



## تحلیل سینماتیکی و دینامیکی تاقدیس خور، کمربند چین خورده کپه شرق ایران

پزشکی دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی-تکتونیک،  
ferdowsi@um.ac.ir  
بهنام رحیمی دانشیار، دانشگاه فردوسی مشهد دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی  
farzinmail@yahoo.com  
فرزین قائمی دانشیار، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی  
k-hosseini@um.ac.ir  
سید کیوان حسینی استادیار، دانشگاه فردوسی مشهد، مرکز تحقیقات زمین‌شناسی،

### چکیده:

ی الگوی ساختارهایی نظیر چین‌خوردگی‌ها در کپه‌داغ به دلیل وجود مخازن هیدروکربنی، مخصوصاً گاز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تاقدیس خور با طول بیش از 30 کیلومتر اثر سطح محوری NW-SE (شوریجه، تیرگان و سرچشمه) می‌باشد. دلیل انتخاب و بررسی این تاقدیس نیز، وجود این سازندها در رخنمون می‌باشد. این تاقدیس از نظر هندسی یک چین متقارن با میل محور به سمت شرق می‌باشد. بر اساس زاویه بین یالی، چینی در ناحیه‌ی باز محسوب می‌شود، بر مبنای ویهی میل محور و شیب سطح محوری چینی ایستاده با میل محور ملایم به شمار می‌آید. سازوکار چین‌خوردگی آن از نوع خمشی-لغزشی است و راستای محور تنش بیشینه در جهت NE-SW می‌باشد. کلید واژه‌ها: تاقدیس خور تحلیل سینماتیکی و دینامیکی چین‌خوردگی کپه

### Abstract:

The study of structures pattern such as folds in Kopet Dagh due to presence of hydrocarbon reservoirs, especially the Gas is particularly important. Khur anticline with a length axis of over 30Km and trend of axial surface NW-SE, that is includes outcrops of upper Jurassic rocks (Muzduran) and lower Cretaceous (Shurijeh, Tirgan and Sarcheshmeh). The reason of select and check this structure is present of this formation in outcrop. This anticline in terms of geometry is a symmetrical fold with plunging, that is oriented toward Southeastern. Based On interlimb angle is open folds, And based of plange of hingeline and dip of axial surface is upright flod with gently planging. The mechanism of folding is flexural-slip and the strick of maximum stress axis is NE-NW.

Keywords: khur Anticline, Kinematical and Dynamical Analysis, Folding, Kopet Dagh.

