



جنبش شناسی جریان سنگی و دگرشکلی در زون های برشی پوسته ای: مثالی از صفحه تراستی سیرجان (کوهزاد زاگرس)، ایران



چکیده:

داده های ریزساختاری و واکاوی های جنبش شناختی بر روی توده گنیسی دگرشکل شده سیرجان در کمربند کوهزایی زاگرس رخداد دگرشکلی در رخساره شیست سبز- آمفیبولیت را نشان می دهد. مقادیر کمی واتنش نهایی و عدد تاوایی متوسط نشان می دهد که نسبت واتنش و مولفه برش ساده به سمت صفحه تراستی افزایش می یابد. مقادیر برش ساده نسبت به زمان دگرشکلی نیز تغییر می کند بطوری که: در فازهای ابتدایی دگرشکلی مولفه برش محض نقش اساسی داشته است و با پیشرفت دگرشکلی مولفه برش ساده افزایش یافته است (مسیر واتنش افزایشی). تغییرات مکانی در مسیر دگرشکلی، کاهش سهم برش ساده نسبت به برش محض را با افزایش فاصله ساختاری از گسل تراستی نشان می دهد.

کلید واژه ها: میلونیت، تاوایی، مسیرواتنش، دگرشکلی، کمربند کوهزایی زاگرس

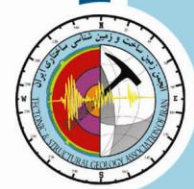
Kinematics of rock flow and deformation in a crustal-scale shear zone: example from the Sirjan Thrust sheet (Zagros orogen), Iran

Abstract: Microstructural data and kinematic analyses carried out on deformed gneisses of the Sirjan thrust sheet within Zagros Orogenic Belt suggest that they record deformation under greenschist- to amphibolites-facies conditions. Quantitative finite strain and mean kinematic vorticity number analyses revealed that both the strain ratio and the simple shear component of deformation increase towards thrust sheet. The relative contributions of simple shear presumably changed with time: the earlier exhumation stage developed during a pure-shear-dominated regime whereas the later exhumation stage took place in simple-shear-dominated deformation (i.e. a accelerating strain path). Spatial variation in the deformation path is demonstrated by changes from simple shear to more pure shear components with increasing structural distance from the basal thrust sheet.

Keywords : mylonite, vorticity, strain path, deformation, Zagros Orogenic Belt



مقدمه:

