



فصلنامه زمین ساخت

پاییز ۱۴۰۲، سال هفتم، شماره ۲۷

doi 10.22077/jt.2025.8171.1186

ارتباط میان فاصله بندی و ضخامت طبقه بندی در سازند مزدوران، ناودیس خور، شمال مشهد

زینب هراتی فرزقی^{۱*}، بهنام رحیمی^۲، فرزین قائمی^۳

۱- دانشجوی دکتری، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، ایران.

۲- استاد گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

۳- دانشیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

چکیده:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۱

مطالعه‌ی الگوی ساختارهایی نظیر شکستگی‌ها در کپه داغ به دلیل وجود مخازن هیدروکربنی خصوصاً گاز از اهمیت بالایی برخوردار است. در این پژوهش سعی شده است با مطالعه میدانی سازند مزدوران واقع در ناودیس خور به مطالعه دقیق الگوی درزه‌ها، ارتباط بین فاصله بندی و ضخامت طبقات، پرداخته شود. بر طبق مطالعات میدانی انجام شده بر روی شکستگی‌ها در این سازند دو دسته شکستگی شناسایی شده است. این شکستگی‌ها کششی بوده و عمود بر طبقات شکل گرفته‌اند. دسته‌ی اول شکستگی‌هایی با امتداد N196 به صورت سیستماتیک و عمود بر یال جنوبی ناودیس تشکیل شده‌اند. دسته دوم شکستگی‌هایی با امتداد N295 به موازات محور ناودیس هستند. بازدید میدانی از شکستگی‌ها نشان می‌دهد که شکستگی‌های دسته دوم جوان‌تر از دسته اول هستند. اندازه گیری فاصله بندی شکستگی‌ها و ضخامت طبقات نشان می‌دهد که این دو پارامتر رابطه‌ی مستقیمی با هم دارند و با افزایش ضخامت طبقات فاصله بندی درزه‌ها افزایش می‌یابد در نتیجه میزان بازشدگی درزه‌ها بیشتر می‌شود. کاهش ضخامت طبقات بر روی توزیع درزه‌ها اثرگذار بوده و با کاهش آن و $CV < 1$ درزه‌ها توزیع یکنواخت‌تری دارند. مقادیر بالای شاخص فاصله بندی شکستگی (FSI) نشان دهنده‌ی اختلاف زیاد بین فواصل درزه‌ها و ضخامت طبقات است.

کلمات کلیدی: ناودیس خور، سازند مزدوران، الگوی شکستگی، فاصله بندی شکستگی‌ها و ضخامت طبقات

*ایمیل: zeynab.harati.um@gmail.com



The relationship between spacing and bed thickness in Mozduran formation, Khur syncline, North of Mashhad

Zeynab Harati Ferezghee^{1*}, Behnam Rahimi², Farzin Ghaemi³

1- University golestan. gorgan. Iran.

2- Department of Geology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

3- geology dept, faculty of science, Ferdowsi university of Mashhad.

Abstract

The study of structural patterns, such as fractures in Kopeh Dag, is important due to the existence of hydrocarbon reservoirs, especially gas ones. A field study was planned on the Khur syncline to understand the joint pattern and the relationship between spacing and bedding thickness. According to the results of field studies on fractures in this formation, two sets of fractures have been identified. These fractures are extensions and formed perpendicular to the bedding. The first set of fractures, extended N196, are systemically and perpendicular to the southern limb of the syncline. The second set consists of fractures that extended the N295 parallel to the axis of the syncline. Field inspection of the fractures shows that the second group of fractures is younger than the first group. Evidence of the relative age of fractures suggests that the second set of fractures is younger than the first set. Measurement of fracture spacing and thickness of bedding reveals a positive correlation between these two parameters. Joint spacing and joint opening are increasing with increasing bed thickness. Change of bedding thickness and effects on the joint distribution in bedding thickness and dispersion coefficient will cause a more uniform distribution of joints. Reducing the thickness of the layers affects the distribution of joints, and with its reduction and $CV < 1$, the joints have a more uniform distribution. High values of the fracture spacing index (FSI) indicate a large difference between joint spacing and bedding thickness.

Keywords: Khur syncline, Mozdouran formation, Fractures pattern, Fractures spacing and bedding thickness.

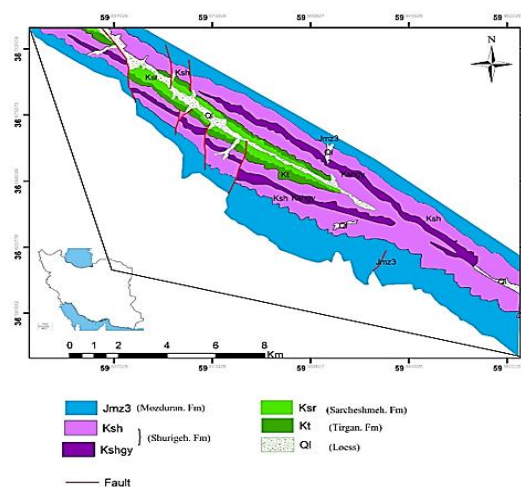
*Email: zeynab.harati.um@gmail.com

Tel: +989024334310

۱- مقدمه

طبقه‌بندی عنوان شده است. این رابطه (با چند استثنا) پذیرفته شده است (Norris, 1966, Mastella, 1972). در برخی از مشاهدات صحرایی که در طبقات با ضخامت کمتر از ۱/۵ متر انجام شده است، رابطه خطی وجود دارد و در برخی موارد برای طبقات با ضخامت بیش از ۲ یا ۳ متر رابطه خطی ساده وجود ندارد. برای مثال (Ladeira and Price, 1981, McQuillan, 1973) فاصله‌بندی درزه را در طبقات با ضخامت بالای ۱۲ متر بررسی کردند و یک ارتباط مبنی بر دو خطوط مستقیم را نشان دادند.

ناحیه مورد مطالعه در زیر پهنه‌ی ساختاری کپه داغ شرقی در محدوده‌ی عرض‌های جغرافیایی ۲۶/۴۹، ۳۸، ۳۶ شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۴/۹۹، ۵۲، ۵۹ شرقی قرار دارد (شکل ۱). این ناحیه از دیدگاه تقسیمات کشوری در شمال شرق استان خراسان رضوی و در فاصله ۶۵ کیلومتری شمال شرقی شهر مشهد قرار گرفته است. روستاهای خور، آبگرم، طاهرآباد و چنار در پیرامون ناودیس خور قرار گرفته است. در این تحقیق که بخشی از طبقات آهکی سازند مزدوران واقع در ناودیس خور، شمال شرق حوضه کپه داغ را در برمی‌گیرد، فاصله‌بندی درزه‌ها و رابطه آن با ضخامت طبقه‌بندی بر اساس معیارهای CV (ضریب پراکندگی)، FSR (نسبت فاصله‌بندی شکستگی‌ها) و FSI (شاخص فاصله‌بندی شکستگی‌ها) محاسبه گردیده است.



شکل ۱. نقشه‌ی زمین‌شناسی - ساختاری ناودیس خور واقع در شرق کپه داغ (۸۰ کیلومتری شمال شرق مشهد)، سازندهای مزدوران، شوربجه، سرچشمه و تیرگان در این ناودیس رخنمون یافته‌اند.