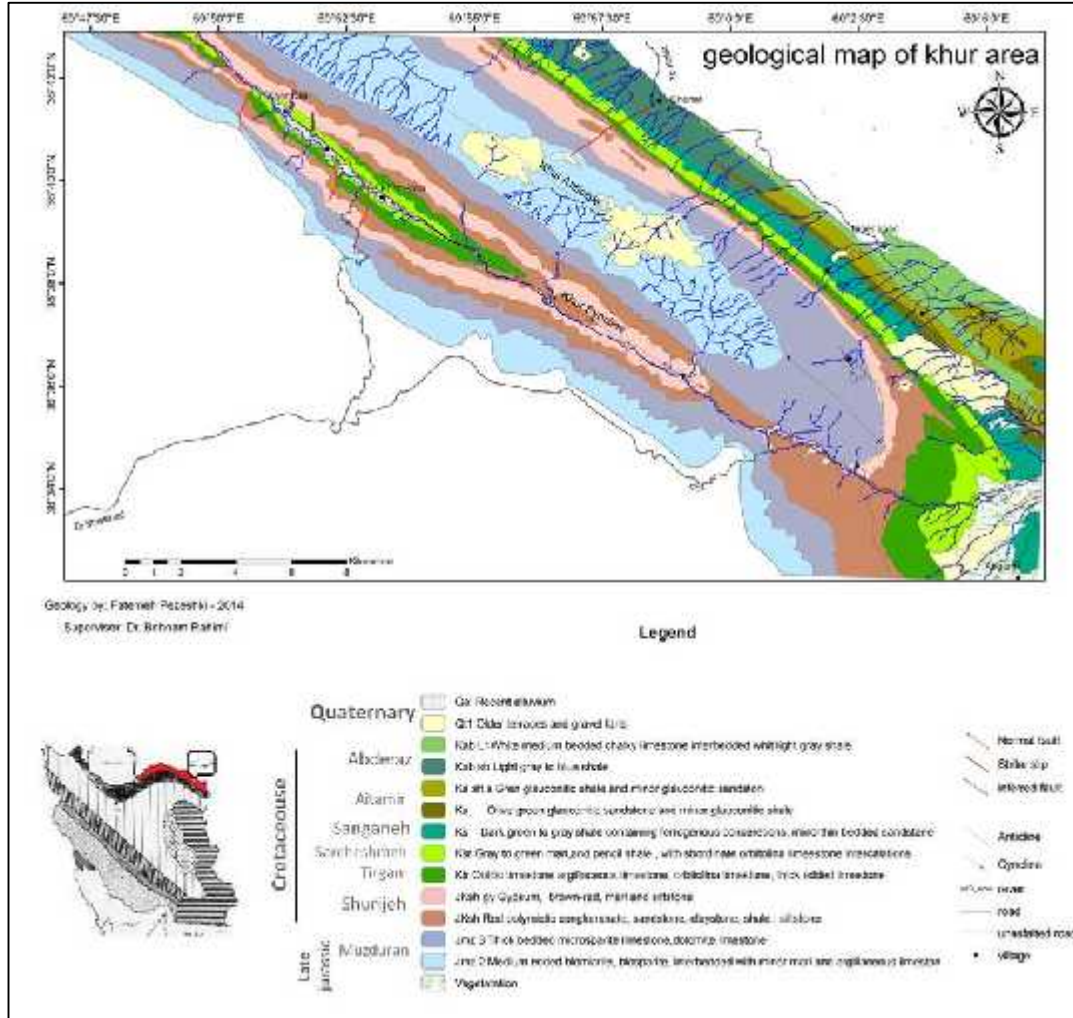


چین‌ها از معمول‌ترین انواع ساختارهایی تغییر شکل یافته‌ای هستند که در تمامی محیط‌های تکتونیکی در ارتباط با اکتشاف نفت و استخراج معادن یافت می‌شود (Savage et al., 2010). هندسه‌ی یک چین مجموعه‌ای از ویژگی‌های ساختاری است که شکل و الگوی چین را توصیف می‌کند. در این پژوهش ویژگی‌های هندسی چین در تاقدیس خور واقع در کمربند چین‌خورده کپه-شرق شهر مشهد به جهت مطالعه‌ی الگوی ساختاری آن مورد بررسی قرار گرفته است (شکل‌های 1 و 2).



شکل 1: دورنمایی از تاقدیس خور، دماغه و پال پشته‌ی به ترتیب در جانب شرق و غرب تصویر اند. موقعیت سازندهای مزدوران، شوریجه و تیرگان در تصویر مشخص شده است. دید عکس رو به شمال می‌باشد.

ی الگوی ساختارهایی نظیر چین‌خوردگی‌ها در کپه به دلیل وجود مخازن هیدروکربنی، گاز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. سازند مزدوران، سنگ مخزن اصلی میدان خانگیران و های سازند شوریجه سنگ مخزن درجه دوم می‌باشد (1373). دلیل انتخاب و بررسی این تاقدیس نیز، وجود این سازندها در رخنمون می‌باشد (شکل 1 و 2). همین اساس ویژگی‌های ساختمانی (سینماتیک و دینامیک) چین نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد.