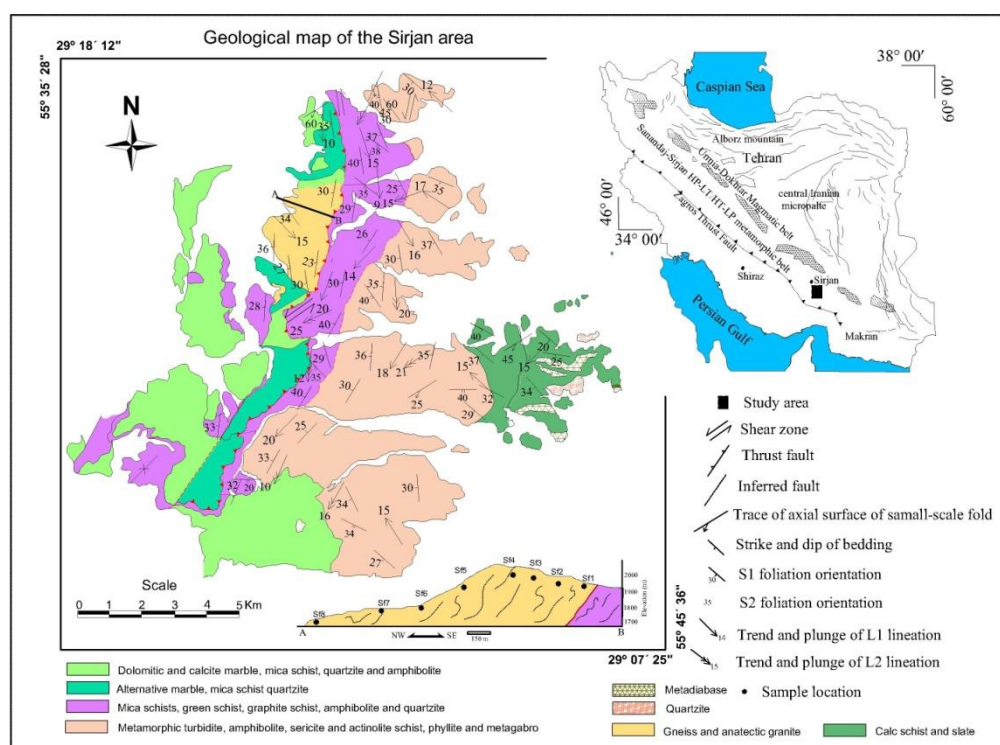


تعداد زیادی از زون های برشی تراستی یا سفره های راندگی در بخش های داخلی کمرندهای کوهزایی شواهدی از رخداد دگرشکلی های شکل پذیر را در خود ثبت کرده اند. مطالعه تغییرات واتنش نهایی و عدد جنبش شناختی تاوایی اطلاعات مهمی را درباره چگونگی تکامل تکتونیکی کمرندهای کوهزایی و فرآیندهای برخاستگی (Exhumation) و جریان یافتگی شکل پذیر (Ductile Extrusion) توده های با درجات دگرگونی بالا را بدست می دهد. با توجه به اینکه در کمرند دگرگونی سنندج- سیرجان بیرون زدگی سنگ های دگرگونی درجه بالا در ارتباط با تراست ها از گسترش خوبی برخوردارند، فرصت مناسبی جهت اینگونه مطالعات ساختمانی فراهم آمده است.



زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

کمرند کوهزایی زاگرس بخشی از کمرند کوهزایی آلپ- هیمالیاست که حدود ۲۰۰۰ کیلومتر طول و با روند شمال غرب- جنوب شرق از گسل آناتولی در ترکیه آغاز و تا خط عمان در جنوب ایران گسترش یافته است. (شکل ۱) (Stocklin, 1968). کوهزاد زاگرس از دیدگاه ساختمانی به بخش های مختلفی تقسیم شده است (Sarkarinajad and Azizi, 2007). منطقه مورد مطالعه در جنوب غرب شهر سیرجان در استان کرمان واقع شده که بخشی از کمرند فشار بالا- دما پایین سنندج- سیرجان در هیتترلند زاگرس می باشد (Sarkarinejad and Ghanbarian., 2014). بخش عمده این منطقه از سنگ های پالئوزوئیک و مزوزوئیک تشکیل شده است. مهمترین و فراوانترین انواع سنگ های دگرگونی موجود در منطقه شامل انواع شیست ها (آمفیبول شیست، میکا شیست، گارنت شیست)، سنگ آهک و مرمرهای دولومیتی شده و توده بزرگ گرانیت- گنیسی می باشد (شکل ۱) رخداد حوادث تکتونیکی و دگرگونی منجر به شکلگیری و تنوع ساختمانی بسیار خوبی در مقیاس های مختلف ماکروسکوپی تا میکروسکوپی در این منطقه شده است. انواع ساختارها مانند: بودین های نامتقارن، پورفیرو کلاست های چرخیده، چین های نامتقارن، کلیواژهای کنگره ای و غیره به فراوانی دیده می شود و نشان دهنده وقوع دگرشکلی های شکل پذیر و شکننده در طی تکامل تکتونیکی این بیرون زدگی گنیسی می باشد.



شکل ۱- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق:

در این مطالعه نمونه برداری جهت دار و سیستماتیک در راستای مسیر AB (شکل ۱) و در جهت عمود بر امتداد تراس سیرجان انجام شده است و نمونه های غنی از کوارتز و فلدسپار-پتاسیم جهت مطالعات ساختاری انتخاب گردید.

آنالیز واتنش نهایی: مقادیر واتنش نهایی در نمونه های گنیسی با استفاده از روش R_f/Φ (Lisle 1985) از پورفیر و کلاست های فلدسپار پتاسیم دار در مقاطع جهت دار بدست آمده است. (Xypolias et al. 2010; Kassem 2014). در این مقاطع (R_{xz}, R_{xy}, R_{xz}) نسبت محوری و زاویه محور طویل پورفیر و کلاست با جهت کشیدگی اصلی حداقل برای ۵۰ دانه فلدسپار پتاسیم دار اندازه گیری می شود و نرم افزار R_f/Φ (Chew 2003) مقادیر واتنش و نمودارهای پیازی شکل مرتبط را نمایش می دهد. (شکل ۲، جدول ۱).