درزه‌ها شکستگی‌های منظم و فاقد حرکات برشی هستند که غالباً در طبقات رسوبی عمود بر طبقه‌بندی تشکیل می‌شوند. این شکستگی‌ها معمولاً با بازشدگی همراه هستند (Hodgson, 1961, Price, 1966, Hancock, 1988, Pollard and Aydin, 1988). در بسیاری از موارد، بیش از یک دسته درزه را می‌توان شناسایی کرد و روابط متناوبی را برای زمان شکل‌گیری هریک از این دسته‌ها می‌توان ارائه نمود (Dunne and Hancock, 1994).

ارتباط بین فاصله‌بندی درزه‌ها و ضخامت طبقه‌بندی را در کرنات‌های کیمریدجیان (Kimmeridgian) فرانسه مورد تحلیل قرار دادند. (Hobbs, 1967) یک مدل نظری را براساس کشش الاستیک در یک لایه مکانیکی برای شرح فواصل درزه‌ها پیشنهاد کرده است. بیشتر مدل‌هایی که ارائه شده عمدتاً الاستیک بوده است. برای مثال (Wu and Pollard, 1995, Bia and pollard, 2000a) مدل‌هایی را برای توضیح فاصله‌بندی درزه‌ها بر پایه‌ی انتقال تنش ارائه نمودند. مشاهداتی از کرنش‌ها و لغزش‌های بین لایه‌ای منجر شد تا (Ji and Saruwatari 1998, Ji et al., 1998) یک مدل تئوری برای ارتباط بین فاصله‌ی درزه و ضخامت طبقه‌بندی پیشنهاد کنند.

(Bai and Pollard, 2000b) یک مدل عددی برای درزه‌هایی که با فواصل منظم در طبقات قرار گرفتند پیشنهاد کردند. همچنین مدل‌های آنالوگ بینش‌های ویژه‌ای را برای پیشرفت دسته درزه‌ها ارائه داد و (Rives et al., 1992, Gross et al., 1995, Wu and Pollard, 2001, Sagy et al., 1995) نشان دادند که تغییرات ایجاد شده در فاصله‌بندی درزه‌ها و هندسه‌ی آن‌ها به میدان استرس ایجاد شده در طبقات شکسته شده وابسته است (Goodwin, 1995, Sagy et al., 2001).

(Gross, 1993) نرخ فاصله‌ی شکستگی (FSR (Fracture Spacing Ratio) را ارائه دادند که می‌توان برای هر طبقه به عنوان نرخ از ضخامت طبقه‌بندی به میانه فاصله‌ی درزه ارائه داد. در بسیاری از مقالات (Lachenbruch, 1961, Hobbs, 1967, Sowers, 1973, Price and Cosgrove, 1990, Narr, 1991, Narr and Suppe 1991, Gross, 1993) رابطه‌ای خطی بین فاصله‌بندی درزه و ضخامت



۲- زمین شناسی عمومی منطقه

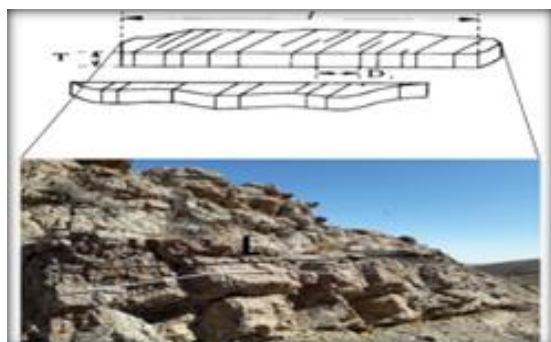
منطقه کپه داغ ایران را بیشتر سنگ‌های رسوبی دوران مزوزوئیک و سنوزوئیک زمین شناسی می‌پوشاند. این توالی‌ها شامل سنگ آهک، مارن و ماسه سنگ می‌باشند که توسط چین‌های متقارن باز با طول موج معمول ۵ تا ۲۰ کیلومتر، تغییر ساختاری یافته‌اند (Huber, 1979; Afshar Harb et al., 1977a,b) بنابر عقیده‌ی افشار حرب ضخامت سنگ‌های رسوبی در برخی از نواحی کپه داغ بالغ بر هشت هزار متر است. (Moussavi, 1992; Harami & Brenner -)، نرخ رسوبگذاری را ۹۸/۲ متر در هر میلیون سال را برای این ناحیه محاسبه نمودند که این مقدار نشانگر نرخ نسبتاً بالای رسوبگذاری در این ناحیه است. سازندهای موجود در ناحیه کپه داغ از ژوراسیک تا عهد حاضر به ترتیب عبارتند از: کشف رود، چمن بید، مزدوران، شوربجه، تیرگان، سرچشمه، سنگانه، آیتامیر، آبدراز، آب تلخ، نیزار، کلات، پستلیق، چهل کمان، خانگیران. (Lyberis et al., 1998; Lyberis & Manby 1999; Afshar Harb) چینه نگاری کپه داغ را بدین صورت توصیف نمودند: حرکات خشکی زایی پایان ژوراسیک در تمام حوضه محسوس است و سبب پسروری دریا از شرق و مرکز حوضه شده است. سنگ‌های رسوبی محیط خشکی و مردابی در شرق و مرکز منطقه در نئوکومین تشکیل شده‌اند. در غرب منطقه نیز تغییر رخساره از سنگ‌های کربناتی به شیل و مارن دریایی در این زمان، نمایانگر بالا آمدن حوضه رسوبی است و تأثیر پذیری تمام حوضه را از این حرکات نشان می‌دهد. پیشروی و پسروری‌های کوتاه مدت دریا در زمان نئوکومین و در نهایت پیشروی دریای کرتاسه زیرین در نئوکومین پسین نمایانگر تحرك حوضه در آغاز کرتاسه است. این فاز خشکی زایی همزمان با فاز کوهزایی سیمرین پسین است. سنگ‌های آلین - آبتین دارای خصوصیات توریدیتی هستند، بخش‌های غربی پالئوسن میانی - بالایی توسط لایه‌های مارن، ماسه و آهک اما در بخش‌های شرقی توسط لایه‌های دولومیت به همراه گچ قابل تشخیص است. بخش‌های شرقی پالئوسن بالایی تا الیگوسن با لایه‌های مارن خاکستری - زرد که توسط لایه‌های آهک‌های مارنی دریایی و ماسه سنگ میوسن تا پلیوسن پوشیده شده است. احتمال می‌رود به خاطر

