

بررسی و تحلیل چین خوردگی های حوزه زغالی شمال کرمان

حسن منصوری؛ دانشجوی گرایش تکتونیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، شرکت معدنی یاقوت شرق، تهران، ایران

علی خدایمی*؛ استادیار، دانشگاه فرهنگیان پردیس خواجه نصیر، کرمان، ایران

محسن پور کرمانی؛ استاد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

امیر شفیعی بافتی؛ استاد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرنند، کرمان، ایران

سپه‌یلا بوذری؛ استاد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

یدالله پوراحمدطغرل جردی؛ دانشجوی گرایش تکتونیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، شرکت معدنی یاقوت شرق، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۰۲۱

چکیده

هدف این پژوهش بررسی استرین و کوتاه شدگی در حوزه زغالی شمالی کرمان، به سبب تنوع ساختاری زمین ساختی می باشد. دگرریختی اصلی گستره تحت تاثیر تنش های ناشی از فشارش و کشش در ایران مرکزی به صورت چین خوردگی و گسلش شکل گرفته است. گسل کوهبنان از مهمترین ساختار در این گستره است که طی کواترنری سبب تغییرات زمین ساختی متعددی در حوزه زغالی شمال کرمان شده است. با واکاوی چین خوردگی ها و بررسی کوتاه شدگی های حاصل از چین های ناحیه برشی که دارای آرایش پلکانی بوده و محور آن ها نسبت به امتداد اصلی ناحیه برشی می توان به تنش فشاری ناشی از حرکت راست گرد گسل کوهبنان اشاره کرد. چهل درصد چین خوردگی ها نتیجه تنش فشاری در طول رویدادهای زمین ساختی آلپ است. با توجه به بررسی های صورت گرفته نشان دهنده فشردگی چین های گستره از طرفین به مرکز و شکل گیری چین های جدید در دو انتها می باشد. با توجه به توالی کامل تقدم و تاخر ساختارهای خمش پذیر و شکنا به دلیل قطع شدن یال های اکثر چین های منطقه توسط گسل ها، با احتیاط می توان گفت به غیر از دو گسل کوهبنان و طرز، که در شکل گیری حوضه زغالی شمال کرمان نقش عمده ای داشته اند و قبل از چین خوردگی ها وجود داشته اند، بقیه گسل های منطقه بعد از شکل گیری چین ها به وجود آمده اند.

واژه های کلیدی: چین خوردگی، حوزه زغالی، کرمان، زمین ساخت، استرین.

۱- مقدمه

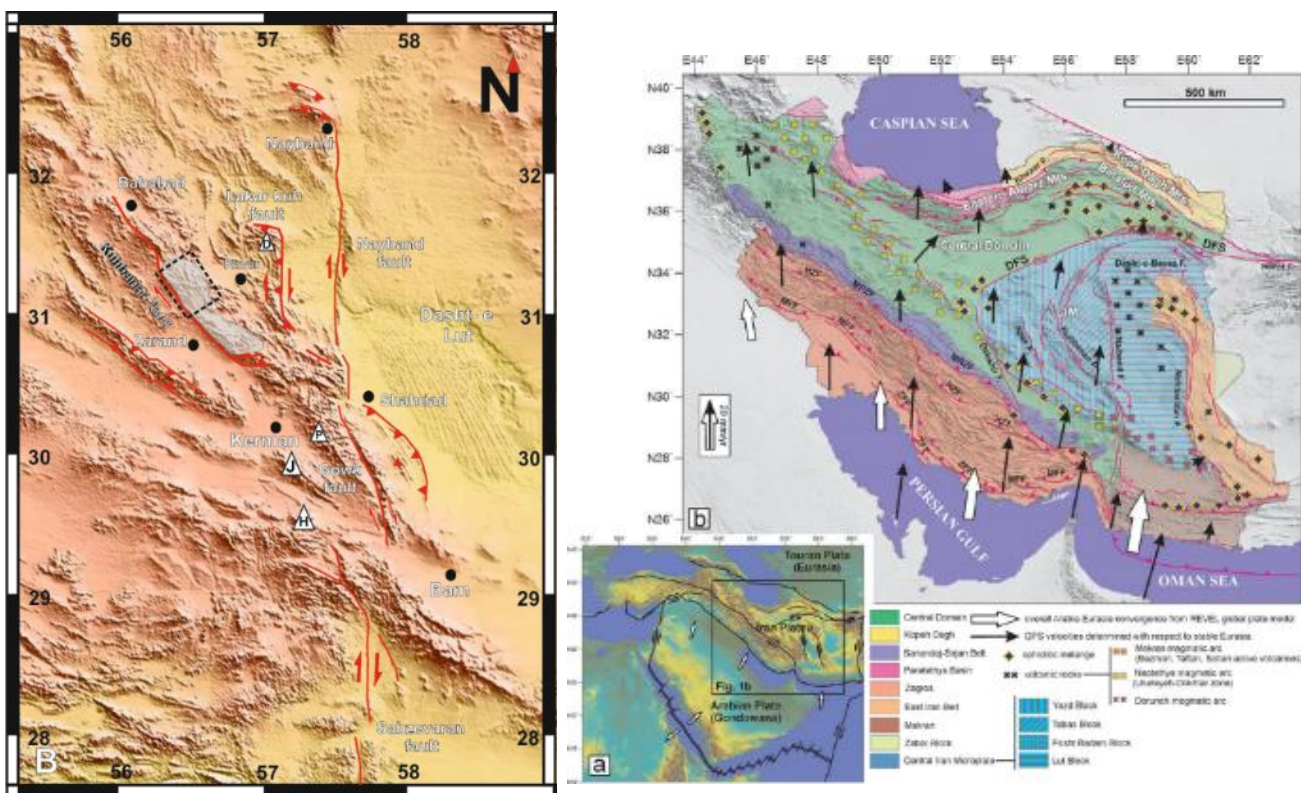
گستره مورد مطالعه در شمال استان کرمان در ایران مرکزی قرار گرفته است. زمین ساخت امروزی ایران زمین متاثر از حرکات همگرایی صفحات اورسیا- عربی می باشد (بربریان، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۱) مرکز و خاور ایران مرکزی ترکیبی از بلوک های زمین ساختی است که توسط گسل های بنیادی مانند: نایبند و کوهبنان از یکدیگر تفکیک می شوند. تغییرات ضخامت رخساره های رسوبی یکسان (برای مثال سازند آهکی بادامو و سری دزو) می تواند دلیلی برای عملکرد زمین ساخت قائم برای بلوک های متعدد ایران مرکزی باشد (شفیعی بافتی ۱۳۷۷، خردمند ۱۳۷۸). این بلوک ها که از فانروزوئیک توسط حوضه های اقیانوسی کوچکی از یکدیگر تفکیک گردیده بودند (بربریان و کینگ، ۱۹۸۱، تیروول، ۱۹۸۳) از ترشیاری میانی شروع به بسته شدن کرده اند (مک کال، ۱۹۹۶). ولی بسیاری از پهنه های برخوردی تا میوسن میانی شروع به دگر شکلی نکرده اند (دووی، ۱۹۸۰)، چین خوردگی رسوبات دریائی جوان تر از ۱۲ میلیون سال در فلات ایران نشان دهنده دگر شکلی این ناحیه از میوسن به بعد می باشند. این شواهد مقدار کمی از دگر شکلی گسترده فلات ایران را قبل از ۵ میلیون سال گذشته نشان می دهند (آلن و همکاران ۲۰۰۳).

در گستره مورد مطالعه، سامانه های گسلی کوهبنان، راور، لکرکوه، داوران و نایبند از مهم ترین گسل های فعال می باشند که فرورفتگی حدفاصل شان را به وجود آورده اند. با توجه به شواهد ساختاری و ریخت زمین ساختی گسل کوهبنان (شفییعی بافتی ۱۳۸۵ و بربریان، ۲۰۰۵). می توان چنین استنباط نمود که گسل مورب لغز کوهبنان که از دو قسمت اصلی شمالی و جنوبی متشکل از یک سری قطعات با حرکت راستالغز راست گرد تشکیل شده که آرایش پله به راست آن ها یک الگوی نردبانی شکل را نمایش می دهد (شکل ۱). با حرکت به سمت انتهای جنوبی گسل کوهبنان، محلی که اثر گسل کوهبنان تدریجی ناپدید می شود، رشته کوه های زرد- کرمان به وسیله گسل های معکوسی قطع می گردند و کوتاه شدگی در طول این گسل ها به صورت راندگی ها و چین هایی با سطح محوری خمیده صورت می پذیرد، به طوری که این چین ها در رسوبات جوان و کواترنر نیز دیده می شوند. در ناحیه میان قطعه جنوبی گسل کوهبنان و گسل نایبند یک آرایش پله به راست از چندین گسل فعال رانده و متقاطع با گسل کوهبنان با روند خاوری- باختری تا شمال خاوری- جنوب باختری (مانند داربیدخون، داهوئیه، دهنان، پاسیب، دهو) وجود دارد. این گسل های رانده متقاطع که منشعب از گسل کوهبنان و ناشی از انتقال یافتن جنبش این گسل بر روی آن ها است، زلزله هایی با بزرگای متوسط- بالا را ایجاد نموده اند به طور کلی دگر شکلی حاصل شده در طول و بین گسل های کوهبنان، لکرکوه، داوران و نایبند به صورت کوتاه شدگی در طول گسل های رانده متقاطع شمال کرمان و چین های جوان جذب و مستهلک می شود (شفییعی بافتی ۱۳۹۷). چین خوردگی های گستره در اثر کوهزائی سیمین انتهایی و در مرز زمانی ژوراسیک - کرتاسه اتفاق افتاده است. تکامل این ساختار به همراه ساختارهای فرعی در فاز چین خوردگی لارامید و فازهای بعدی (آرتی نین و والابین) بوده است که شدت تاثیر گذاری آن به دلایل جابه جائی های بلوکی و برهم افتادگی حوادث چین خوردگی از شدت کمتری برخوردار است. حوادث بعدی نیز حاصلی جز جابجاشدگی های توده ها در قالب حرکت گسل ها و پیچیدگی ساختارهای قبلی نداشته اند. در این مقاله بررسی و آنتنش ساختارهای چین خورده هدف قرار گرفته است .

گستره مورد مطالعه به دلیل توالی سازندهای ماسه‌سنگی و شیلی، ساختارهای چین‌خورده در مقیاس‌های گوناگونی حادث و شکل گرفته‌اند که بررسی مهمترین ساختارهای چین‌خورده که شامل ۱۵ ساختار می‌باشد، پرداخته شده است.