آنالیز تاوایی: عناصر ساختاری متفاوتی مانند پورفیر و کلاست های چرخیده، چین های کشیده، بودین های نامتقارن، فابریک محور- C کوارتز، درزه های استیلولیتی و غیره را می توان برای محاسبه تاوایی در زون های برشی پوسته ای استفاده نمود (Xypolias, 2010). در این مطالعه برای اندازه گیری تغییرات تاوایی از روش دانه های صلب و روش فابریک مایل دانه های کوارتز استفاده شده است:



روش دانه های صلب (Rigid Grain Method)

در این روش پورفیر و کلاست های چرخیده فلدسپار-پتاسیم مورد اندازه گیری قرار است. به این ترتیب فاکتور شکل دانه صلب (محور کوتاه / محور طویل) و جهت یابی ϕ دانه ها (زاویه بین محور طویل دانه نسبت به صفحه جریان) در یک سیستم قطبی با استفاده از یک شبکه هیپربولیکی نمایش داده می شوند (شکل ۲، جدول ۱). برای محاسبه مقادیر تاوایی از این روش از شبکه دانه های صلب (RGN) استفاده شده است (Jessup et al., 2007).

فابریک مایل دانه های کوارتز (Oblique grain-shape fabric)

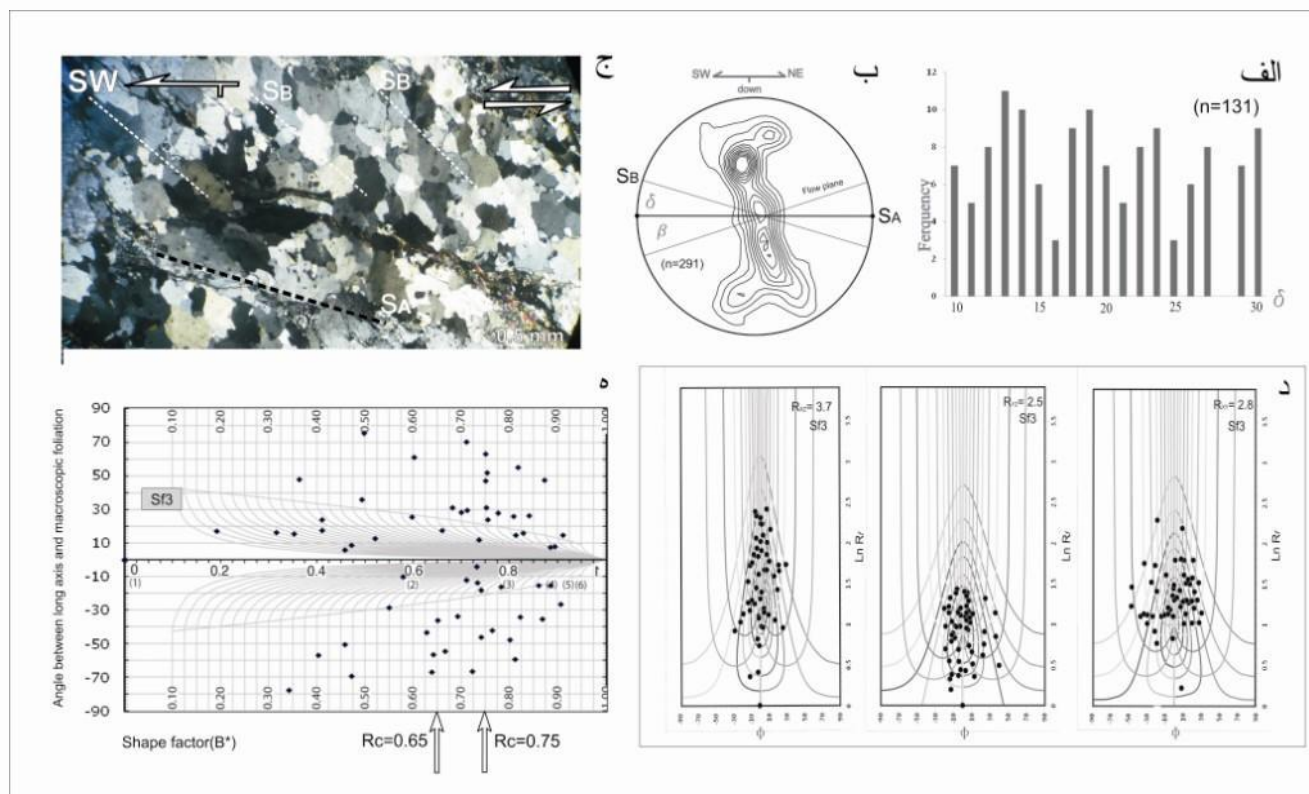
آگرگات هایی از بازبلورش دینامیکی کوارتز و کلسیت اغلب درون محدوده های موازی با برگوارگی از درجات ضعیف تا متوسط در میلونیت ها با فابریک شکل مورب دانه ها نشان داده می شوند (Lawet al., 1984, 1990). چنین فابریک های شکل دانه موربی در جهت ثابتی نسبت به چارچوب مرجع دگرشکلی پیشرونده رشد می کنند. بنابراین می توان بزرگترین زاویه بین برگواره مایل و مرز زون برشی را به صورت تئوری با زاویه ξ نشان داد. در میلونیت های غنی از کوارتز، زاویه ثبت شده ماکزیمم، δ بین برگواره اصلی و مایل در ترکیب با زاوی β بین صفحه برش و برگواره های اصلی از فابریک کوارتز می تواند برای بدست آوردن زاویه ξ بکار رود، بنابراین می توان به طور مجدد نوشت (Wallis, 1995; Xypolias, 2010):