بیرون زدگی بخش‌های شرقی از آب بین کرتاسه بالایی و پالئوژن، یک تغییر در رژیم رسوبگذاری ثبت شده باشد. میزان رسوبات دلتایی در سنگ‌های جدیدتر به سمت بخش‌های شرقی در حال افزایش است. لایه‌های الیگوسن - میوسن پایینی در بخش‌های شرقی وجود ندارد و به سمت شرق کاهش رسوبات میوسن میانی - پلیوسن پایینی را داریم. رسوبات دریایی ضخیم پلیوسن بخش‌های غربی به سمت شرق حذف می‌شوند. لایه‌های قاره‌ای پالئوسن پایینی در بخش‌های شرقی نشان دهنده‌ی پیدایش یک کمربند چین خورده و راندگی است که تا پایان پلیوسن در بخش‌های غربی نشان داده نشده است. چرخش در بخش‌های شرقی کپه داغ سبب شده است تا راستای این بخش عمود بر راستای تنش وارده بر منطقه باشد و رژیم رسوبگذاری دچار تغییر شده و ادامه چرخش آن سبب چین خوردگی، تشکیل راندگی‌ها و خروج این بخش‌ها از آب می‌شود. از میان تمامی سازندهای موجود در کپه داغ، ۴ سازند در محدوده‌ی مورد مطالعه (ناودیس خور) واقع شده‌اند. تمامی سازندهای نهشته شده در این منطقه از زمان ژوراسیک تا عهد حاضر، هیچ گونه ناپیوستگی زاویه‌دار که نشانه‌ی اعمال فاز کوهزایی باشد، مشاهده نشده است. چین خوردگی و گسلش در کپه داغ، حاصل تأثیر کوهزایی رخ داده در میوسن و پس از آن است. به اعتقاد (Brunet et al., 2003) بر اثر برخورد صفحه‌ی لوت به سکوی توران در زمان الیگوسن - اواسط میوسن نهشته‌های سیلیسی آواری و کربناتی دریایی وسیع ژوراسیک - میوسن به سری‌های چین خورده و رورانده تغییر یافته‌اند. قدیمی ترین سازند رخنمون یافته در ناودیس خور سازند مزدوران به سن ژوراسیک بالایی است، این سازند آخرین واحد سنگ چینه‌ای کربناتی ژوراسیک و سنگ مخزن اصلی میدان گازی خانگیران است که برش الگوی آن در شرق روستای مزداوند در ۸۰ کیلومتری شرق مشهد قرار دارد. در اینجا سبترای این سازند ۴۲۰ متر است و بیشتر از سنگ آهک‌های میکریتی سبتر لایه و کوهساز با رگه‌ها و یا گرهک‌های چرت تشکیل شده است. بخش چرت‌دار سازند مزدوران مربوط به ژرفترین بخش دریای ژوراسیک است (لاسمی، ۱۳۷۳). این سازند به وسیله‌ی

$$D = \frac{l}{N+1}$$

$$D = \frac{l}{n+1} \sum_{i=0}^n D_i$$

n تعداد درزه بین دو نقطه شروع و پایان خط حرکت است، که به وسیله فاصله L که در شکستگی‌ها است از هم جدا شده است. D_i فاصله عمود بین دو درزه مجاور است و D عملکرد موقعیت (Scan line) را نشان می‌دهد. به این منظور، درزه‌ها از ۹ طبقه آهکی در سازند مزدوران مورد مطالعه قرار گرفته شده است. اندازه‌گیری‌ها و پارامترهای متعددی مربوط به توزیع درزه‌ها برای تمامی شکستگی‌های طبقات سازند مزدوران جمع‌آوری شده است. در شبکه‌های شکستگی منظم، شکستگی‌ها در فواصل کوتاهی نسبت به هم قرار دارند. و در مغزه یا رخنمون محل نمونه برداری به راحتی محاسبه می‌شوند. شمارش تعداد شکستگی در امتداد یک خط عمود بر دسته شکستگی انجام می‌شود. هر دسته شکستگی در خط مربوط به خودشان اندازه‌گیری می‌شوند. در این پژوهش شکستگی‌هایی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند که صرفاً به صورت عمود در لایه‌بندی با امتداد میانگین N18E در یال جنوبی ناودیس خور واقع شده است (شکل ۴).



شکل ۳. اندازه‌گیری درزه‌ها در طبقاتی از سازند مزدوران به روش (Scan line)، در این روش فاصله حرکت L به وسیله تعداد درزه‌هایی که در طول آن هستند، تقسیم شده است، متغیر فاصله بندی به عنوان حرکت در مکان‌های مختلفی قرار دارد. جهت عکس به طرف شمال غرب (NW).

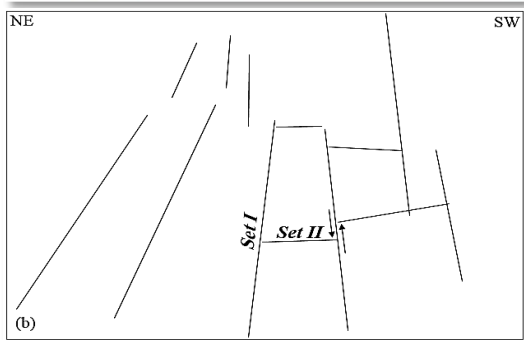
۹۸۰ متر سیلیسی کلاستیک‌های کرتاسه زیرین، سازند شورجه پوشیده شده است. بنابراین نهشته‌های آغاز کرتاسه از نوع آواری‌های سرخ رنگ سازند شورجه شکل گرفته است. این سازند در محیط‌های مردابی، دشت ساحلی، دلتایی و یا محیط سبخایی نهشته شده‌اند. سازند تیرگان (کرتاسه زیرین) از لایمستون، سنگ آهک‌های اتولیتی و مارن‌های فرعی نازک لایه تشکیل شده است که حدود ۷۰۰ متر ضخامت دارند و بر روی سازند شورجه قرار گرفته است. سازند سرچشمه (کرتاسه زیرین)، شامل مارن، مارن‌های شیلی خاکستری تا سبز رنگ، شیل مدادی و لایه‌های فرعی سنگ آهک است که حدود ۳۰۰ متر ضخامت دارد و در بالاترین بخش قرار دارد (افشار حرب، ۱۳۷۳). این سازندها در ستون چینه نگاری (شکل ۲) نشان داده شده است.

CRETACEOUS	UPPER	KALAT FORMATION	سازندهای موجود در ناودیس خور
		NYZAR FM.	
		ABTALKH FORMATION	
		ABDERAZ FORMATION	
		TURONIAN CENOMANIAN	
	LOWER	ATAMR FM.	
		SANGANEH FORMATION	
		SACHESHMEH FORMATION	
		TIRGAN FORMATION	
		NEOCOMIAN	
JURASSIC	UPPER	KIMMERIDGIAN- OXFORDIAN	MOZDURAN FORMATION
	LOWER- MIDDLE	CALLOVIAN- BATHONIAN	CHARMAN BID FORMATION
		BAJOCEAN LIASSIC?	KASHAF RUD FORMATION

شکل ۲. ستون چینه نگاری عمومی ژوراسیک - کرتاسه کپه داغ (Moussavi-Harami & Brenner 1992)

۳- روش کار

توزیع فراوانی فاصله‌بندی با استفاده از روش scan line مطالعه شده است (شکل ۳). در این روش شمارش تعداد شکستگی‌ها در امتداد یک خط عمود بر دسته شکستگی‌ها انجام می‌شود و هر دسته شکستگی در خط مربوط به خودشان اندازه‌گیری می‌شوند. در این روش جهت حرکت عمود بر میانگین امتداد دسته در طول مقطع عرضی طبقه یا در امتداد سطح طبقه برای تخمین میزان D انتخاب می‌شود.