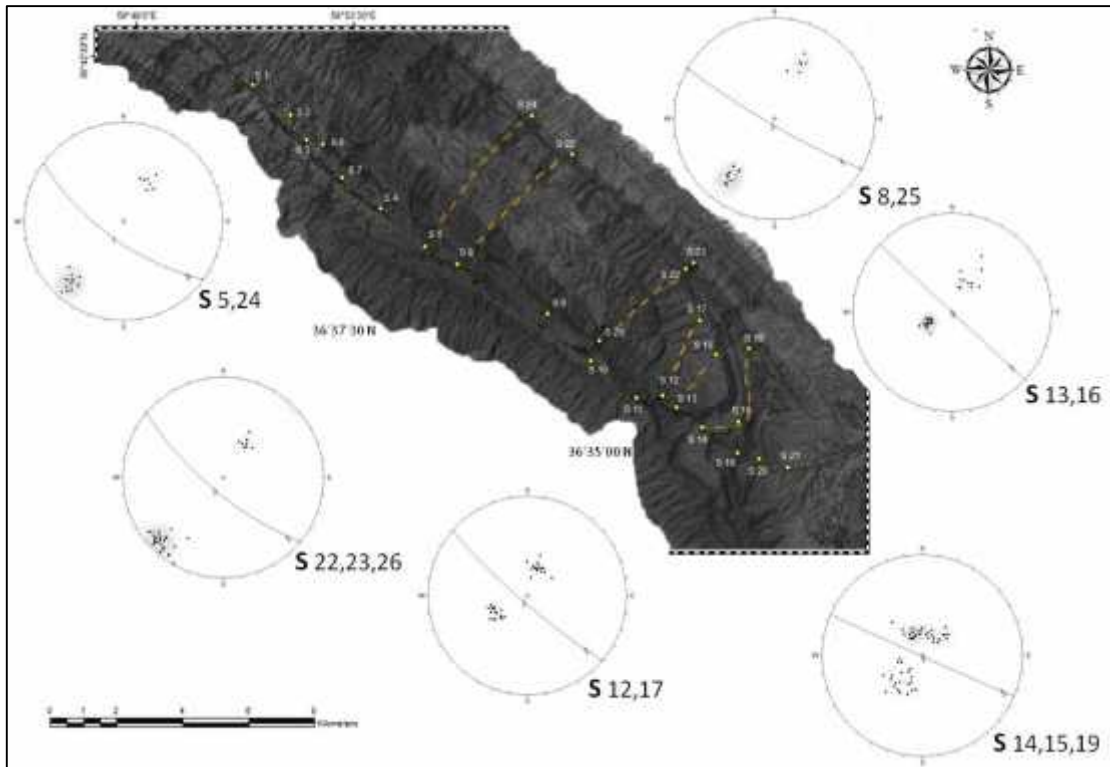
شکل 2: ی زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (پزشکی و همکاران 1392)

### 1) هندسه‌ی ناقدیس خور

ناقدیس خور با طول بیش از 30 کیلومتر، در 65 کیلومتری جاده مشهد\_کلات در بین طول‌های جغرافیای 60/04 59/51 شرقی و های جغرافیای 36/40 36/34 شمالی قرار دارد. روند اثر سطح محوری چین NW-SE می‌باشد و طبقات و واحدهای سنگی در پال پیشانی و پشتی حالت عادی دارند. شیب طبقات در سرتاسر چین با تبعیت از امتداد و شیب سطح محوری به طور ناچیزی تغییر می‌کند. میانگین شیب دامنه‌ی شمالی 46 درجه و جهت شیب به ترتیب به سمت NE SW می‌گردد. گوری‌های متعددی که بر روی این چین ام، محوری چین به ترتیب 11/128 306/84



است (شکل 4 3). بندی (Fleuty (1964) اقدیس خور، چینی ایستاده با میل ملایم شرق می که محدوده قرارگیری آن بر روی شکل 4