۲- زمین‌شناسی ساختاری و زمین‌ساخت منطقه

منطقه مورد مطالعه در حقیقت قسمت شمالی حوزه زغال خیز استان کرمان می‌باشد که به ناودیس زغالی کرمان مشهور است (تکنواکسپورت ۱۹۶۹ گزارش). حوضه زغالی کرمان در قسمت جنوب‌شرقی ناودیس شکنجی^۱ کرمان - بهاباد قرار گرفته است. این ناحیه چین-گسل خورده از جنوب به ناحیه آتشفشانی ارومیه-دختر، از شمال به ارتفاعات راور کلمرد، از شمال‌غرب به بلندی‌های بافق - ساغند، و از شرق و جنوب شرقی به ارتفاعات لکرکوه محدود می‌گردد. ناودیس یاد شده از جنوب‌غرب به گسل پی‌سنگی کوهبنان و از سمت شمال‌شرق به گسل بهاباد- طرز محدود گردیده است.



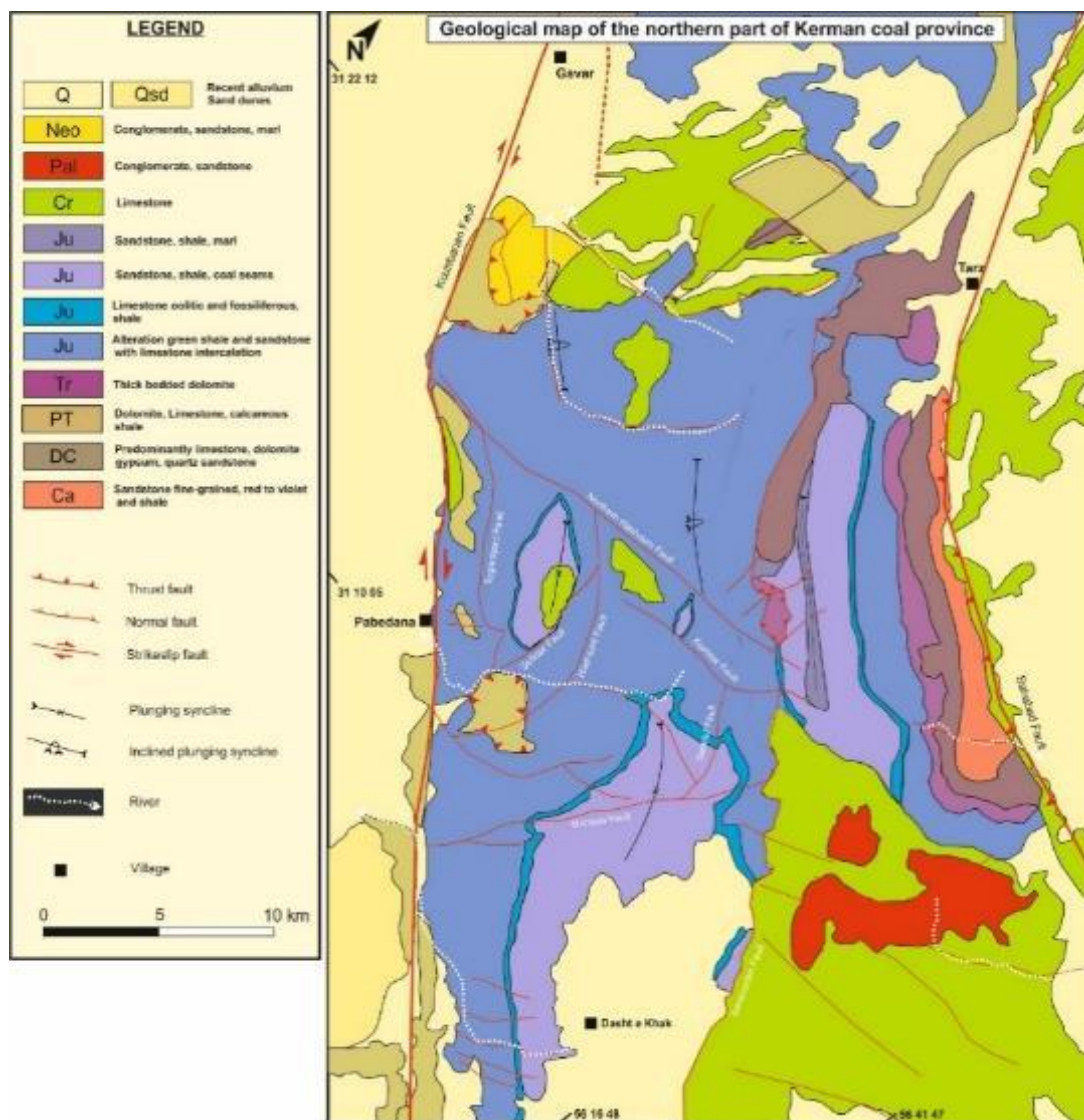
شکل ۱: (a و b) موقعیت جغرافیایی گستره مورد مطالعه بر روی نقشه جهت همگرایی (جوادی ۲۰۱۴) (B) نمای ارتفاعی از مرکز و شرق ایران. گسل‌ها با رنگ قرمز به نمایش درآمده‌اند. در قسمت شمال کرمان یک همگرایی از گسل‌های پی‌سنگی مشاهده می‌شود. ناودیس زغالی کرمان با سایه خاکستری و خط چین مشکی، منطقه مورد مطالعه را نمایش می‌دهد. قتل رسته کوه‌ها با مثلث‌های سفید نشان داده شده‌اند: D: قله دربند، P: قله پلوار، J: قله چوپار، H: قله هزار.

¹ Synclinatorium

ناودیس کرمان - بهاباد شامل ساختارهای متعدد با رخساره‌های سنگی متفاوت و تاریخ تشکیل و تکوین مختلف می‌باشند که در ادامه به آنها پرداخته شده است: اولین واحد سنگ شناسی - ساختاری متعلق به ماسه‌سنگ‌های آرکوزی و کوارتزآرنایت چین‌خورده می‌باشد که متعلق به سکوی کامبرین ایران - عربی بوده و در فاز کوهزایی کاتانگایی دگرشکل گردیده‌اند. رخنمون این واحد در خارج از حوزه زغالی نیز قابل مشاهده می‌باشد. دومین واحد سنگ‌شناسی - ساختاری شامل مجموعه رسوبات ضخیم نئوپروتروزوییک پایانی تا انتهای ژوراسیک فوقانی می‌باشد که با ناپیوستگی دگرشیب شدید از مجموعه‌های زیرین و رویی خود جدا می‌شود. از لحاظ فرم ساختاری (سنگ‌شناسی، نحوه چین‌خوردگی‌ها، مجموعه رسوبات ضخیم نئوپروتروزوییک را به دو زیر مجموعه میتوان تقسیم نمود: الف: زیر مجموعه تختانی: شامل رسوبات نئوپروتروزوییک فوقانی، پالتوزوییک تا قسمتی از تریاس فوقانی (رتین) می‌شود که به صورت کلی ناودیس شکنجی کرمان - بهاباد را محاط کرده است. از لحاظ ساختاری این زیر مجموعه شامل چین‌خوردگی‌های نامتقارنی است که دارای امتداد شمال غرب - جنوب شرق بوده که توسط چین‌های عرضی متعلق به دگرشکلی‌های بعدی تحت تاثیر قرار گرفته‌اند. ب: زیر مجموعه فوقانی: شامل ماسه‌سنگ‌ها، شیل‌ها به همراه لایه‌های زغال سنگ با سن تریاس تا ژوراسیک - کرتاسه زیرین می‌باشد. از لحاظ فرم ساختاری این زیر مجموعه نیز مانند زیر مجموعه زیرین بوده و به دلیل تحمل بیشتر واتنش، دگرشکلی بیشتری را نشان می‌دهد. سومین واحد سنگ‌شناسی - ساختاری شامل سنگ آهک‌ها و رسوبات کنگلومرای - ماسه‌ای می‌باشد. این واحد توسط ناپیوستگی دگرشیب برروی چین‌خوردگی‌های واحد دوم قرار گرفته است (شکل ۱). با نگاه به تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه، از اولین مواردی که به چشم می‌خورد روند شمال غرب - جنوب شرق چین‌خوردگی‌ها و مقیاس متفاوت چین‌ها که از چند صدمتر تا چندین کیلومتر متغیر است، می‌باشد (شکل ۳). بعضی از این چین‌خوردگی‌های کوچکتر در اثر تغییرات ثانویه از چین‌خوردگی‌های بزرگتر پدید آمده‌اند و چین‌های رده دوم می‌باشند که در قسمت‌های بعدی به آن‌ها پرداخته می‌شود. در شکل ۳ چین‌های منطقه مورد مطالعه روی تصویر ماهواره‌ای جانمایی گردیده‌اند. باید به این نکته نیز توجه داشت که با توجه به توالی رسوبی مقاوم و نامقاوم غالب در منطقه (ماسه‌سنگ و شیل) چین‌های غیرتکتونیکی (ثقلی، انبساطی و ...) به فراوانی در منطقه یافت می‌گردند. این چین‌ها با هر مقیاس در منطقه، مورد تجزیه و تحلیل قرار نگرفته‌اند. یکی از معمولی‌ترین تقسیم‌بندی چین‌ها که معرف میزان واتنش موجود در منطقه می‌باشد، واکاوی میزان بسته‌بودن^۲ چین‌ها در آن منطقه می‌باشد. معروفترین این تقسیم‌بندی‌ها متعلق به (فلوتی ۱۹۶۴) می‌باشد که زاویه بین دوپال از محل اتصال ناحیه لولا به یال‌ها می‌باشد. براین اساس چین‌ها به ۷ گروه تقسیم می‌شوند.