شکل ۵. شواهد سنی دو مجموعه درزه در سطح منطقه‌ی مورد مطالعه.

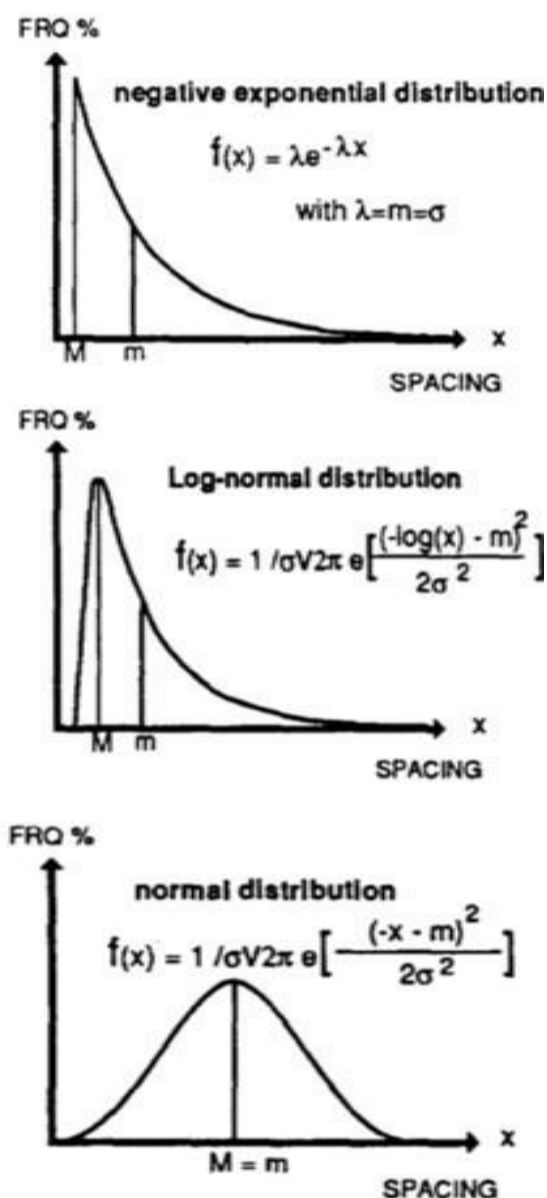


شکل ۴. سیمای کلی منطقه‌ی مورد مطالعه (سازند مزدوران واقع در یال جنوبی ناودیس خور)، دید عکس به سمت شمال

۴- الگوی شکستگی های مطالعه شده در صحرا

در قسمتی از سطح یال جنوبی ناودیس خور شکستگی‌هایی مشهود بوده است که از دو رده الگوهای شکستگی متعامد و غیر متعامد تبعیت می‌کنند. این شکستگی‌ها در مرحله‌ی اول کششی و اورتوگونال بوده و شکستگی‌های طویل را تشکیل می‌دهند. در مرحله‌ی بعد از تشکیل درزه‌های کششی اورتوگونال شکستگی‌های کوتاه‌تری پدیدار گشته‌اند که به صورت ناپیوسته در لابلای این شکستگی‌ها قرار گرفته‌اند. این شکستگی‌ها براساس تحلیل‌های عنوان شده از سن جوان‌تری برخوردار می‌باشند و الگوهای I, H را تشکیل می‌دهند. بنابراین تعدادی از این شکستگی‌ها پیوسته و تعدادی ناپیوسته می‌باشند. این دو دسته با موقعیت‌های N196 و N295 به صورت عمود در طبقات آهکی نسبت به هم قرار دارند. درزه‌ی ۱ عمود بر محور ناودیس توسعه یافته است در حالی که دسته درزه‌ی ۲ موازی محور ناودیس شکل گرفته است. به دلیل آهکی بودن این سازند، در سطح این درزه‌ها اثراتی از انحلال و فرسایش کاملاً مشهود است اما ساختارهای پولوموس در این سطح مشاهده نشده است. از بین این دو دسته درزه، دسته درزه ۱ در این پژوهش هدف تحلیل ما واقع شده است (شکل ۵). در توصیف رابطه نسبتاً خطی میانه (Huang, Angelier, 1989) یا متوسط (Gross, 1993, Narr and Suppe, 1991), Ji and Saruwatari, 1998), فاصله بندی شکستگی، از دو واژه نرخ فاصله بندی شکستگی (FSR, Gross, 1993) و شاخص فاصله بندی شکستگی (FSI, Narr and Suppe, 1991) استفاده می‌شود. شاخص (FSR Fracture

Spacing Ratio) نسبت ضخامت طبقه بندی را به میانگین فاصله بندی درزه‌ها را در یک طبقه معرفی می‌کند (Gross, 1993). FSR برای مقایسه الگوی فاصله بندی در رخنمون‌های مختلف مفید است. (FSI Fracture Spacing Index) شیب مناسب‌ترین خط در رسم ضخامت طبقه بندی در مقابل میانه فاصله بندی شکستگی برای تعداد چند طبقه با ضخامت‌های مختلف می‌باشد. نسبت بزرگی FSR و FSI شاخصی است که شدت شکستگی را نشان می‌دهد. روش‌های زیادی برای تحلیل توزیع درزه‌ها وجود دارند. انحراف معیار یکی از این روش‌ها است. انحراف معیار (STDEV) توزیع درزه‌ها، می‌تواند نشان‌گر خوبی بر کیفیت اندازه گیری‌ها باشد. کمترین انحراف معیار معرف این است که بیشتر داده‌ها نزدیک میانگین می‌باشند. بهترین و مناسب‌ترین روش مقایسه و اندازه گیری، استفاده از ضریب پراکندگی (CV) است که از نسبت، انحراف معیار (STDEV) به میانگین فاصله بندی درزه‌ها بدست می‌آید. از ضریب پراکندگی برای بررسی توزیع فضایی شکستگی‌های کششی و درزه‌ها استفاده می‌شود (Foxford et al.,



شکل ۶. انواع مختلفی از قوانین توزیع آماری فاصله بندی بر اساس مقادیر M: مد، m: میانگین و σ : انحراف معیار (Rives et al., 1992)

