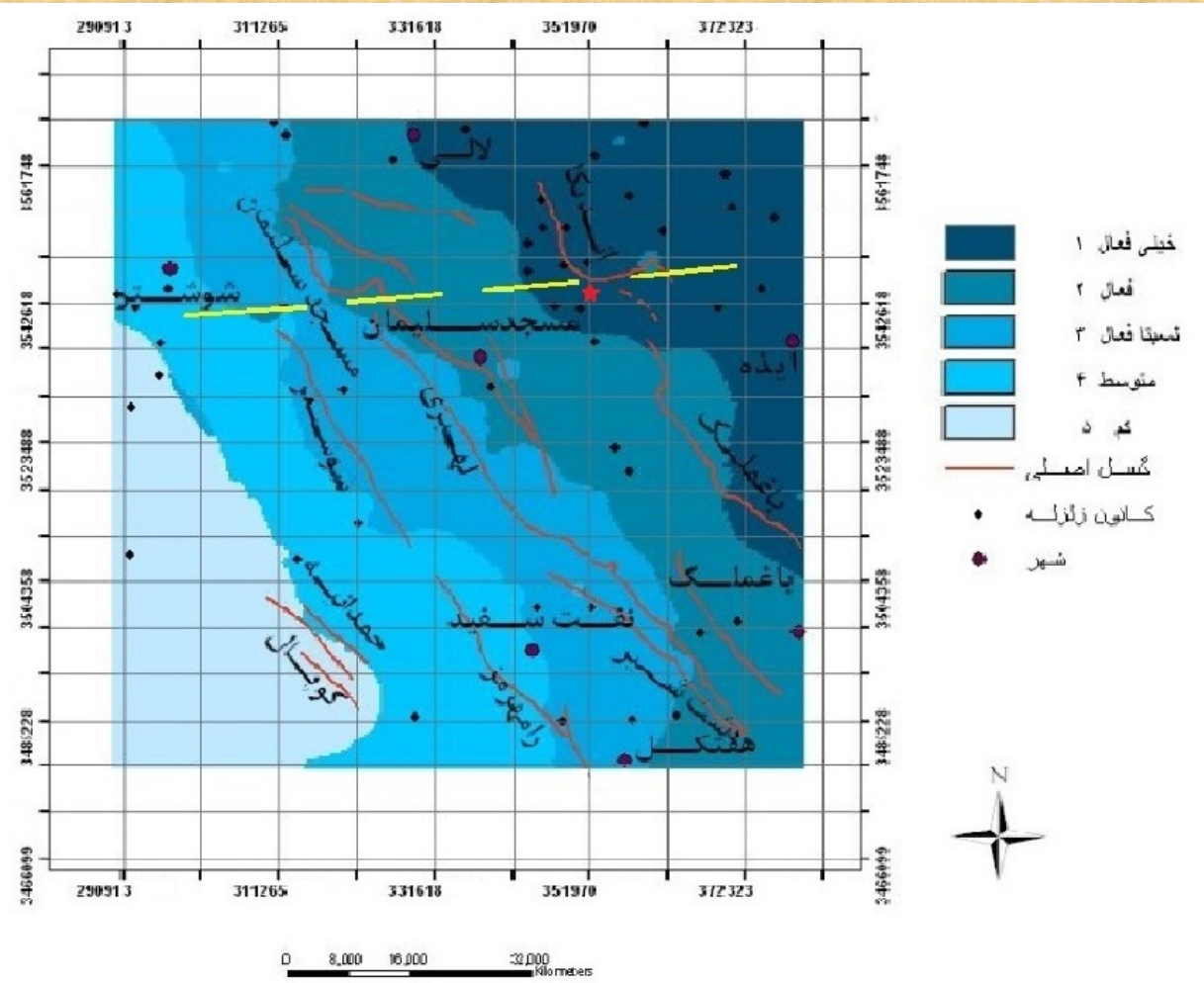
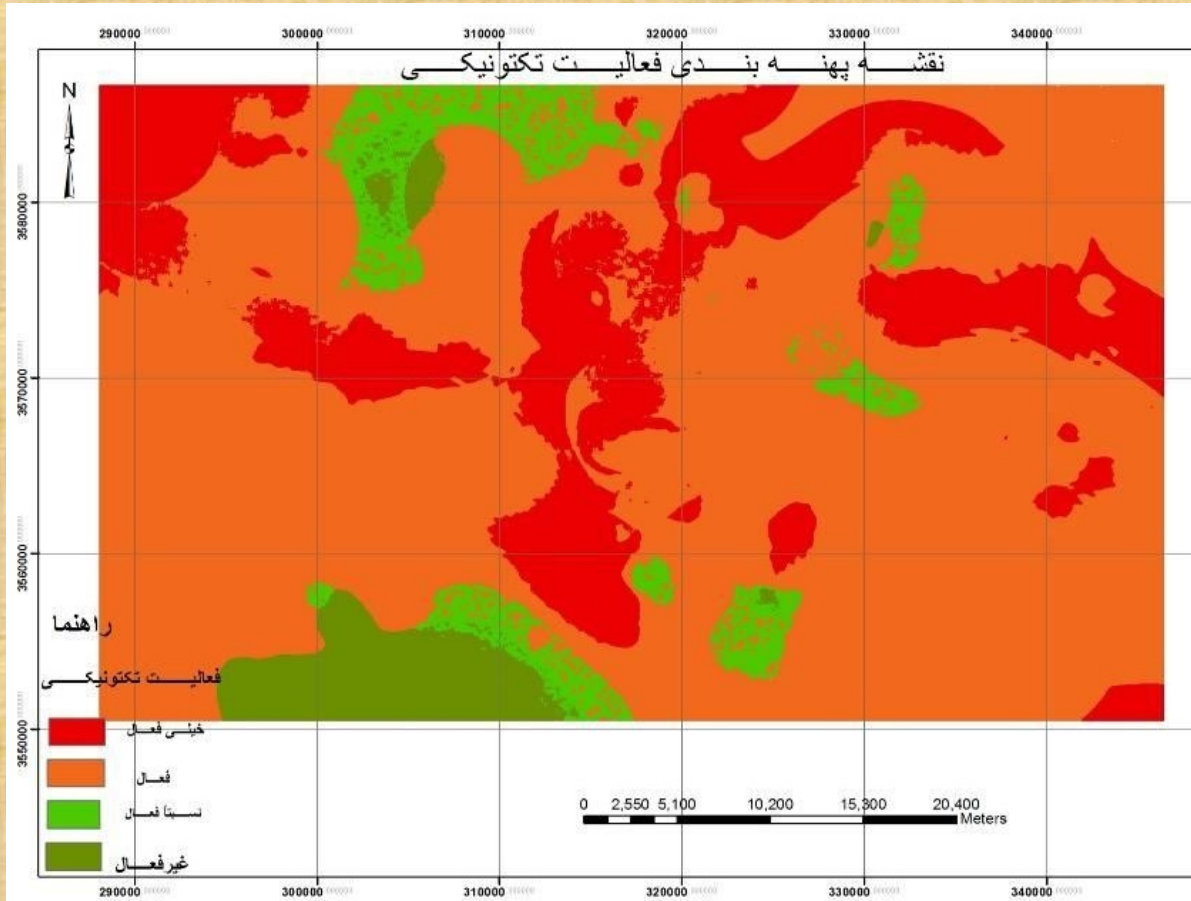