¹ Structural style

² Tightness of fold



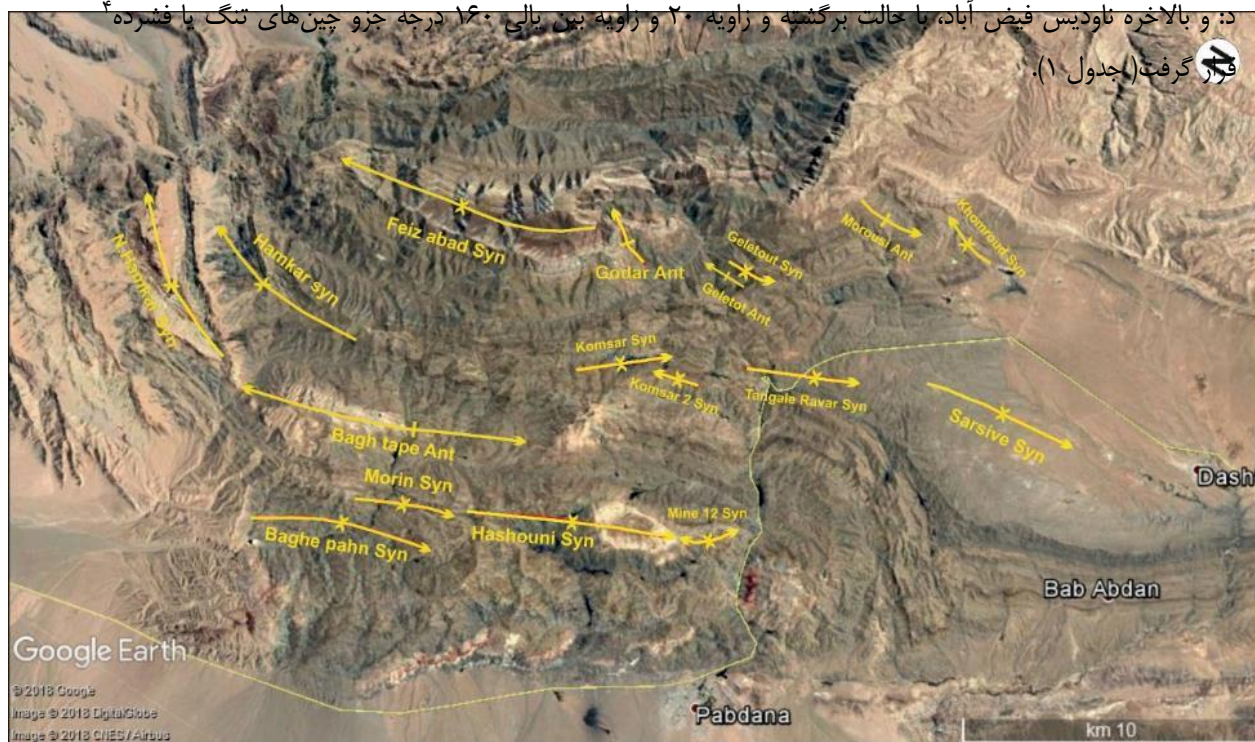
شکل ۲: نقشه زمین شناسی قسمت شمالی حوضه زغالی کرمان اقتباس شده از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ راور

منطقه مورد مطالعه در شمال غرب استان کرمان و ناحیه ایران مرکزی رشته کوه های بهاباد- کرمان با روند شمال باختری- جنوب خاوری و محاط توسط دشتهای ریزو- کوهبنان و دشت راور واقع گردیده است (شکل ۱). که اغلب از واحدهای سنگی سخت فرسای سنگ آهک، سنگ دولومیت و ماسه سنگ تشکیل گردیده اند، مرتفع ترین قله رشته کوه های زرنند ۳۳۹۴ متر ارتفاع دارند. ارتفاع متوسط دشت راور ۱۱۸۰ متر است .

۳- بررسی ساختاری چین ها

براساس اطلاعات به دست آمده (زاویه بین دو یال (i) و زاویه چین خوردگی (\emptyset)) همان طور که مشاهده می شود چین های منطقه مورد مطالعه در ۴ گروه اصلی قرار گرفته اند (شکل ۶): الف: اغلب چین ها با زاویه ۶۰۰ تا ۱۱۰۰ و زاویه بین دو یال ۱۲۰۰ تا ۷۰۰ در گروه چین های باز^۱ قرار گرفته اند. ب: در میان چین ها، دو چین (ناودیس مورین و ناودیس معدن ۱۲) با داشتن زاویه چین خوردگی کمتر از ۶۰۰ و زاویه بین یالی بیش از ۱۲۰۰ در گروه چین های ملایم^۲ قرار گرفتند. ج: چین های همکار و باغ پهن، زاویه ۱۱۰ تا ۱۵۰ درجه و زوایای بین یالی ۳۰۰ تا ۷۰۰ در گروه چین های بسته^۳ قرار گرفتند.

د: و بالاخره ناودیس فیض آباد، با حالت برگشبه و زاویه ۲۰ و زاویه بین یالی ۱۶۰ درجه جزو چین های تنگ یا فشرده^۴ قرار گرفت (جدول ۱).



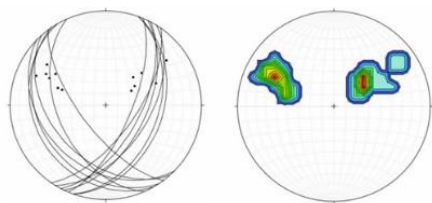
شکل ۳: تصویر ماهواره ای منطقه مورد مطالعه که اثر محوری چین ها به همراه نام آن ها بر روی آن نشان داده شده است.

¹ Open folds

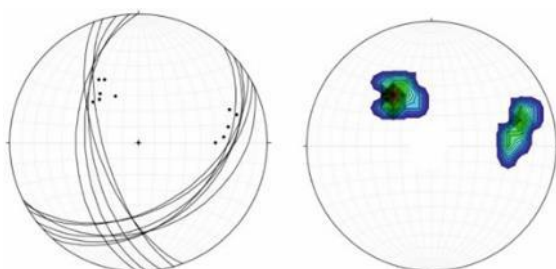
² Gentle

³ Close

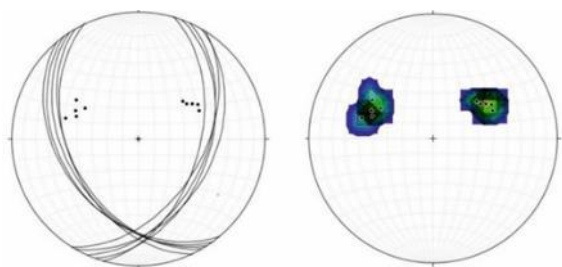
⁴ Tight



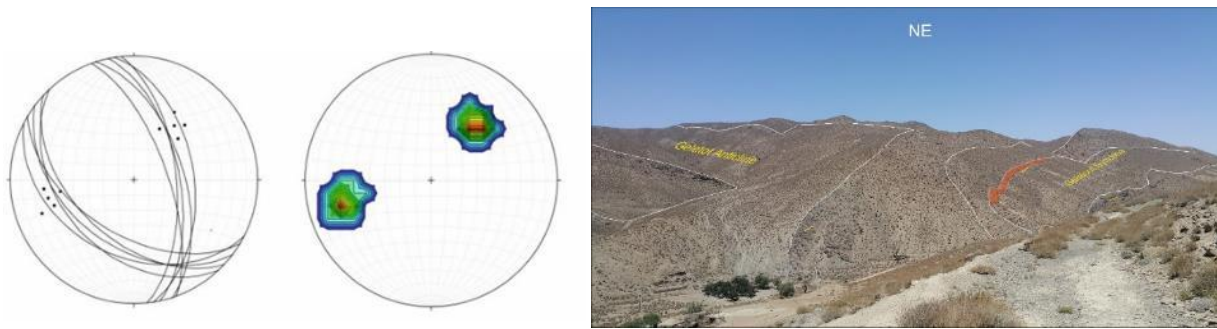
شکل ۴: نمودارهای ۸ و ۱۵ و نمای صحرایی از چین خوردگی سرسیوکه لایه‌های تشکیل‌دهنده این ناودیس اغلب دارای سن ژوراسیک میانی (سازند هجدک)



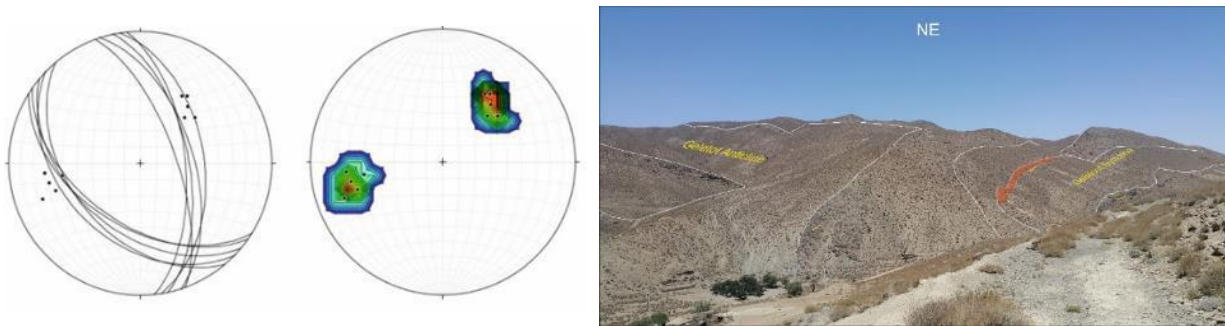
شکل ۵: نمودارهای ۸ و ۱۵ و نمای صحرایی از چین خوردگی خمروود: سن واحدهای تشکیل‌دهنده این ناودیس ژوراسیک میانی تا بالائی (سازند هجدک)



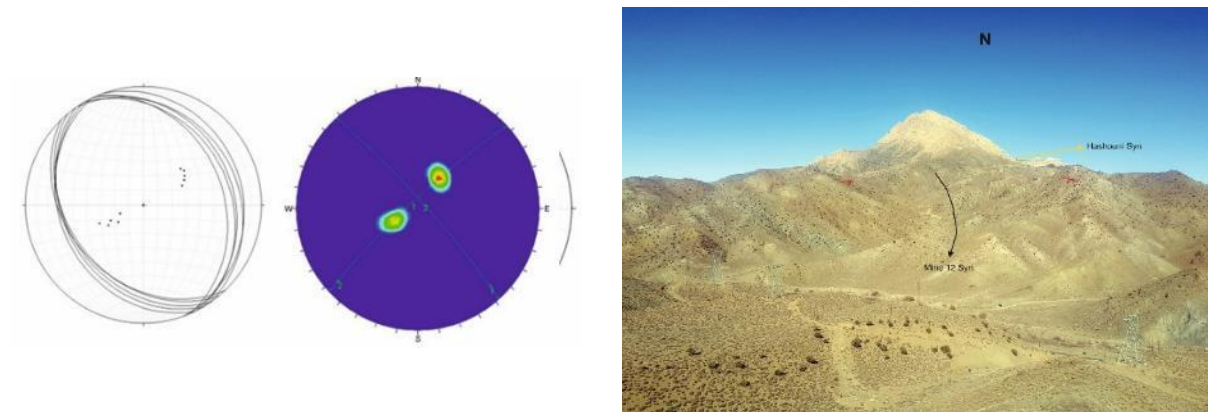
شکل ۶: نمودارهای ۸ و ۱۵ و نمای صحرایی از چین موروثی، دارای سن تریاس - ژوراسیک زیرین (سازند شمشک)