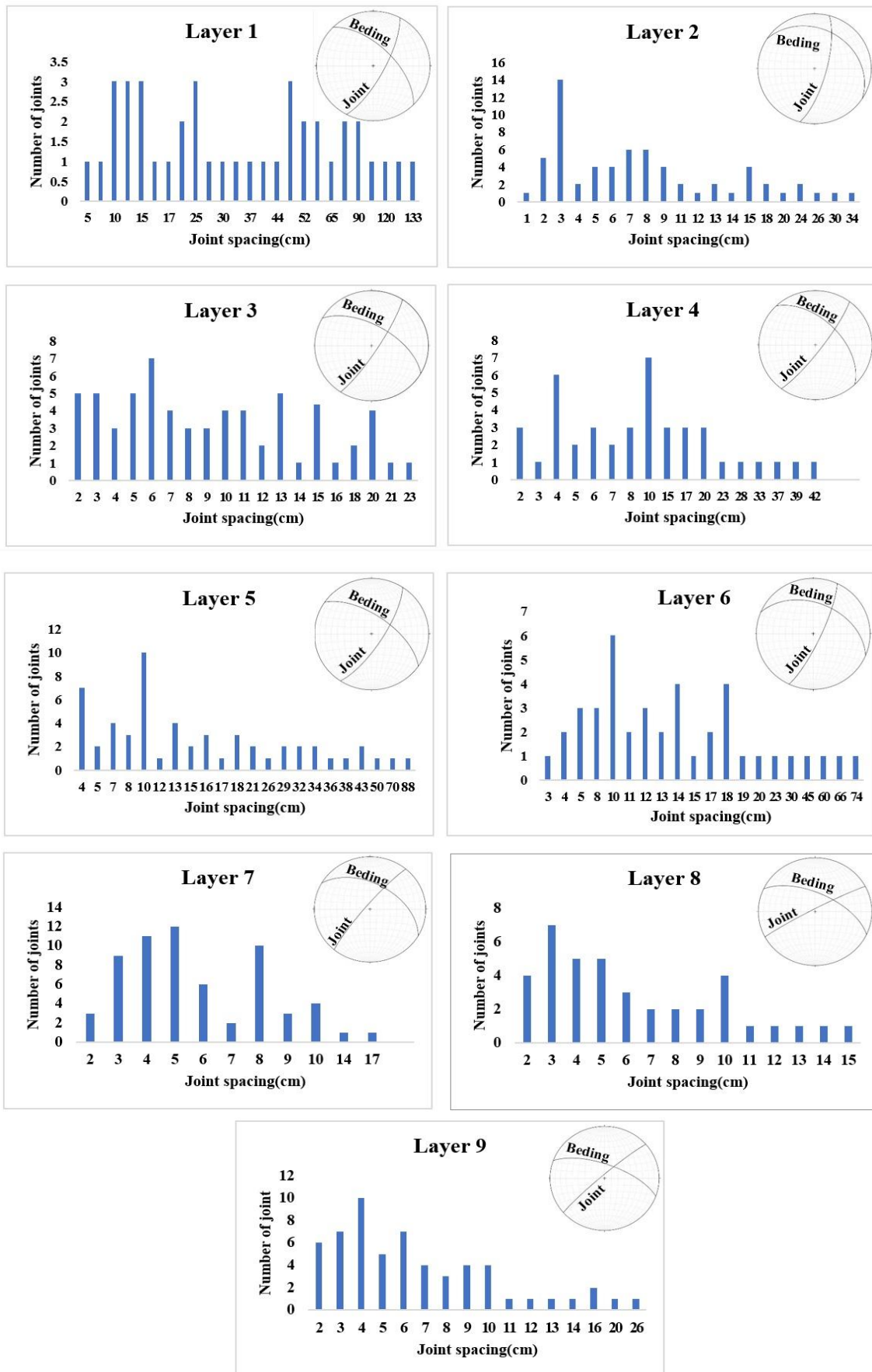
دهنده‌ی دسته بندی کم با توزیع تصادفی سازگار می‌باشد.

FSI (شاخص فاصله بندی) به عنوان نقطه مرجع در نمودار (شکل ۱۰) که میانگین ضخامت طبقه بندی به میانه فاصله‌ی درزه را نشان می‌دهد، تراکم بالای درزه‌ها در لایه‌ها را نشان می‌دهد. بنابراین مقادیر FSR را می‌توان محاسبه نمود (جدول ۱). مقادیر بالای FSR نشان دهنده‌ی اختلاف زیادی بین داده‌های فاصله‌ی درزه و ضخامت طبقات می‌باشد، که این اختلاف در

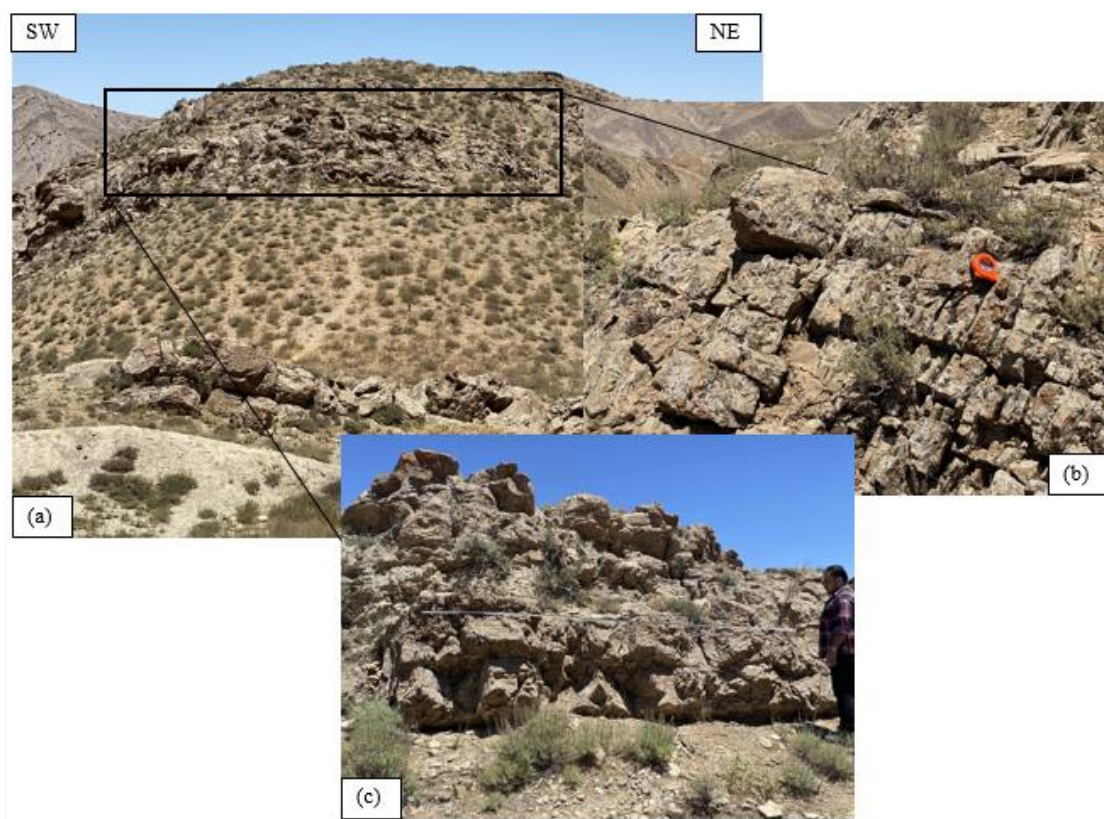
(Gillespie et al., 2001, 2000). مقادیر مختلف ضریب پراکندگی معرف آرایش خاصی از شکستگی‌های کشتی در یک سیستم شکستگی است. به طوری که در $CV > 1$ ، درزه‌ها آرایش خوشه‌ای، $CV < 1$ آرایش غیر خوشه‌ای یا متناوب و در $CV = 0$ فاصله یابی درزه‌ها مساوی می‌باشند. همچنین اشباع شکستگی‌ها نیز در حالت $CV = 1$ بیان می‌شود.