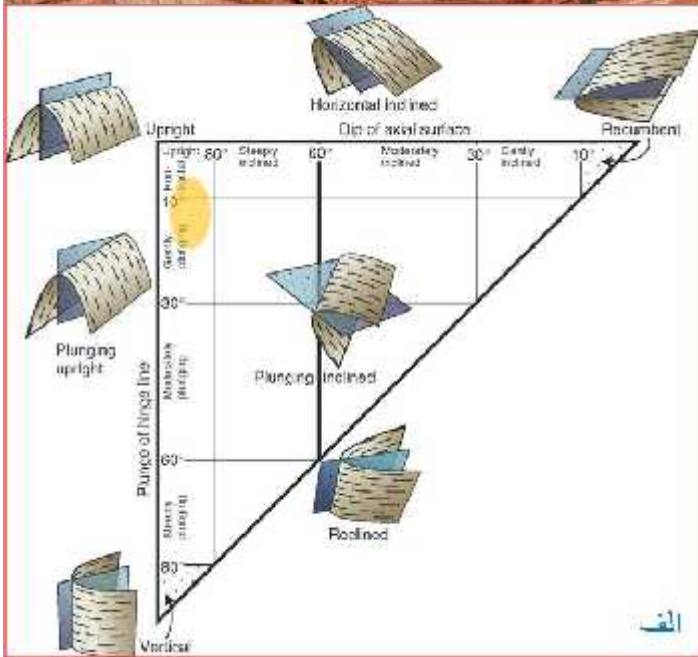
شکل 3: نمایش موقعیت قطب لایه بندی، محور و صفحه‌ی محوری در استریونت. نقاط زرد رنگ موقعیت ایستگاه‌های مطالعاتی می‌باشد. ایستگاه‌های انتخاب شده دارای تقارن نسبی برای رسم استریونت در شکل مشخص شده .

های میدانی، زاویه‌ی بین دو پهلوی چین ( ) (زاویه‌ی بین یالی) 81 زاویه‌ی چین‌خوردگی ( ) 99 درجه می که در نتیجه این تاقدیس از نظر فشردگی چینی در احیه‌ی باز محسوب می (شکل 5). همچنین نسبت ظاهری یا نسبت دامنه به نصف طول موج چین (P=A/M) گیری شده است که با توجه به مقدار اندازه‌گیری شده (P=0.58) تاقدیس خور چینی پهن می (شکل 6). شاخص دیگر تعیین سیک چین، انحنا‌ی نسبی چین در محل بستگی (Ragan.M, 2009) است که از گیری نحوه گردشدگی یا گوشه ار شدن زون لولا را توصیف می- کند (شکل 6) از آنجا که  $r_n$  (شعاع انحنا در بستگی تاقدیس) کوچکتر از  $r_i$  (شعاع دایره‌ی مماس بر یال‌های تاقدیس در محل نقطه عطف) است از رابطه  $(b=r_n/r_i)$  مقادیر به دست آمده (b=0.29) تاقدیس خور یک چین نیمه زاویه‌دار می‌باشد (شکل 6).



www.geocku.ir  
 انجمن علمی - پژوهشی کانیسنگران جوان زمین‌اروپی

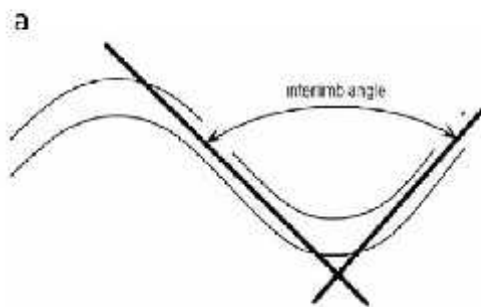
اولین همایش مجازی ملی علوم زمین  
 First National Virtual Congress of Geology



Number of station	Axial plane		Fold axis	
	strike	dip	plunge	trend
\$ 5,24	307	79	10	130
\$ 8,25	300	84	14	122
\$ 22,23,26	310	80	8	133
\$ 12,17	311	83	15	132
\$ 13,16	313	90	12	133
\$ 14,15,19	294	90	8	114
mean	306	84	11	128

ب

شکل 4: بندی چین‌ها با توجه به شیب سطح محوری و میل خط لولا (Fleuty, 1964) (الف) گیری تاقدیس خور با بیضی زرد رنگ (ب) مقادیر مربوط به اندازه‌گیری‌های شکل 3