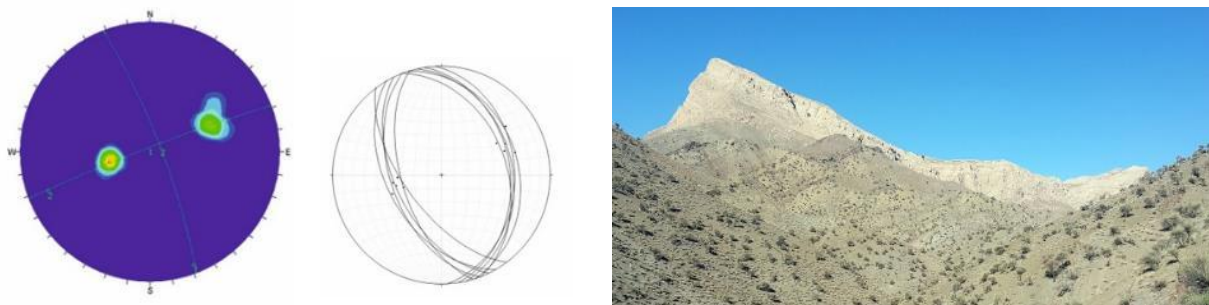
شکل ۷: نمودارهای ۸ و ۱۵ و نمایی صحرایی از ناودیس گلتوت: واحدهای تشکیل دهنده بدنه چین از سازندهای هجدک، آهک بادامو و سازند شمشک



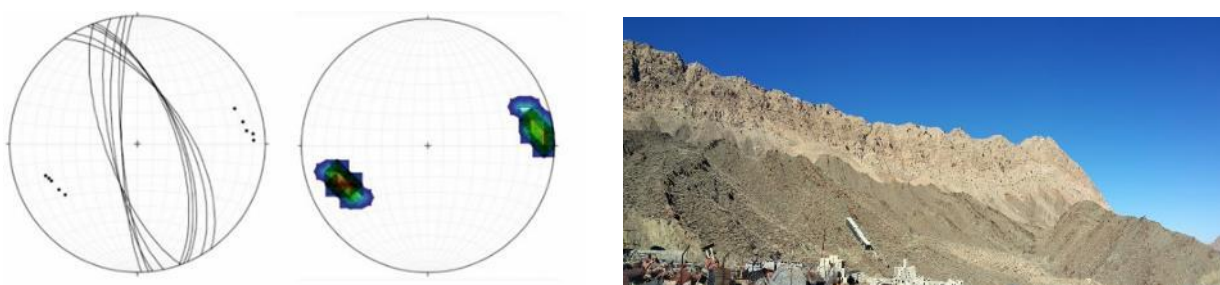
شکل ۸: نمودارهای ۸ و ۱۵ و نمایی صحرایی تاقدیس گلتوت: واحدهای تشکیل دهنده بدنه چین از سازندهای هجدک، بادامو و شمشک



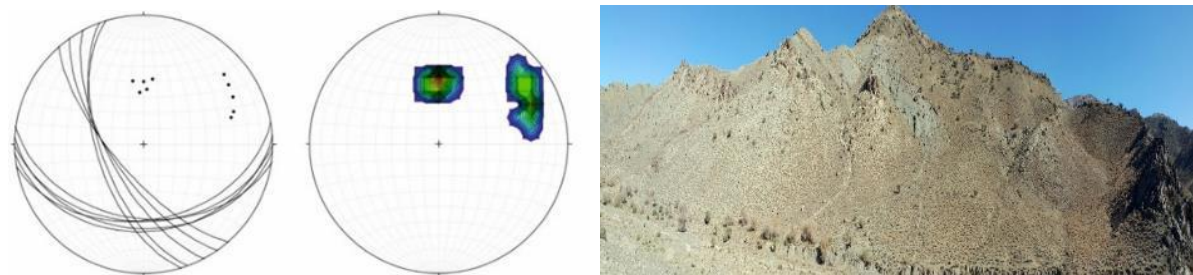
شکل ۹: نمودارهای ۸ و ۱۵ و نمایی صحرایی ناودیس معدن ۱۲: واحدهای هجدک میانی با سن ژوراسیک پائینی تا میانی



شکل ۱۰: نمودارهای ۸ و ۱۵ و نمای صحرایی ناودیس هشونی: واحدهای سازنده این چین اغلب از سازند هجدک و اهک ضخیم لایه کرتاسه



شکل ۱۱: نمودارهای ۸ و ۱۵ و نمای صحرایی ناودیس همکار: شیل و ماسه‌سنگ‌های سازند هجدک در مرکز و سازند شمشک در قسمت‌های خارجی



شکل ۱۲: نمودارهای ۸ و ۱۵ و نمای صحرایی ناودیس باغ پهن: شیل و ماسه‌سنگ‌های سازند شمشک

موقعیت چین ها براساس زوایه بین دو یال توسط تنوع رنگ برروی تصویر در شکل ۷۶ نمایش داده شده است، به طوری که چین های فشرده با رنگ قرمز، چین های بسته با رنگ زرد، چین های باز با رنگ آبی و چین های ملایم به رنگ سبز نمایش داده شده اند.

جدول ۱: جدول داده های میدانی و فراسنج های محاسباتی هندسی برای چین های گسترده مورد مطالعه

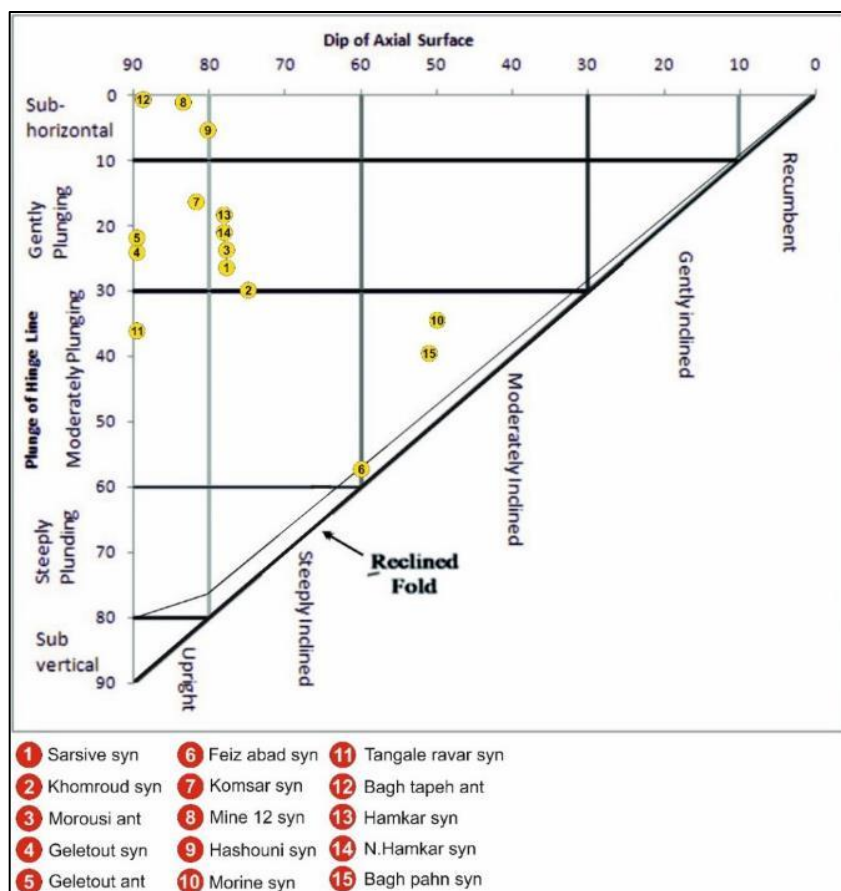
نوع چین	زوایه بین یال (درجه)	شیب سطح محوری	سطح محوری	پهنای	معمق چین	شیب عمیق	شیب عمیق	زوایه عمیق یال	شیب	شیب عمیق	زاویه یال راست	نام چین
	76	شیب تند	N4E,78NW	Gently	27,164	116	38	26	55	233	143	سریسو
	83	شیب تند	N15E,75SE	Gently	30,189	142	40	52	55	260	170	خمردود
	75	شیب تند	N3W,78SW	Gently	24,178	237	42	327	45	114	24	موروثی
	83	شیب تند	N27w,89NE	Gently	24,153	78	60	348	45	217	305	کلنوت تاقدیس
	99	قائم	N29w,89SW	Gently	23,154	220	47	310	60	78	348	ناودیس کلنوت
	160	مایل	4E,78Nw	Moderatly	58,208	262	70	352	63	243	333	فیض آباد
	91	قائم	N46W,82NE	Gently	16,134	263	40	333	55	213	303	کمنار
	58	قائم	N42W,83NE	Sub-horizontal	20,140	64	25	334	35	215	325	تنگل راور
	33	قائم	N21w,8°NE	Sub-horizontal	60,158	77	35	347	55	244	344	معدن ۱۲
	147	متوسط	N49w,35SW	Moderatly	35,204	192	35	282	45	250	340	هشونی
	134	قائم	N29W,88NE	Moderatly	103,300	47	62	337	75	243	353	باغ تاپه
	74	قائم	N49W,89SW	Moderately	36,132	80	50	350	52	187	277	مورین
	134	شیب تند	N31W , 78NE	Gently	19,347	47	62	337	75	243	353	همکار
	98.5	شیب تند	N35E,78NW	Gently	210,31	108	60	108	45	232	53	همکار شمالی
	125	متوسط	N75W,51NE	Moderately		180	40	270	57	242	332	باغ پهن

۳-۱- واکاوی نسبت ظاهری (p) یا (Aspect Ratio) چین ها در منطقه مورد مطالعه

نسبت ظاهری (p) که یکی از شاخص های هندسی سبک^۱ چین خوردگی می باشد به صورت نسبت دامنه چین (A) به نصف فاصله طول موج (M) می باشد. بدیهی است که با تعریف فوق زمانی قادر به تعیین این شاخص خواهیم بود، که تمامی سطح یا لایه چین خورده در حیطه اندازه گیری مستقیم و یا از طریق عکس قابل اندازه گیری باشد. اما در منطقه مورد مطالعه به دلیل وسعت و مقیاس چین ها، فرسوده بودن بسیاری از قسمت های مختلف چین ها، عدم دسترسی به نیمرخ کامل و ... فراسنج های محاسبه شاخص (p) قابل اندازه گیری نمی باشد.