(Rives et al., 1992) عنوان نمودند که تکوین و تکامل شکستگی‌ها یک فرایند تصادفی است. توزیع فاصله بندی در مراحل تکامل شکستگی‌ها از یک توزیع نمایی منفی آغاز و به نرمال لگاریتمی و نهایتاً توزیع نرمال می‌رسد. لذا توزیع فاصله بندی در شکستگی‌ها را می‌توان با یکی از توزیع‌های نرمال، نرمال لگاریتمی و نمایی منفی توضیح داد (شکل ۶). داده‌های فاصله بندی برای ۹ طبقه در استریوگرام‌های شکل ۷ ترسیم شده‌اند و در شکل ۸ نمایی از طبقات برداشت شده در صحرا قابل مشاهده است. در این استریوگرام‌ها تعداد فاصله بندی‌ها در مقابل فاصله بندی درزه‌ها پلات شده است. توزیع فاصله بندی در این نمودارها از توزیع نرمال و نرمال لگاریتمی تبعیت می‌کند. نرخ مد به میانگین از ۰/۲۲ تا ۰/۸۵ در تغییر است. این مقادیر نشان دهنده‌ی آن است که توزیع فاصله بندی در تمامی طبقات به نوعی از نوع نرمال لگاریتمی است. اما برخی از لایه‌ها که میزان مد به میانگین آن به ۱ نزدیک‌تر است، نمودار به سمت نرمال پیش می‌رود. در این طبقات چون مقادیر مد به میانگین کوچک‌تر از یک هستند از این رو توزیع درزه‌ها در این سنگ‌ها به اشباع نرسیده است. در طبقه ۷، استریوگرام داده‌های فاصله نزدیک به توزیع نرمال می‌باشد و نسبت مد به میانگین در آن ۰/۸۵ و ضریب پراکندگی (CV)، ۰/۴۶ می‌باشد (شکل ۹). انحراف استاندارد فاصله و مقادیر میانگین فاصله در این طبقات (جدول ۱) به وضوح متفاوت هستند و مقادیر انحراف معیار کمتر از میانگین فاصله‌ی درزه می‌باشد.

ضریب پراکندگی، نرخ انحراف استاندارد فاصله به میانگین فاصله می‌باشد. مقادیر بالای FSR نشان دهنده اختلاف بالایی بین فاصله شکستگی و ضخامت طبقه بندی در طبقات ۱ تا ۹ سازند مزدوران می‌باشد که این اختلاف در طبقه ۱ زیاد می‌باشد. مقادیر پایین C_v نشان



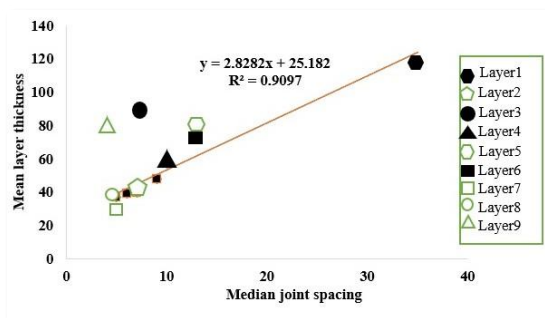
شکل ۷. توزیع فواصل درزه‌ها در طبقات ۱ تا ۹ سازند مزدوران که مربوط به توزیع لگاریتمی نرمال می‌باشد. هیستوگرام طبقه ۷ به توزیع نرمال نزدیک می‌باشد.



شکل ۸. نمایش تعدادی از لایه‌های برداشت شده در بررسی صحرایی از سازند مزدوران.

جدول ۱. انحراف استاندارد و مقدار میانگین فاصله درزه‌ها در طبقات ۱ تا ۹ در سازند مزدوران

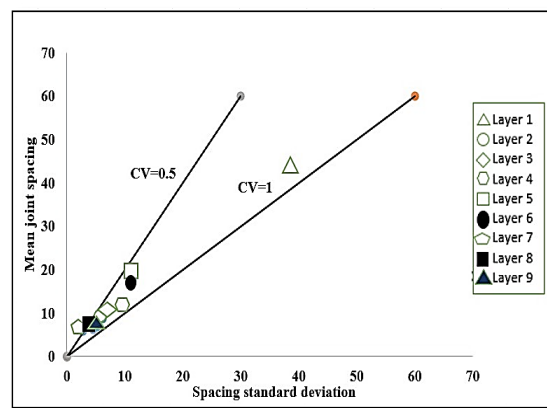
لایه	میانگین ضخامت لایه (cm)	میانگین فاصله درزه (cm)	انحراف استاندارد فاصله بندی	FSR	Cv
لایه ۱	۱۱۷/۴۴	۴۳/۶۵	۳۸/۷	۳/۳۵	۰/۶۱۹
لایه ۲	۳۹/۵	۸/۷۳	۶/۱۴	۵/۶۴	۰/۷۰۳
لایه ۳	۴۸	۹/۵۵	۶/۳۱	۵/۳۳	۰/۶۶
لایه ۴	۵۷	۱۲/۵۴	۹/۴۹	۵/۷	۰/۷۵۶
لایه ۵	۷۸	۱۸/۳۷	۱۱/۳۸	۶	۰/۶۱۹
لایه ۶	۷۲	۱۷/۲۶	۱۱/۳۲	۵/۵۳	۰/۶۵۵
لایه ۷	۳۰	۵/۸۸	۲/۷۴	۷/۵	۰/۴۶۵
لایه ۸	۳۷	۶/۲۸	۴/۵۲	۷/۴	۰/۷۱۹
لایه ۹	۳۹	۶/۸۲	۵/۲۴	۶/۵	۰/۷۶۸



شکل ۱۰. میانه فاصله‌ی درزه به میانگین ضخامت طبقه‌بندی. نمودار نشان می‌دهد که هر دو مقدار ضخامت طبقه‌بندی و فاصله‌ی درزه در منطقه‌ی مورد مطالعه رو به افزایش می‌باشند.

نرمال لگاریتمی مشاهده می‌شود و میزان مد به میانگین مقادیری از ۰/۲۲ تا ۰/۷۹ برای طبقات ۱ تا ۹ بجز طبقه ۷ را نشان می‌دهد. این اعداد نشان دهنده‌ی اشباع نبودن مجموعه درزه‌ها در این طبقات می‌باشند. بر اساس مطالعات (Laderia and Price, 1981, Huang, 1998, Ji and Saruwatari, 1998 and Angelier) طبقاتی که دارای ضخامت کمی هستند تراکم درزه‌ها در آن‌ها بالا بوده است و با افزایش ضخامت از تراکم درزه‌ها در طبقات کاسته می‌شود. در طبقه ۱ مشاهده ضخامت بالایی هستیم بنابراین تراکم درزه‌ها در این طبقه نسبت به دیگر طبقات کمتر می‌باشد. همچنین در طبقه ۷ ما شاهد کمترین ضخامت هستیم بنابراین تراکم درزه‌ها بالایی را مشاهده می‌کنیم. با افزایش مقدار FSR، میزان تراکم درزه‌ها با کاهش ضخامت طبقات افزایش می‌یابد. در طبقه ۷ میزان FSR در مقایسه با دیگر طبقات بیشتر می‌باشد در نتیجه میزان تراکم درزه‌ها بالا بوده و از ضخامت کمتری نسبت به بقیه‌ی طبقات برخوردار بوده است. دلیل دیگری که می‌تواند تراکم بالای درزه‌ها را در این طبقه به اثبات رساند، مقدار میانگین فاصله‌بندی می‌باشد که این مقدار در این طبقه از ضخامت طبقه کمتر می‌باشد (جدول ۱). مقادیر بالای FSR در این طبقات نشان می‌دهد که اختلاف زیادی بین مقادیر میانگین فاصله‌بندی و ضخامت طبقه می‌باشد و در طبقه ۱ که میزان FSR نسبت به بقیه طبقات پایین‌تر بوده است ما شاهد اختلاف حدود ۳ برابری بین این دو پارامتر می‌باشیم. بر اساس مطالعات (Gillespie, 2003) مقادیر $Cv < 1$ نشان