$$W_m = \sin \xi = \sin 2(\delta + \beta)$$

این روش اغلب بعنوان روش δ/β شناخته می شود (شکل ۲، جدول ۱).

Sample	Strain Parameter				β (deg)	δ (deg)	Vorticity Analysis	
	R_{xy}	R_{xz}	R_{yz}	X:Y:Z			Method 1	Method 2
Sf1	3.4	3.8	3.15	3.31:0.97:0.31	-	-	0.72-0.80	-
Sf2	2.9	3.45	3	2.93:1.10:0.34	12-16	20	0.58-0.60	0.89-0.95
Sf3	2.8	3.7	2.5	2.7:0.96:0.39	11-16	13	0.65-0.75	0.74-0.84
Sf4	2.4	3.15	2	2.26:0.94:0.47	-	-	0.58-0.67	-
Sf5	2.3	2.9	2.1	2.23:0.97:0.46	13-17	9	0.60-0.65	0.70-0.78
Sf6	1.3	2.4	1.45	1.35:1.04:0.72	-	-	0.47-0.54	-
Sf7	1.65	2	1.75	1.68:1.02:0.58	-	-	0.42-0.58	-
Sf8	1.8	1.9	1.7	1.77:0.98:0.58	-	-	0.43-0.49	-

جدول ۱- نتایج اندازه گیری واتنش نهایی و تاوایی



شکل ۲: آنالیزهای ساختمانی انجام شده بر نمونه Sf3: الف- نمودار فراوانی زاویه δ ب- توزیع فابریک محور C- دانه های کوارتز ج- فابریک مایل دانه های کوارتز در مقطع نازک نمونه Sf3 د- نمودارهای پیازی شکل $R\phi/\phi$ - نتیجه آنالیز پورفیرو کلاست های چرخیده فلدسپار-پتاسیم به روش RGN