¹ Style

لذا با استفاده از نمودار ارتباط بین متغیرهای زاویه بین دویال (i) و نسبت ظاهری (p) اقدام به محاسبه این شاخص برای تمامی چین‌های منطقه گردید (قاسمی و همکاران ۲۰۱۰). در شکل ۷ نمودار ارتباط بین (i) (p) نمایش و مقادیر (p) به دست آمده در جدول ۱ آورده شده است.



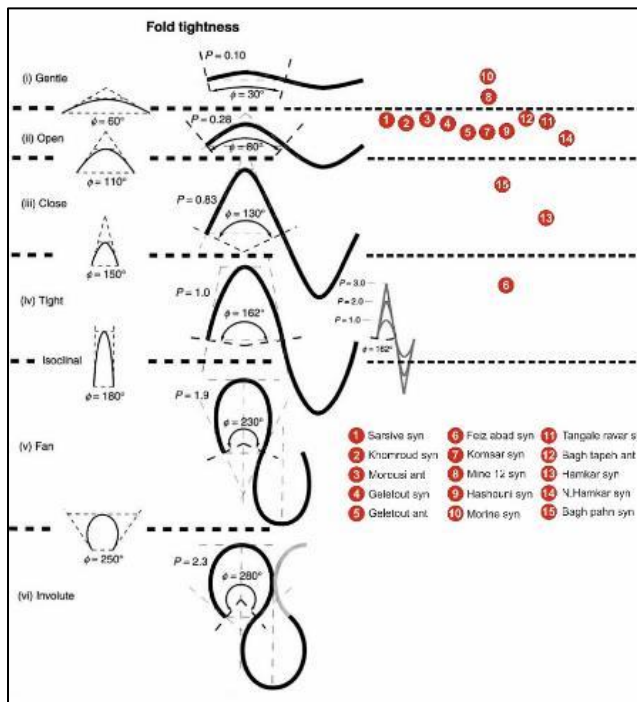
شکل ۱۳: تقسیم‌بندی چین‌ها بر مبنای وضعیت فضایی (فلوتی ۱۹۶۴) اقتباس از (رمزی ۱۹۶۷). وضعیت فضایی چین‌های منطقه مورد مطالعه بر روی آن مشخص گردیده است.

الف: اغلب چین‌ها با مقدار P بین ۰.۲۵ و ۰.۶۳ در رده چین‌های پهن^۱ قرار می‌گیرند. ب: ناودیس‌های همکار و باغ‌پهن با مقادیر P بین ۰.۶۳ و ۱.۵۶ در رده چین‌های هم‌بعد^۲ یا قرار می‌گیرند (رنگ قهوه ای).

¹ broad

² Equant

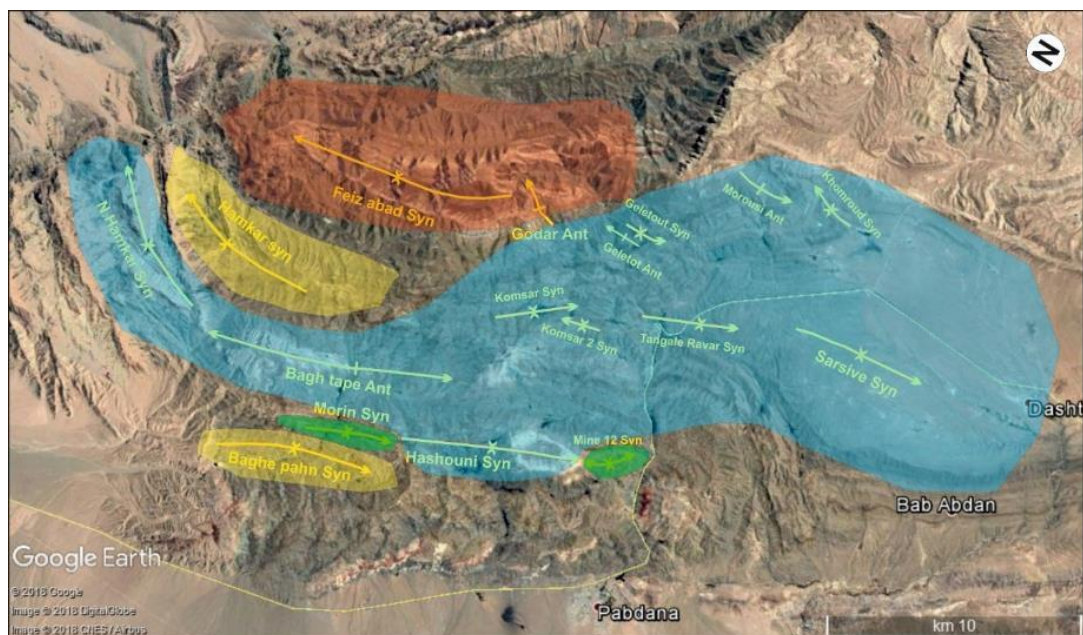
ج: و چین‌های مورب و معدن ۱۲ به ترتیب مقادیر P کمتر از ۰.۲۵ و مساوی با ۰.۲۵ در رده چین‌های وسیع^۱ و مرز بین چین‌های وسیع و پهن قرار می‌گیرند (رنگ آبی). و: ناودیس فیض آباد با مقدار P برابر با ۲.۳۳ و بیشترین مقدار P در بین چین‌های منطقه در رده چین‌های کوتاه^۲ قرار می‌گیرد (رنگ زرد).



شکل ۱۴: تقسیم‌بندی چین‌ها براساس زاویه بین یال‌ها (فلوتی ۱۹۶۴) جایگاه رده‌بندی چین‌های منطقه مورد مطالعه بر روی شکل به نمایش در آمده است. شکل با تغییر از (تویس و مور ۲۰۰۷).

¹ wide

² short



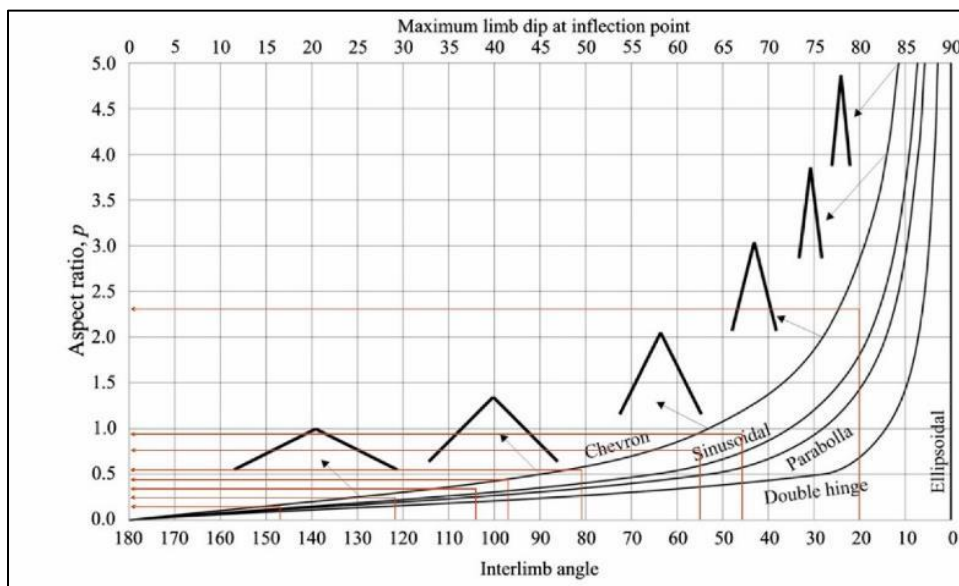
شکل ۱۵: تصویر ماهواره‌ای گوگل ارث از محدوده مطالعاتی و موقعیت چین‌ها و میزان تنگ‌شدگی آن‌ها که توسط رنگ‌ها تفکیک گردیده‌اند، روی آن نمایش داده شده است (برای توضیح بیشتر به متن مراجعه شود).

۲-۳- واکاوی فربه‌ی یا بیخ‌شدگی (bluntness) چین‌ها:

فراسنج چاقی چین‌ها، خمیدگی نسبی چین در محل لولا یا بسته‌شدن^۱ چین را نشان می‌دهد. این فراسنج براساس روابط بین شعاع‌های خمیدگی در محل بسته شدن و دایره فراگذر از نقاط عطف تعریف شده و بسته به میزان خمیدگی هر یک

به صورت
$$b = \begin{cases} 2^{-r_c/r_0} & r_c \geq r_0 \\ r_0/r_c & r_c \leq r_0 \end{cases}$$
 تعریف می‌شود.

¹ Closer



شکل ۱۶: نمودار ارتباط بین فراسنج‌های زاویه بین دو یال (i) و نسبت ظاهری (p). مقادیر نسبت ظاهری برای چین‌های منطقه مورد مطالعه از زاویه بین دو یال آن‌ها به دست آمده است (جدول ۱).

چین‌ها براساس فراسنج (b) به پنج رده: تیز، زاویه‌دار، نیمه‌زاویه‌دار، نیمه‌گرد، گرد و یخ تقسیم می‌گردند. فراسنج (b) بین مقادیر (چین‌های تیز) تا (چین‌های یخ و دارای ۲ لولا) در تغییر می‌باشد. بدست آمدن مقادیر عددی r_c ، r_0 و به‌طور کلی مقدار (b) از دو طریق امکان‌پذیر است: الف: برای چین‌های ریز و چین‌هایی که امکان اندازه‌گیری و تهیه تصویر از آن‌ها ممکن می‌باشد (مقیاس ماکروسکوپی) از روش مستقیم^۱ و ب: برای چین‌هایی که امکان اندازه‌گیری مستقیم وجود ندارد از روش غیرمستقیم و با استفاده از روابط ریاضی و نمودارهای ارتباطی بین فراسنج‌های مختلف استفاده می‌گردد. در منطقه مورد مطالعه به دلیل فرسایش و وجود پرشدگی دره‌های چین خورده، بزرگ‌مقیاس بودن چین‌ها و عدم رخنمون نقاط عطف در بسیاری از چین‌ها و ... امکان محاسبه (b) به روش مستقیم امکان‌پذیر نبود، لذا با استفاده از تقسیم‌بندی چین‌ها براساس زاویه چین‌خوردگی (\emptyset) و مقدار (p) (تویس، ۱۹۹۸) مقادیر فراسنج b برای چین‌های منطقه به شرط کامل بودن فراهم گردید که در شکل ۱۷ آورده شده است. همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود خطوط هم مقدار \emptyset و P در طبقه‌بندی‌های مختلف چین‌ها براساس زاویه بین دو یال ترسیم و بر مبنای آن‌ها یخ‌شدگی چین‌ها (b) محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۳ آورده شده است.