گسل جنبای اندیکا:

راندگی اندیکا از خاور شهر لالی شروع می شود و به سوی جنوب خاور تا ۱۵ کیلومتری خاور ایستگاه پمپاژ گذارلندر ادامه می یابد. درازای این گسل نزدیک به ۵۷ کیلومتر است و در نزدیک ترین برش در فاصله ۱ / ۲ کیلومتری شمال خاوری سد گذارلندر جای دارد که در ژرفا از آن دور می شود. اندازه شیب رویه این گسل در صحرا در رخنمون بالادست سد نزدیک به ۶۰ درجه به سوی شمال خاور است که گمان می رود با افزایش ژرفا دچار تغییر می شود. گسل اندیکا با تغییر روند از شمال باختری- جنوب خاوری به خاوری-باختری از شمال تکیه گاه راست سد می گذرد و تغییر در روند آن با تغییر در سازوکار از راستالغز در بخش شمالی به راندگی در بخش جنوبی همراه است.







پاره ای از نشانه های دگرریختی های نوزمینساختی پهنه :



W

Bk

(Lb)

Aj

Gs



نقش دگرریختی جنبا در رفتار بلند مدت سد :

از مهمترین نشانه های اثرات جنبش های نوزمینساختی پهنه بر رفتار سد به موارد زیر می توان اشاره نمود:

- افزایش فشار آب در پشت پوشش بتونی تکیه گاه های سد.
- افزایش بار وارد بر دیواره های مغار نیروگاه سد بر پایه داده های به دست آمده از بارسنج ها و بریده شدن میل مهار سنگ
- جابجای نامتقارن بدنه سد به سوی تکیه گاه ها که ممکن است بخش از آن به دلیل شکل نامتقارن دره سد و توزیه نایکنواخت تنش در حدفاصل دو گسل لهبری و اندیکا باشد
- افزایش اندازه جابجایی دیواره های مغار نیروگاه بر پایه داده های به دست آمده از کشش سنج ها.
- بروز ترک در تاج سد پس از زمین لرزه سپتامبر ۲۰۰۲. البته بخشی از این ترک ها ناشی از آبگیری زودتر از برنامه زمان بندی سد بوده است.





8th National Conference of Tectonics & Structural Geology of Iran

University of Birjand
Sep. 2022

هشتمین همایش ملی زمین ساخت و زمین شناسی ساختاری ایران
۱۴ و ۱۵ شهریور ۱۴۰۱ - دانشگاه بیرجند



با سپاس از شما