طبقه ۱ با مقدار FSR، ۳/۳۵ خیلی بیشتر از دیگر طبقات می‌باشد. در منطقه‌ی مورد مطالعه، تراکم درزه‌ها تقریباً بالا می‌باشند و مقادیر $Cv < 1$ نشان دهنده‌ی توزیع یکنواخت فاصله‌ی درزه‌ها می‌باشد (Gillespie, 2003).



شکل ۹. میانگین فاصله درزه نسبت به انحراف استاندارد در طبقات ۱ تا ۹ سازند مزدوران. تمامی مقادیر CV کمتر از ۱ می‌باشند.

۵- بحث

در این تحقیق، مجموعه درزه‌ی کششی با امتداد میانگین N18E، به عنوان یک دسته درزه‌ی سیستماتیک که در طبقات آهکی سازند مزدوران با سن ژوراسیک پسین در کپه داغ توسعه یافته است مورد مطالعه قرار گرفته است. براساس مطالعات (Rives et al., 1992) قوانین احتمالی توزیع لگاریتمی نرمال، نمایی منفی و نرمال برای تحلیل فاصله‌بندی درزه‌ها از استریوگرام‌های شکل ۶ می‌توان استفاده نمود. در این نمودارها با مقدار مد، میانگین و انحراف معیار می‌توان با یکی از این قوانین، نمودار را تحلیل کرد. بر اساس این تعاریف نمودارهای موجود در این مقاله حالت نرمال لگاریتمی را دارا می‌باشند. در یک مجموعه درزه، توزیع فواصل به عنوان نشانه‌ای از اشباع بودن درزه‌ها محسوب می‌شود (Rives et al., 1992) و پیشنهادی که دارند براین مبناست که نرخ مد به میانگین می‌تواند سطح اشباع مجموعه را نشان دهد. به این صورت که هرچه نسبت مد به میانگین به ۱ نزدیک‌تر باشد مجموعه درزه اشباع‌تر است. طبقه ۷ در این مطالعات تقریباً حالتی اشباع داشته و نمودار آن به سمت نرمال شدن پیش می‌رود. در دیگر نمودارها این توزیع به صورت

بین فواصل درزه و میانگین ضخامت طبقات می‌باشند. ۳- مقدار $Cv < 1$ آرایش متناوب یا تقریباً یکنواخت درزه‌ها را مشخص می‌کند که درزه‌های مورد مطالعه در ۹ طبقه مقادیر $Cv < 1$ را نشان می‌دهند. مجموعه درزه‌های این محدوده با سطح بالایی از تراکم درزه‌ها مشخص می‌شود. مقادیر نسبت مد به میانگین در این طبقات از ۰/۲۲ تا ۰/۸۵ است، یعنی هرچقدر این عدد به ۱ نزدیک‌تر شود مجموعه درزه‌ها حالت اشباع‌تری را نشان می‌دهند و با مقدار عدد ۱ درزه‌ها کاملاً اشباع می‌باشند. در تمامی طبقات بجز طبقه ۷ توزیع نرمال لگاریتمی و مقادیر نسبت مد به میانگین نشانی از عدم اشباع مجموعه درزه‌ها در این طبقات می‌باشد. زمانی که به اندازه‌ی درزه‌های خاص نگاه می‌کنید، توزیع‌های فاصله، ممکن است توزیع‌های نرمال یا نرمال لگاریتمی را نشان دهد که اشباع یا عدم اشباع بودن مجموعه درزه را نشان می‌دهد.

۵- منابع

- Afshar-Harb, A., 1979. The stratigraphy, tectonic and petroleum geology of the Kopeh Dag, northeastern Iran, "Ph.D. thesis, pet. Geol. Sect., R. Sch. of Mines, Imp. Coll. Of Sci. and technol., London. Bai, T., Pollard, D.D., Gross, M.R., 2000. Mechanical prediction of fracture aperture in layered rocks. J. Geophys. Res 105, 707-721.
- Brunet, M. F.; Korotaev, M. V.; Ershov, A. V.; Nikishin, A. M. 2003. "The South Caspian Basin: a review of its evolution from subsidence modelling", Sedimentary Geology, V.156, P.119-148.
- Francis Odonne, Carine Lézin, Gérard Massonnat, Gilles Escadeillas., 2006. The relationship between joint aperture, spacing distribution, vertical dimension and carbonate stratification: An example from the Kimmeridgian limestones of Pointe-du-Chay (France). Struct. Geol,

دهنده‌ی توزیع استاندارد فاصله‌ی درزه می‌باشد و براین اساس داده‌های آماری ما مقادیر $Cv < 1$ را نشان داده است و با این نظریه می‌توان اثبات نمود که فاصله‌ی درزه‌ها از توزیع یکنواختی برخوردار می‌باشند. براساس بررسی‌های میدانی در یال جنوبی ناودیس خور واقع در سازند مزدوران (شکل ۵)، در این سازند دو دسته شکستگی شناسایی شده است. این شکستگی‌ها کششی بوده و عمود بر طبقات شکل گرفته‌اند. دسته‌ی اول شکستگی‌هایی با امتداد N196 به صورت سیستماتیک و عمود بر یال جنوبی ناودیس تشکیل شده‌اند. دسته دوم شکستگی‌هایی با امتداد N295 به موازات محور ناودیس هستند. شکستگی‌های مجموعه I در اکثر مکان‌های سراسر چین مشاهده می‌شوند و به طور سیستماتیک عمود بر لایه‌بندی هستند. بنابراین براساس روابط مقاطع درزه‌ها در سطح ناودیس نتیجه می‌شود که مجموعه I از مجموعه II قدیمی‌تر است. بنابراین، ما مجموعه I را به عنوان قدیمی‌ترین مجموعه تفسیر می‌کنیم.

۴- نتیجه‌گیری

۱- گسترش درزه‌ها در کرنات‌های سازند مزدوران واقع در یال جنوبی ناودیس خور در منطقه‌ی کپه داغ مورد مطالعه قرار گرفته است. در محدوده‌ی مورد مطالعه مجموعه درزه‌ها با موقعیت میانگین (N18E) به عنوان مجموعه درزه‌های سیستماتیک پدیدار شدند که عمود بر یال جنوبی ناودیس خور تشکیل شده‌اند.