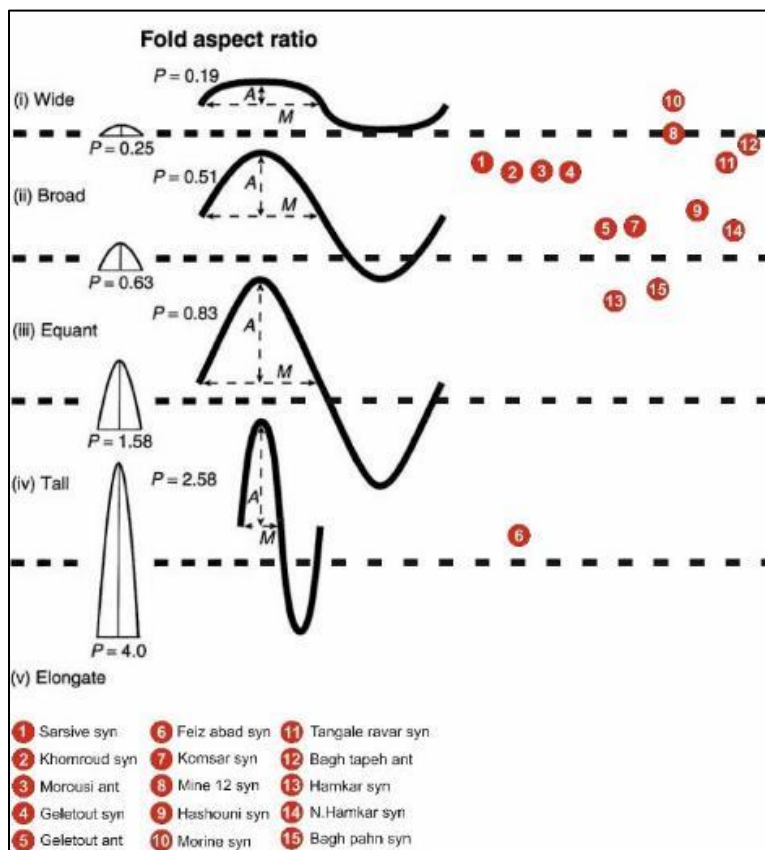
¹ Direct

جدول ۲: مقادیر فراسنج‌های (p), (log p) و (i) محاسبه شده برای چین‌های منطقه مورد مطالعه.

نام چین	In.L.A(I)	Aspect Ratio(P)	Log(P)
سرسیو	۱۰۴	۰/۳۳	۰/۴۸-
خمرد	۹۷	۰/۴۵	-۰/۳۴
موروئی	۱۰۵	۰/۴۲	-۰/۳۷
گلوتوت تاقدیس	۹۷	۰/۴۵	-۰/۳۴
ناودیس گلوتوت	۸۱	۰/۵۷	-۰/۲۴
فیض آباد	۲۰	۲/۳۳	-۰/۵۴
کمثار	۸۹	۰/۵۵	-۰/۲۵
تنگل راور	۱۰۳	۰/۳۵	-۰/۴۵
معدن ۱۲	۱۲۲	۰/۲۴	-۰/۶۱
هشونی	۹۱	۰/۴۹	-۰/۳
باغ تاپه	۱۴۷	۰/۱۷	-۰/۷۶
مورین	۱۰۶	۰/۲۷	-۰/۵۶
همکار	۴۰	۰/۸۶	-۰/۰۶
همکار شمالی	۸۱	۰/۵۷	-۰/۲۴
باغ پهن	۵۵	۰/۷۶	-۰/۱۱

براساس شکل ۱۷ و جدول ۲، چین‌های منطقه براساس مقدار (p) در ۴ رده قرار می‌گیرند:

بر مبنای مقادیر b به دست آمده می‌توان چین‌های مورد مطالعه را در ۶ رده تقسیم بندی نمود (شکل ۱۰): الف: تاقدیس موروئی $b < 0.1$ که در رده چین‌های تیز قرار می‌گیرد. ب: ناودیس‌های معدن ۱۲ و مورین هردو با مقادیر $b = 0.1$ در مرز چین‌های تیز و زاویه‌دار قرار می‌گیرد. ج: تاقدیس گلوتوت و ناودیس همکار شمالی در رده چین‌های زاویه‌دار قرار می‌گیرد. د: تاقدیس باغ تاپه در رده چین‌های نیمه‌گرد شده ه: ناودیس سرسیو با مقدار $(b = 0.4)$ در مرز رده‌های نیمه‌زاویه‌دار و نیمه‌گرد شده قرار داشته‌ی: و هشت چین باقی‌مانده با مقادیر b بین ۰.۲ تا ۰.۴ در رده نیمه‌زاویه‌دار قرار می‌گیرند.



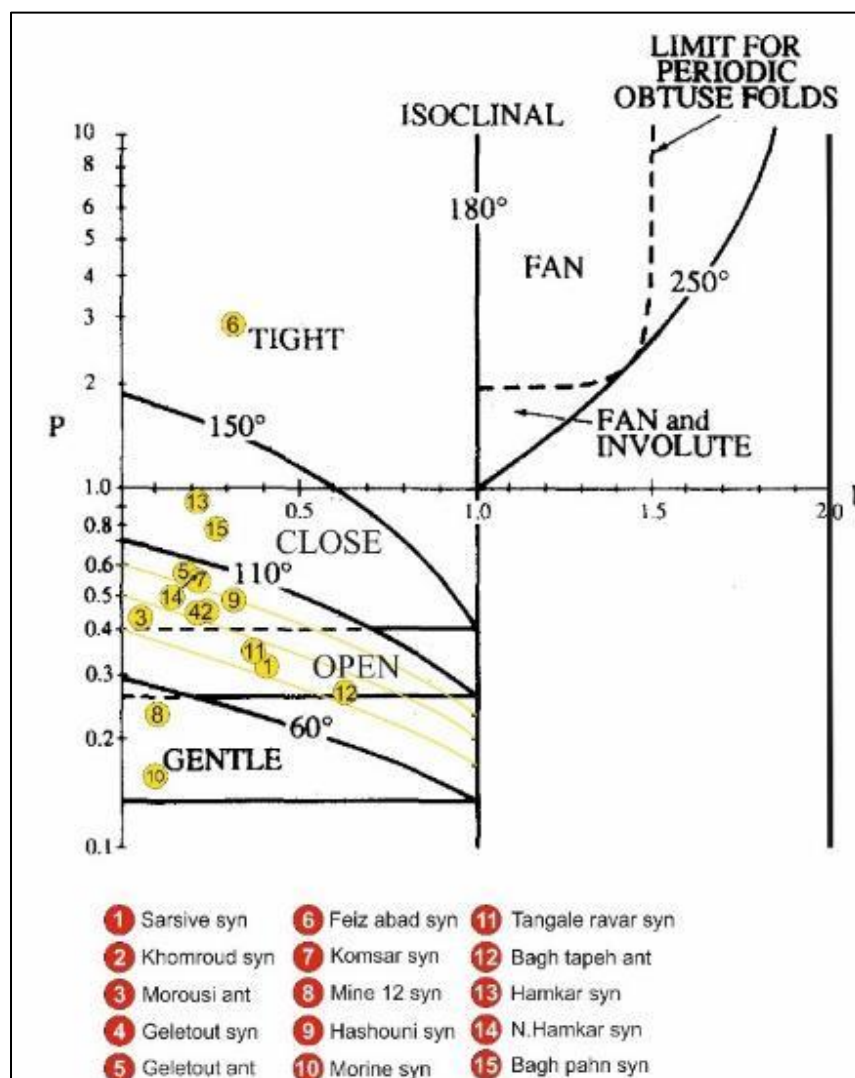
شکل ۱۷: تقسیم‌بندی چین‌ها براساس نسبت ظاهری (P). مقادیر نسبت ظاهری برای چین‌های منطقه مورد مطالعه در پهنه‌های تقسیم‌بندی در جایگاه قرار گرفته و رده‌بندی آن‌ها مشخص گردیده است.

۳-۳- بررسی کوتاه‌شدگی^۱ حاصل از چین خوردگی

در مناطق قاره‌ای کوتاه‌شدگی درون قاره‌ای اغلب در نواحی کمربندهای چین-گسل‌خورده^۲ شکارترین تجلی دگرشکلی کوتاه‌شونده می‌باشد. در این مناطق به‌طور کلی آغاز کوتاه‌شدگی به‌صورت ضخیم‌شدگی رسوبات و چین خوردگی واحدهای سنگی حوضه رسوبی با الگوهای مختلف بوده و با پیشروندگی دگرشکلی، فشردگی چین‌ها و شکل‌گیری گسل‌های رانده و وابسته ادامه و تکامل می‌یابد. ضخیم‌شدگی به همراه فلسی‌شدن رانده‌ها از مراحل پیشرفته این نوع دگرشکلی می‌باشند. در هر مرحله از این دگرشکلی پیشرونده، شکل‌گیری ساختارهای چین‌خورده کوچکتر از مواردی است که به وفور دیده شده است.

¹ Shortening

² Fold and thrust belts



شکل ۱۸: تصویر ترازهای ثابت \emptyset که چین‌ها را بر مبنای بسته‌بودن از یکدیگر تفکیک نموده‌اند. مقادیر (b) با توجه به ترازهای \emptyset برای چین‌های با طبقه‌بندی مختلف قابل محاسبه می‌باشد. شکل پایه اقتباس از (تویس، ۱۹۹۸).