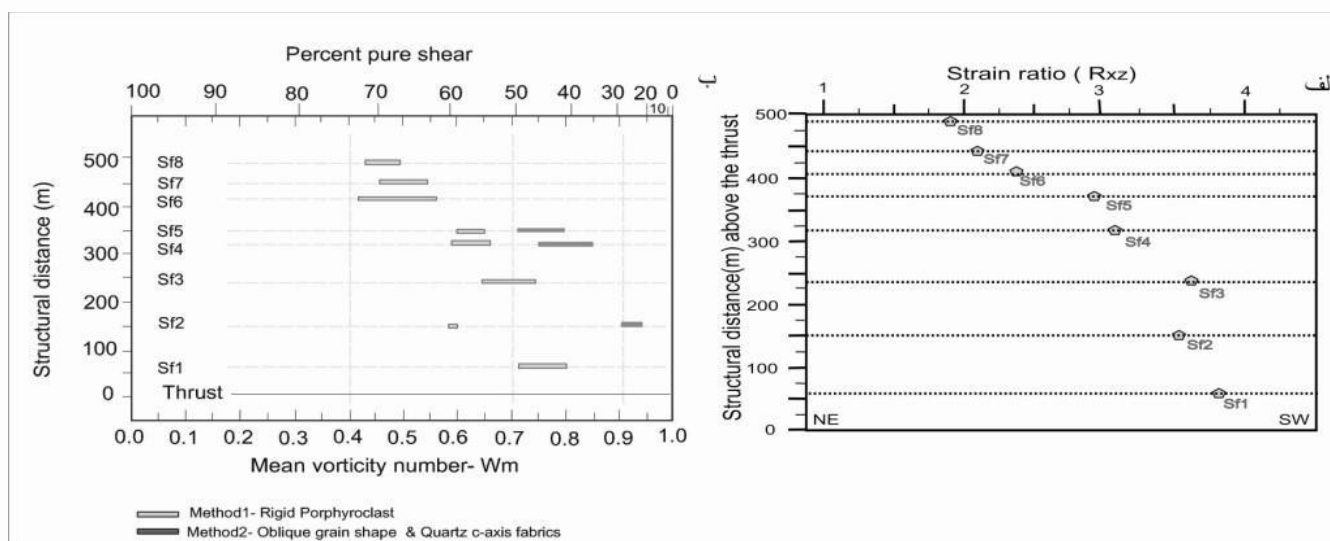
بحث

از آنالیز نمونه های غنی از کوارتز و فلدسپار-پتاسیم در فرادیواره گسل تراستی سیرجان در بررسی تاریخچه جریان و دگرشکلی توده گرانی-گنیسی استفاده شده است. اندازه گیری واتنش نهایی نشان داد که مقادیر R_{xz} با نزدیک شدن به سطوح ساختمانی بالاتر افزایش می یابد و با دور شدن از گسل از مقدار آن کاسته می شود (شکل ۳، الف).

نتایج آنالیزهای تاوایی بر اساس فاصله ساختمانی نسبت به تراست در قالب پروفیل تاوایی نمایش داده شده است (شکل ۳، ب). طول هر خط نمایش دهنده نشانه میزان خطای احتمالی در اندازه گیری پارامترهای هندسی مانند زاویه β می باشد که بازه ای از مقادیر محتمل را تعیین می کند. اندازه گیری ها نشان می دهد که دگرشکلی ثبت شده در توده گنیسی در رژیم برش عمومی (general shear) اتفاق افتاده است. تغییرات مکانی مقدار تاوایی نسبت به فاصله از تراست دیده می شود، بطوری که بیشترین مقادیر میانگین عدد تاوایی ($W_m=0.78$) در مجاورت تراست بدست آمده است و با افزایش فاصله ساختمانی مقدار میانگین عدد تاوایی کاهش ($W_m=0.46$) می یابد. عدد تاوایی متوسط بدست آمده از نمونه های میلیونی $0.46-0.76$ (۷۰-۴۰ درصد برش محض) را با استفاده از روش دانه های صلب و $0.93-0.74$ (۲۰-۳۰ درصد برش محض) را با استفاده از فابریک مایل دانه های کوارتز مشخص



کرده اند. به این ترتیب مقدار برش محض ثبت شده از روش اول بیشتر می باشد. با توجه به اینکه فابریک های کوارتز از حساسیت بیشتری برای ثبت مراحل پایانی دگرشکلی نسبت به دانه های صلب برخوردار هستند، می توان چنین استنباط کرد که روش دوم حوادث دگرشکلی و جزءبندی واتنش را در مراحل پایانی را به ثبت رسانده است (Xypolias, 2009).