Interlimb angle      Adjective

120-180      Gentle

70-120      Open

30-70      Close

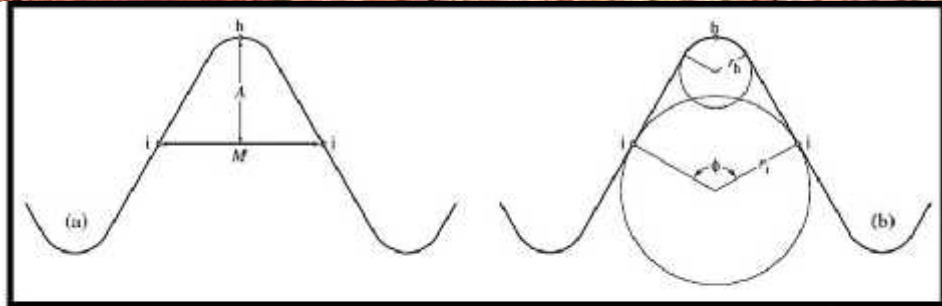
10-30      Tight

0-10      Isoclinal

<0      Elasticas

b

شکل 5: (a) نمایش رسم و اندازه‌گیری زاویه بین یالی (b) بندی چین‌ها بر اساس زاویه بین یالی (After fleuty, 1964, 1987a) ی مشخص شده با کادر قرمز مربوط به وضعیت تاقدیس خور می



Term	Aspect ratio	Term	Bluntness
Wide	$0.1 \leq P < 0.25$	Sharp	$0.0 \leq b < 0.1$
<b>Broad</b>	$0.25 \leq P < 0.63$	Angular	$0.1 \leq b < 0.2$
Equant	$0.63 \leq P < 1.58$	<b>Subangular</b>	$0.2 \leq b < 0.4$
Short	$1.58 \leq P < 4$	Subrounded	$0.4 \leq b < 0.8$
Tall	$4 \leq P < 10$	Rounded	$0.8 \leq b \leq 1$
		Blunt	$1 \leq b \leq 2$

شکل 6: های مربوط به سبک چین (a) نسبت ظاهری (Aspect ratio) (b) نوک‌دار شدگی (Bluntness) (C) های سبک چین (Twiss, 1988) ط به ناقدیس خور با کادر قرمز

## 2) سینماتیک ناقدیس خور

پس از شناخت ویژگی‌های هندسی ناقدیس خور در این قسمت به بررسی سازوکار و سینماتیک چین‌خوردگی از نقطه‌نظر تاثیر ویژگی‌های واحدهای سنگی مختلف در ایجاد ساختمان مذکور می‌پردازیم. مقاومت واحدها تاثیرات مختلفی بر هندسه‌ی چین‌خوردگی دارند و واحدهای مقاوم کنترل‌کننده اصلی نحوه چین‌خوردگی هستند. بر این اساس می‌باید توالی واحدهای سنگی را در چوب ناحیه‌ی مورد پژوهش بر اساس میزان قوام ترسیم نمود (شکل 7) در این نمودار سعی شده تا واحدهای سنگی که در محدوده مورد پژوهش برونزد دارند، بر اساس رفتار مکانیکی و توالی‌ی رسم شود.

شناسی واحدهای باقوام در منطقه بیشتر شامل: د لومیت، سنگ آهک با فراوانی بیشتر و آهک مارنی و ماسه سنگ کوارتزی و کنگلومرا می‌باشد که حدود 70-80 درصد کل واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه را در برمی‌گیرد 20-30 درصد باقی واحدهای کم‌قوام است که از نظر سنگ‌شناسی شامل: شیل، مارن و شیل‌های آهکی می‌