۲- در این منطقه می‌توان رابطه‌ی بین میانه‌ی فاصله‌ی درزه و ضخامت طبقه بندی را مشاهده کرد. با افزایش ضخامت طبقه بندی سازند مزدوران، فاصله بندی بین درزه‌ها نیز افزایش می‌یابد و برعکس. با کاهش ضخامت طبقه بندی، مقدار انحراف از معیار فاصله بندی بین درزه‌ها کاهش می‌یابد و در نتیجه با کاهش ضخامت طبقه بندی، مقدار فاصله بندی درزه‌ها در طبقات به میانگین فاصله بندی نزدیک‌تر می‌شود و این موضوع نشان می‌دهد که با کاهش ضخامت طبقه بندی، توزیع درزه‌ها یکنواخت‌تر شده و مقدار فاصله بندی نیز برابر می‌شود. ضخامت طبقه بندی از مهم‌ترین عوامل کنترل کننده فاصله بندی شکستگی‌ها است. مقادیر بالای FSR نشان دهنده‌ی اختلاف زیاد

- Helgeson, D. E., and Aydin, A., 1991. Characteristics of joint propagation across layer interfaces in sedimentary rocks. *Journal of Structural Geology* 13, 897-911.
- Hobbs, B. E., 1967. The formation of tension joints in sedimentary rocks; an explanation. *Geol. Mag* 104, 550-556.
- Hodgson, R.A., 1961a. Classification of structures on joint surfaces. *American Journal of Science* 259, 493-502.
- Huang, Q., Angelier, J., 1989. Fracture spacing and its relation to bed thickness. *Geological Magazine* 126, 355-362.
- Huber, H., 1977a. Geological map of Iran – Sheet No.2-North Central Iran ,NIOC.
- Huber, H., 1977b. “Geological map of Iran – Sheet No.3-North East Iran”,NIOC.
- Hudson, J.A., and S.D. Priest, 1983. Discontinuity Frequency in Rock Masses. *International Journal Rock, Mechanics and Mining Sciences* 20, 73-89.
- Ji, S., Saruwatari, K., 1998. A revised model for the relationship between joint spacing and layer thickness .*Journal of Structural Geology* 20, 1495-1508.
- Lachenbruch, A. H., 1961. Depth and spacing of tension cracks. *Journal of Geophysical Research* 66, 4273-4292.
- Ladeira, F.L., Price, N.J., 1981. Relationship between fracture spacing and bed thickness . *Journal of Structural Geology* 3, 179-183.
- Narr, W.; and Suppe, J., 1991. Joint spacing in sedimentary rocks. *Journal of Structural Geology* 13, 1037-1048.
- Norris, D. K., 1966. The mesoscopic fabric of rock masses about some Canadian coal mines. *Proc*, 1-13. .
- Gillespie, P. A., Walsh, J. J., Watterson, J., Bonson, C. G and Manzochi, T., 2001. Scaling relationships of joint and vein arrays from the Burren, Co. Clare, Ireland. *J. Struct. Geol* 23, 183-201.
- Griggs, D. T. and Handin, J., 1960. Observations on fracture and an hypothesis of Earthquakes. *Geological Society of America memoir* 79, 347-364.
- Gross, M. R., 1993. The origin and spacing of cross joints: examples from the Monterey Formation, Santa Barbara Coastline, California. *Journal of Structural Geology* 15, 737-751.
- Gross, M. R., and Engelder, T., 1995. Fracture strain in adjacent units of the Monterey Formation: Scale effects and evidence for uniform displacement boundary conditions. *Journal of structural Geology* 17, 1303-1318.
- Gross. M.R., Fischer, M.P., Engelder, T., Greenfield, R.J., 1995. Factors controlling joint spacing in interbedded sedimentary rocks: integrating numerical models with field observations from the Monterey Formation, USA. In: Ameen, M.S. (Ed.), *Fractography: Fracture Topography as a tool in Fracture Mechanics and Stress Analysis*. Geological Society Special Publication 92, 215-233.
- Hancock, P. L., 1985. Brittle microtectonics: principle and practice. *Journal of Structural Geology* 7, 437-457.
- Harris, J.F., Taylor, G. L. and Walper, J. L., 1960. Relation of Deformational Fractures in Sedimentary Rocks to Regional and Local Structure. *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol* 44, 1853-1873.



- Price, N. J., Cosgrove, J. W., 1990. Analysis of Geological Structures. Cambridge University Press, Cambridge. 502 pp.
- Pollard, D.D., Aydin, A., 1988. Progress in understanding jointing over the past century. Geological Society of America Bulletin 100, 1181-1204.
- Price, N., 1966. Fault and Joint Development in Brittle and Semi-Brittle Rock. Oxford, England, Pergamon Press. 176pp.
- Rives, T., Razack, M., Petit, J. P. and Rawnsles, K. D., 1992. Joint spacing analogue and numerical simulations. I, Struct. Geol 14, 925-937.
- Ronald N. M., David A. F., Alan P. M., Kevin J. S., 2017 Mechanical stratigraphic controls on natural fracture spacing and penetration. Journal of Structural Geology, 160-170.
- Segall, P. and Pollard, D.D., 1983b. Joint formation in Granitic rock of the Sierra Nevada. Geological Society of America Bulletin 94, 563-575.
- Wu, H., Pollard, D. D., 1995. An experimental study of the relationship between joint spacing and layer thickness. Journal of Structural Geology 17, 887-905.
- Conger, Bit, Soc, rock Mech, Lishon, Portugal, 1910-1980.
- Lyberis, N., and Manby, G., Poli, J. T., Kalugin, V., Yousouphocaev, H and Ashirov, T., 1998. "Post-Triassic evolution of the southern margin of the Turan plate", C. R. Acad. Sci, V.326, P.137-143.
- Lyberis, N., and Manby, G., 1999. Oblique to orthogonal convergence across the Turan block in the post-Miocene. AAPG Bull 83, 1135-1160.
- Mastella, L., 1972. Interdependence of joint density and the thickness of layers in the podhale. Hysch, Bull, Del, Anlac, Plc, Des, Sco 20, 187-196.
- McQuillan, H., 1973. Small-Scale fracture density in Asmari Formation of southwest Iran and its relation to bed thickness and structural setting. American Association of petroleum Geologists Bulletin 57, 2367-2385.
- Moussavi-Harami, R., Brenner, R. L., 1992. "Geohistory analysis and petroleum reservoir characteristics of Lower Cretaceous (Neocomian) sandstones, eastern Kopeh-Dagh Basin, Northeastern Iran", Am. Assoc. Pet. Geol. Bull, V.76, P.1200-1208.
- Narr, W.; and I. Lerche, 1984. A Method for Estimating Subsurface Fracture Density in core. American Association of Petroleum Geology Bulletin 68, 637-648.
- Nelson, R. A., 2001. Geological analysis of naturally fractured reservoir. 2nd edition, Gulf professional publishing, 331pp.
- Norris, D. K., 1966. The mesoscopic fabric of rock masses about some Canadian coal mines. Proc, Conger, Bit, Soc, rock Mech, Lishon, Portugal, 1910-1980.