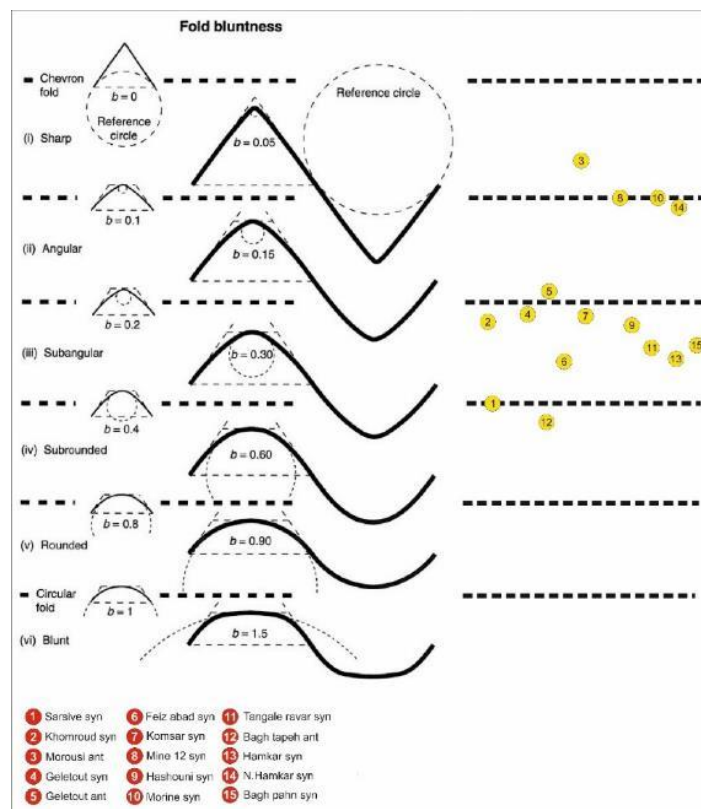
بررسی کوتاه‌شدگی یک چین با استفاده از میزان و مقدار فراسنج‌های جمع‌شدگی (زاویه بین دویال)، فربهی یا پخش‌شدگی چین (نسبت ارتفاع به پهناي چین) به‌همراه میزان استوانه‌ای‌شدن یا سیلندری‌شدن^۱ قابل تخمین و محاسبه می‌باشد. بررسی کوتاه‌شدگی برای هر چین در منطقه مورد مطالعه توسط نرم‌افزار فابریک ۸ انجام پذیرفت که نتایج آن در شکل ۲۰ و جدول ۴ آمده است.

جدول ۳: جدول مقادیر محاسباتی شاخص پخش‌شدگی برای چین‌های منطقه

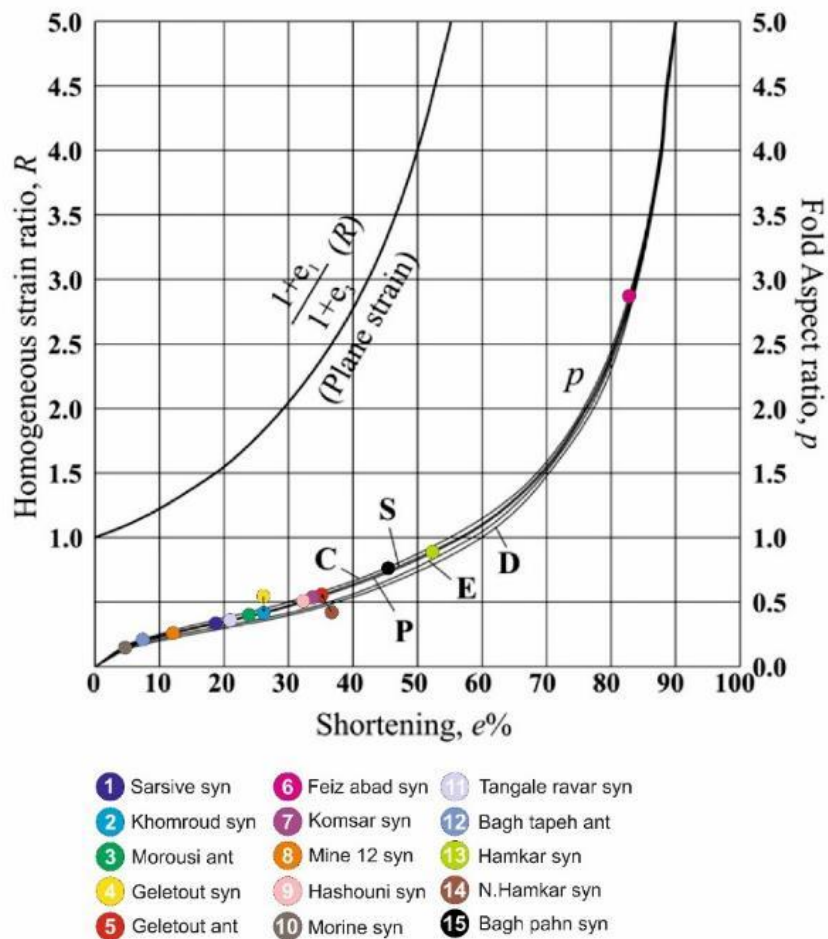
نام چین	Bluntness(b)
سرسیو	0.4
خمروود	0.25
موروثی	$X \leq 0.1$
کلتوت تاقدیس	0.21
ناردیس کلتوت	0.19
فیض آباد	0.33
کمنار	0.23
تنگل راور	0.1
معدن ۱۲	0.31
هشونی	0.1
باغ تاپه	0.38
مورین	0.63
همکار	0.31
همکار شمالی	0.15
باغ پهن	0.27

¹ Cylindricity

همان‌طور که از جدول ۳ پیداست، بیشترین مقدار b متعلق به ناودیس باغ‌تپه با مقدار ۰.۶۳ و کمترین میزان آن متعلق به تاقدیس موروثی با مقدار $x < 0.1$ می‌باشد.

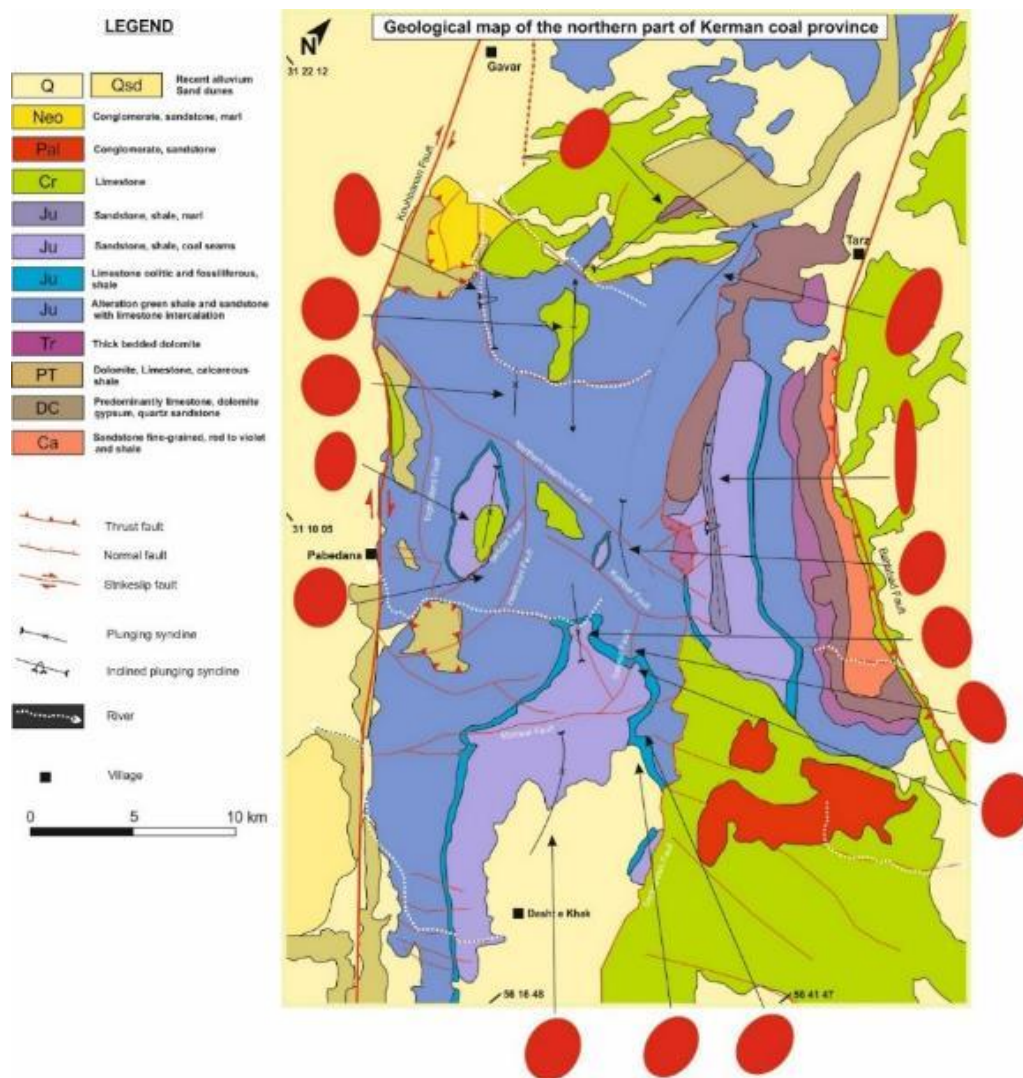


شکل ۱۹: تصویر ترازبندی مقادیر b و تقسیم‌بندی چین‌ها بر مبنای آن، در سمت چپ رده بندی چین‌ها، در قسمت وسط هندسه چین و در سمت راست جایگیری چین‌ها منطقه مورد مطالعه در رده‌های مختلف به نمایش درآمده است.



شکل ۲۰: مقادیر مختصات کوتاه‌شدگی (%e) و نسبت P و واتنش همگن. توجه کنید که یک میزان حداکثر از کوتاه‌شدگی در بین شکل‌های مختلف چین‌ها وجود دارد که نسبت P همه کمتر از 0.5 می‌باشد. انواع چین‌ها: C: جناغی، S: سینوسی، P پارابولیک، E: بیضی‌مانند، D: دو بر میل

همان‌طور که مشاهده می‌شود بالاترین نرخ کوتاه‌شدگی چین‌خوردگی مربوط به چین فیض‌آباد به میزان ۸۱٪ و کمترین میزان کوتاه‌شدگی به مقدار ۸٪ مربوط به ناودیس مورین می‌باشد. بیضی‌های واتنش سطحی (دوبعدی) محاسبه شده برای هر چین در منطقه مورد مطالعه بر مبنای شکل ۱۹ و جدول ۴ در شکل ۲۰ به نمایش درآمده است.



شکل ۲۱: نمایش مکانی بیضی‌های واکنش کوتاه‌شدگی بر روی نقشه زمین‌شناسی بخش شمالی حوضه زغالی کرمان (KCP) اقتباس شده از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰:۱راور.