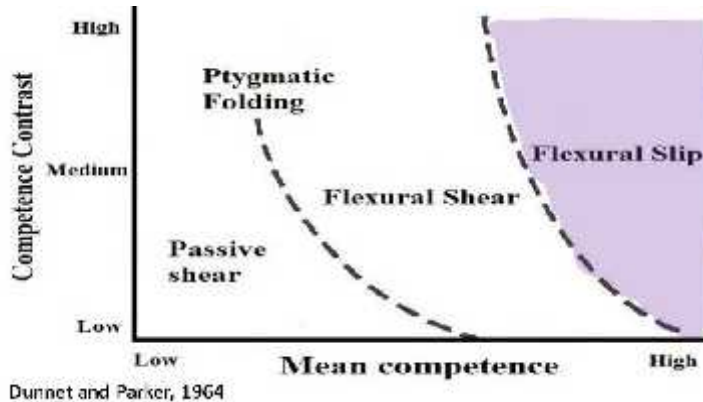
<p><b>سازند مزدوران - واحد باقوام</b></p> <p>دولومیت یا میان لایه های ناری و آهکی</p>	Mz
<p><b>سازند شوربجه - واحد با قوام</b></p> <p>تخلوون این قرمز رنگ، ماده سنگ رس سنگ، ماده سنگ کوارتزین، مقدار جزئی سنگ های کربناته</p>	JKs
<p><b>سازند تپیرگان - واحد با قوام</b></p> <p>سنگ آهک انولیتی و اریستولین دار و لایه های جزئی آهکی های ماری و نیل آهکی</p>	Kt
<p><b>سازند سرچشمه - واحد کم قوام</b></p> <p>مارن خاکستری تا سبز، تلوپ نیل های تیره رنگ مرادی یا آهک نازک لایه</p>	Ksr

Low or very low grade	
1.	Dolomite
2.	Arkose
3.	Quartz sandstone
4.	Greywacke
5.	Coarse-grained limestone
6.	Fine-grained limestone
7.	Siltstone
8.	Marl
9.	Shale
10.	Halite, anhydrite

Ramsay, 1982

شکل 7: نمایش طبقه بندی واحدهای سنگی متداول در چین خوردگی از بیشترین تا کمترین قوام در درجات دگرگونی کم و بسیار کم (سمت راست) و طبقه بندی واحدهای سنگی تشکیل دهنده تاقدیس خور (سمت چپ)

همان گونه که در جدول نمایان است، واحدهای تشکیل دهنده تاقدیس خور از هسته تا دامنه ی بندی (Ramsay (1982) بیشترین تا کمترین قوام) تبعیت می کنند.



شکل 8: نمایش مدل سینماتیکی چین خوردگی بر مبنای اختلاف قوام و قوام میانگین (Dunnet and Parker (1964)

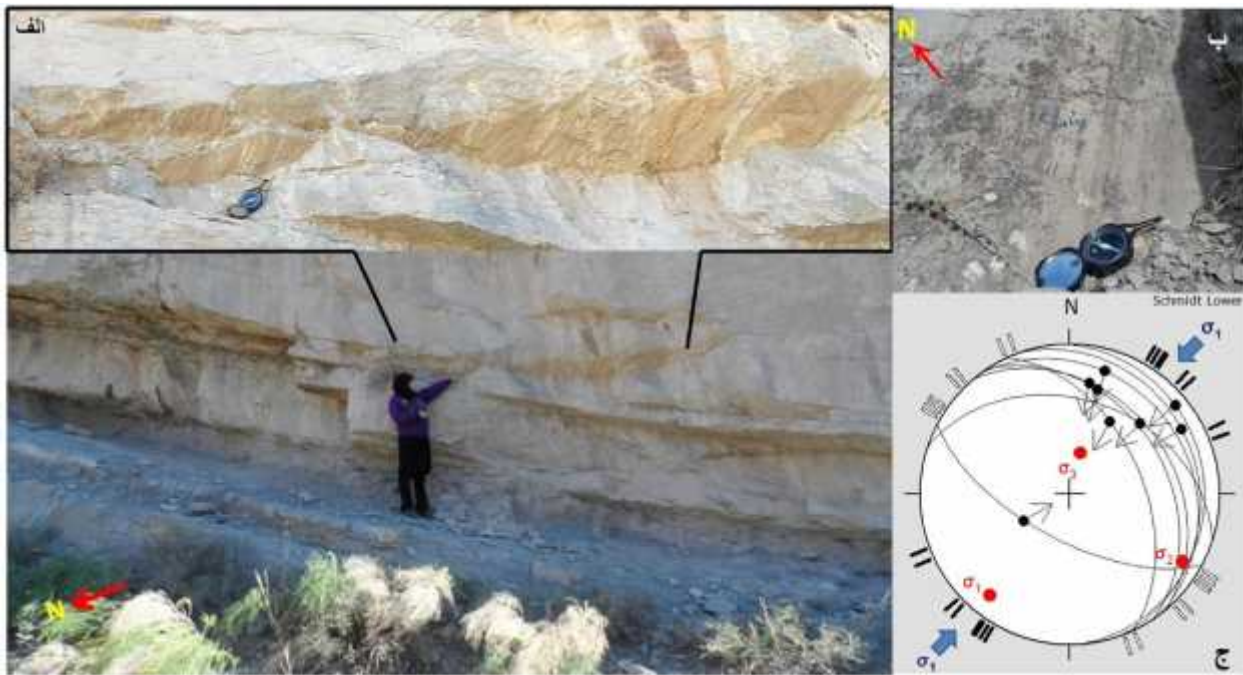
بدین ترتیب با استفاده از دیاگرام (Dunnet and Parker (1964) مکانیسم غالب چین خوردگی در ناحیه مورد مطالعه از نوع خمشی لغزشی می باشد. به این دلیل که قوام میانگین واحدها، نسبتاً بالا و اختلاف قوام بین واحدهای درگیر در چین خوردگی کم می باشد. در این نوع چین خوردگی فعالترین بخش مرزهای لایه بندی می

بسیاری برای درک چگونگی گسلش سطوح لایه بندی و شکستگی های توسعه یافته در طی چین خوردگی انجام شده است. شکستگی ها از تمرکز استرس در نقاط ضعف و رئوس شکستگی ها شروع می و فعالیت مجدد پس از آن صورت می گیرد؛ گسلش سطوح لایه بندی شروع می در چین خوردگی ها به صورت خمشی لغزشی منتشر می که در آن تنش برشی بر مقاومت چسبندگی و اصطکاکی در برابر لغزش غلبه می کند. بنابراین، شرط لازم برای ارزیابی لغزش بر روی سطوح لایه بندی و فعال شدن مجدد شکستگی ها، درک توزیع تنش در چین ردگی لایه در فضا و زمان هایی که در طی چین خوردگی توسعه می یابند توسط تعامل بین تغییر شکل لایه های سنگ، تفاوت خواص مکانیکی، وضعیت بین مرزهای بین لایه ای و وجود یا عدم لایه تاثیر می پذیرند (Sanz et al., 2008).

در این خصوص بررسی هایی در منطقه صورت گرفته است که مطابق با شکل 9 مرز فعال لایه بندی در نقاط مختلفی مشاهده شد. تصویر استریوگرافی مربوط به لایه های دارای خشلغز در یال پیشانی و



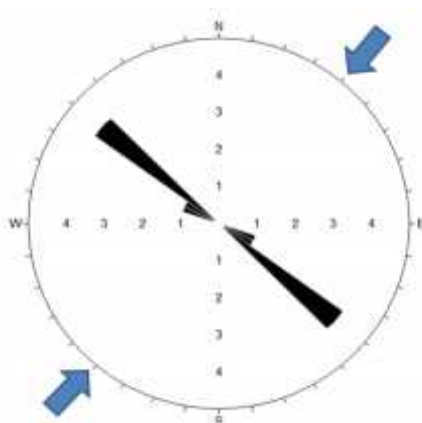
پشتی رسم شده است و وضعیت محورهای اصلی تنش در آن مشخص گردید که مکانیسم گسلش معکوس را نشان می‌دهد. محور 2 حور چین و صفحه‌ای که از 2 3 می‌گذرد صفحه محوری تاقدیس می