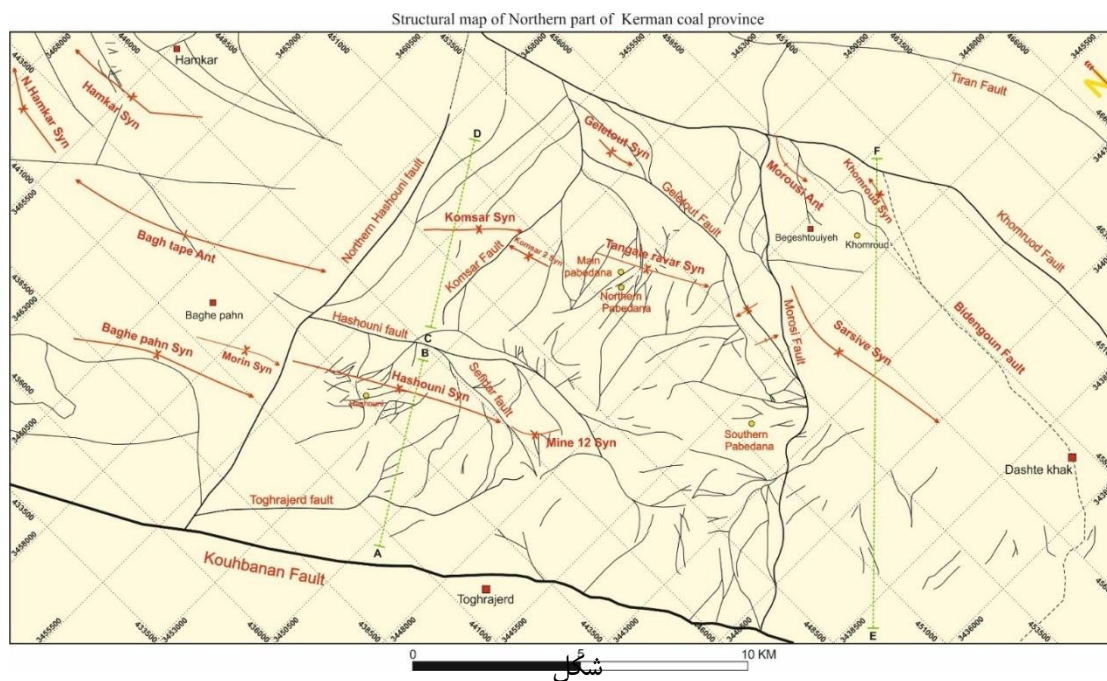
جدول ۴: جدول میزان کوتاه‌شدگی محاسبه شده برای چین‌های منطقه مورد مطالعه

نام چین	Shortening(%e)
سریسو	18%
خمرو د	26%
موروثی	24%
کلنوت تاقدیس	26%
ناودیس کلنوت	35%
فیض آباد	81%
کمثار	34%
تنگل راور	12%
معن ۱۲	32%
هشونی	5%
باغ تپه	21%
مورین	8%
همکار	52%
همکار شمالی	35%
باغ پهن	45%

۴- نتیجه گیری

با بررسی سبک چین خوردگی‌ها در محدوده مورد نظر می‌توان به یک‌سری نکات در این موارد پی‌برد که به شرح زیر هستند: از بررسی میزان بسته‌بودن چین‌ها می‌توان دریافت که ناودیس فیض‌آباد، همکار و باغ‌پهن به ترتیب فشرده‌ترین چین‌ها می‌باشند و به ترتیب در بخش‌های شمالی و شمال‌شرقی محدوده قرار گرفته‌اند. در صورتی که میزان فشرده‌گی را معرف قدمت دگرشکلی بدانیم، با نگاه به شکل ۲و۱ می‌توان دریافت که اولین نشانه‌های چین خوردگی در بخش شرقی حوضه اتفاق افتاده و سپس از طرفین و حاشیه حوضه به سمت مرکز پیشروی نموده است و این دگرشکلی ابتدا قسمت شمال حوضه را تحت تاثیر قرار داده و با گذشت زمان به صورت پیش‌رونده قسمت‌های جنوب‌شرقی را دگرشکل نموده است. رده بندی چین‌ها بر اساس نسبت ظاهری، دارای همخوانی کامل با میزان فشرده‌گی چین‌ها داشته، به طوری که فشرده‌گی‌های بیشتر معرف چین‌های بلندتر و فشرده‌گی‌های کمتر معرف چین‌های کوتاه‌تر می‌باشد. براساس مقادیر b مربوط به چین‌ها، همگی آن‌ها اغلب بین چین‌های زاویه‌دار تا تیز قرار دارند، اما نکته اینجاست که مقدار b با بزرگی اثر چین در ارتباط مستقیم است، به طوری که چین‌های کوچک دارای مقدار b کم (چین‌های تیز و زاویه‌دار)، و چین‌های بزرگتر دارای مقادیر b بالاتر (چینه‌های نیمه‌زاویه‌دار و نیمه‌گرد شده) می‌باشند. با نگاه به تصویر ۲۱ و در راستای عمود بر محور چین‌های باغ‌پهن، باغ‌تپه، همکار و فیض‌آباد می‌توان گفت فشرده‌گی چین‌ها از طرفین به سمت مرکز می‌باشد. نکته دیگر این که بازتر بودن زوایای بین دو یال چین‌های مورین و معدن ۱۲ در دوانتهای ناودیس هشونی، بیانگر شکل‌گیری چین‌های جدید با سازوکار یکسان در دو انتهای آن می‌باشد. موارد فوق نمایش کاملی از یک کمربند چین خورده می‌باشد که شکل‌گیری چین‌ها از مراحل اولیه تا فشرده‌شدن و برگشته‌شدن را در یک توالی زمانی نمایش می‌دهد.

تعیین همزمانی یا ناهمزمانی بودن وقایع دگرشکلی خمش‌پذیر و شکننده از مشکل‌ترین قسمت‌های تحلیل ساختاری است که در مورد منطقه مورد مطالعه فقط از طریق قطع چین‌ها توسط گسل‌ها تا حدی قابل استنباط است، ولی توالی کامل تقدم و تاخر ساختارهای خمش‌پذیر و شکننده فقط از طریق تعیین سن مطلق امکان‌پذیر می‌باشد. اما به دلیل قطع شدن یال‌های اکثر چین‌های منطقه توسط گسل‌ها، با احتیاط به‌توان گفت به غیر از دو گسل کوهبنان و طرز، که در شکل‌گیری حوضه زغالی نقش عمده‌ای داشته‌اند و قبل از چین‌خوردگی‌ها وجود داشته‌اند، بقیه گسل‌های منطقه بعد از شکل‌گیری چین‌ها به‌وجود آمده‌اند و در نهایت الگوی ساختاری زیر را به وجود آورده‌اند.



۲۲: نقشه ساختاری بخش شمالی حوضه زغالی کرمان

منابع

- خردمند، علی. ۱۳۷۸. بررسی محیط رسوبی سازند بادامو در ایران مرکزی پایان نامه دوره دکتری دانشگاه تربیت معلم. گروه زمین شناسی.
- شفیعی بافتی امیر. امیری علی. ۱۳۷۷. بررسی و ارزیابی ذخایر گچ منطقه زرنند- طرح پژوهشی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرنند. ۱۰۳ صفحه.
- شفیعی بافتی، امیر، شاهپسندزاده، م. ۱۳۸۴. بررسی میزان جابه‌جایی و آهنگ لغزش در بخش میانی پهنه گسلی کوهبنان (جنوب خاور ایران مرکزی)، مجله پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، سال هشتم، شماره دوم و سوم.
- شفیعی بافتی، امیر، ۱۳۸۵. بررسی دگرشکلی در شمال و شمال شرق کرمان بر پایه داده‌های جی پی اس. تز دکترا. ۱۶۴ صفحه.
- شفیعی بافتی، امیر، درخشانی، رضا، ۱۳۸۰. بررسی‌های مورفوتکتونیکی گسل کوهبنان با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک، طرح پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زرنند، کرمان.
- شفیعی بافتی، امیر، ۱۳۹۷. لرزه‌زمین‌ساخت و برآورد خطر زمین‌لرزه در شمال کرمان (به روش کیکو و سلوول ۱۹۹۲)، مجله علوم زمین. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور (پذیرش برای چاپ).
- Allen M.B., Ghassemi M.R., Shahrabi M., Qorashi M., 2003. Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, northern Iran. *Journal of Structural. Geology*, 25, 659-672.
- Berberian M., King G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences* 18,210-265.
- Berberian, M., and Yeats, R.S., (1999): Patterns of historical earthquakes rupture in the Iranian plateau. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 89, 120-139.
- Berberian, M., Jackson, J.A., Qorashi, M., Khatib, M.M., Priestley, K., Talebian, M., Ashtiani, M., (1999): The 1997 May 10 Zirkuh (Qa'emat) earthquake (M, 7.2): faulting along the Sistan suture zone of eastern Iran. *Geophysical Journal International*, 136, 671- 694.
- Berberian, M., Jackson, J.A., Fielding, E., Parsons, B., Priestly, K., Qorashi, M., Talebian, M., Walker, R., Wright, T.J., and Baker, C., (2001): The 1998 March Fandoqa earthquake (Mw 6.6) in Kerman province, southeast Iran; re-rupture of the 1981 Sirch earthquake fault, triggering of slip on adjacent thrusts and the active tectonics of the Gowk fault zone. *Geophysical Journal International*, 146, 371-398.
- DeMets C. R. G. Gordon D. F. Argus and Stein S., 1994, Effects of recent revisions to the geomagnetic time scale on estimates of current plate motions, *Geophys. Res. Leit.* 21, 2191-2194.
- Dewey J. F., Helman M. L. E., Tureo, D. H., Hutton W., and Knott S. D., 1980, Kinematics of the western Mediterranean, in *Alpine Tectonics*, edited by Coward M. P., Dietrich D., and Park R. G., *Geol., Soc.Spec. Piih!*, 45,265-283.
- Ghassemi M, R., Schmalholz S, M., Ghassemi A., 2010. Kinematics of constant arc length folding for different fold shapes. *Journal of Structural Geology*, 32 .755-765.
- Javadi HR, Ghassemi MR, Shahpasandzadeh M, Guest B, Ashtiani ME, Yassaghi A, Kouhpeyma M (2013) History of faulting on the Doruneh Fault System: Implications for the kinematic changes of the Central Iranian Microplate, *Geological Magazine*, 150(04), 651- 672, <https://doi.org/10.1017/S0016756812000751>.
- McCall, G.J.H., 1996. The inner Mesozoic to Eocene ocean of south and central Iran and associated microcontinents. *Geotectonics*, 29,490-499.
- Technoexport (Soviet Union), 1969, Geological map of the Kerman coal deposits. National Iranian Steel Company, Contract, No. 1466.
- Tirrul R., Bell I.R., Griffiths R.J., Camp V.E., 1983. The Sistan suture zone of eastern Iran. *Geological Society of America Bulletin*, 94, 134-150.

- Twiss R, J., 1988. Description and classification of folds in single surfaces. *Journal of Structural Geology*, Vol. 10, No. 6. 607 - 623.
- Twiss R, J., Moores E., 2007. *Structural geology*. Freeman press, pp 736.