شکل 9: الف) نمایش مرز فعال لایه‌بندی در فرآیند چین‌خوردگی سازند تیرگان واقع در یال پیشانی. ب) در یال پشتی. ج) نمایش استریوگرافی مربوط به لایه‌های دارای خشلغز در یال پیشانی و پشتی، وضعیت محورهای تنش اصلی

### 3) دینامیک تاقدیس خور

در این قسمت به بررسی راستای بیشینه تنش به چین می‌پردازیم. می‌توان راستای افقی بیشینه تنش مسبب یک چین را به‌طور تقریباً عمود بر راستای محور یا اثر محوری در این ارتباط . سرخی (شکل 10) که اثر امتداد سطح محوری و محور تاقدیس خور را نشان می‌دهد، ترسیم شده است. با توجه به نقشه تکتونیکی منطقه، تاقدیس خور محوری شرقی دارد که نشان‌دهنده کوتاه‌شدگی در جهت شمال .  
 بنابراین محور تنش غالب باید در جهت شمال .  
 همان‌گونه که در دیاگرام گل‌سرخی مشخص است، راستای تنش افقی در حدود N40E می







شکل 10: تعیین راستای تنش بیشینه با توجه به راستای محور و سطح محوری

### نتیجه گیری :

نتایج به دست آمده از تحلیل سیستم هندسی تاقدیس خور، نشان می‌دهد که این تاقدیس براساس سطح چین خوردگی یک چین استوانه‌ای، باز، متقارن با ضریب نوک‌دارشدگی 0.29 می‌باشد. بندی فلوتی یک چین ایستاده با میل ملایم به شرق می‌باشد. واحدهای تشکیل دهنده این چین از طبقه‌بندی رمزی تبعیت می‌کنند و تحت مکانیزم خمشی- لغزشی ایجاد شده است. راستای محور تنش غالب بر این چین NE-SW می‌باشد.

1. . . . 1373، زمین‌شناسی کپه‌داغ، سازمان زمین‌شناسی کشور، طرح تدوین کتاب زمین‌شناسی ایران، ش 11.

### References:

2. Fleuty, M.J., 1964, The description of folds: Proceedings of the Geologists Association, v. 75.
3. Ragan, D.M., 2009. Structural geology An Introduction to Geometrical Techniques, fourth edn. Cambridge University Press pp.626.
4. Ramsay, J.G., 1982, Rock ductility and its influence on the development of tectonic structures in mountain belts: in K.J. Hsü, editor, Mountain Building Processes, London, p. 111–127.
5. Ramsay, J.G., 1967. Folding and fracturing of rocks. McGraw-Hill, New York, pp. 568.
6. Ramsay, J.G. & Huber, M. I., 1987- The Techniques of Modern Structural Geology, Academic press, London, PP.314 -317,700P.
7. Ramsay, J.G., & M.I. Huber, 1987, The Techniques of Modern Structural Geology: Volume 2:Folds and Fractures: Academic Press, London.
8. Sanz,P.F, Pollard,D.D, Allwardt,P.F, Borja,R.I, 2008. Mechanical models of fracture reactivation and slip on bedding surfaces during folding of the asymmetric anticline at Sheep Mountain, Wyoming. Journal of Structural Geology 30, 1177–1191P.
9. Savage, H.M., Shackleton, J.R., Cooke. M.L and Riedel. J.J, 2010, Insights into fold growth using fold-related joint patterns and mechanical stratigraphy, Journal Of Structural Geology., 32: 1466-1475P.



10. Twiss, R.J., 1988, Description and classification of folds in single surfaces: Journal of Structural. Geology, Volume 10, 607–623P.
11. Twiss, R.J., & E.M. Moores, 1992, Structural Geology:W.H. Freeman and Company, New York. Otentionally toxic metals. Springer.