شکل ۳. الف- پروفیل تغییرات مقدار واتنش (R_{xz}) و ب- پروفیل تغییرات مقدار میانگین عدد تاوایی (W_m) نسبت به فاصله ساختمانی

مطالعه تغییرات زمانی جریان های طبیعی دگرشکلی امری مشکل می باشد، اما تیکاف و فوسن (۱۹۷۹) نشان دادند که دگرشکلی می تواند از مسیرهای واتنشی حداقل (minimum strain path) تبعیت کند: بعنوان مثال دگرشکلی می تواند از محدوده برش ساده آغاز شده و با پیشرفت دگرشکلی در محدوده برش محض به پایان برسد و یا برعکس. به این مسیرهای دگرشکلی به ترتیب accelerating strain path و decelerating strain path می گویند. با توجه به این مسیرهای واتنشی می توان چنین استنباط کرد که برخاستگی و دگرشکلی در زون برشی مرتبط با صفحه تراستی سیرجان شامل جریان غیر یکنواخت (Non-steady state deformation) می باشد که در مراحل ابتدایی دگرشکلی، جزءبندی واتنش غالباً در محدوده برش محض بوده و توسط دانه های صلب به ثبت رسیده است. با پیشرفت دگرشکلی و در مراحل پایانی زون برشی متحمل افزایش مولفه برش ساده شده که توسط فابریک های کوارتز نشان داده شده است.

تغییرات ثبت شده در طی زمان و مکان در روند تکاملی و دگرشکلی زون های برشی پوسته ای در بسیاری از کمربندهای کوهزایی دیگر دنیا مانند جنوبغرب ژاپن، سفره راندگی اوچی در کوهزاد آلپ، توده اورست در نیپال/تبت و در هیمالیا و... مورد مطالعه قرار گرفته اند (Xypolias et al. 2010; Mukherjee and Koyi 2010; Jessup et al. 2006; Wallis 1992, 1995; SW Japan). و نتایج بدست آمده در منطقه مورد مطالعه ما تشابه خوبی را با نتایج مطالعات ساختمانی ارائه شده از این مناطق نشان می دهد.



نتیجه گیری :

زون برشی مرتبط با تراست سیرجان در کمر بند فشار بالا-دما پایین سنندج سیرجان واقع شده است. وجود نمونه های میلونیتی غنی از کواتر و فلدسپار فرصت مناسبی را جهت آنالیزهای ریزساختاری در این زون شکل پذیر فراهم آورده است. نتایج اندازه گیری مقادیر واتنش نهایی نشان دهنده افزایش مقدار R_{XZ} و درصد برش ساده در فواصل نزدیکتر به تراست می باشد. از طرف دیگر تغییرات دگرشکلی در طول زمان ثابت نبوده ، بطوریکه در ابتدا دگرشکلی در محدوده برش محض به وقوع پیوسته و توسط دانه های صلب فلدسپار به ثبت رسیده است و سپس به سمت محدوده برش ساده پیشرفت داشته، فابریک های کواتر که نسبت به مراحل پایانی دگرشکلی حساسیت بیشتری دارند این تغییر را نشان می دهند. وجود تغییرات در جزء بندی واتنش در زمان و مکان در بسیاری از توده های دگرگونی درجه بالا در کمر بندهای کوهزایی مختلف به تایید رسیده است.



References:

- CHEW DM., 2003. "An excel spreadsheet for finite strain analysis using the R_f/Φ technique". Comput Geosci 29: 795–799
- FOSSON H, TIKOF B., 1997. "Forward modeling of non-steady-state deformations and the 'minimum strain path' ". J Str Geol 19: 987–996
- JESSUP MJ, LAW RD, FRASSI C., 2007. " The Rigid Grain Net .RGN.: an alternative method for estimating mean kinematic vorticity number . W_m ". J Str Geol 29: 411–421
- JESSUP MJ, LAW RD, SEARLE MP, HUBBARD MS., 2006. "Structural evolution and vorticity of flow during extrusion and exhumation of the Greater Himalayan Slab Mount Everest Massif Tibet/Nepal: implications for orogen-scale flow partitioning" In: Law RD Searle MP Godin L .Eds. Channel Flow Ductile Extrusion and Exhumation in Continental Collision Zones. Geological Society London. Special Publications vol 268: 379–414
- LISLE RJ., 1985. "Geological Strain Analysis A Manual for the R_f/Φ Method", Pergamon Press, New York , pp 1–99
- MUKHERJEE S, KOYI HA., 2010. "Higher Himalayan Shear Zone, Zaskar Section- Microstructural Studies & Extrusion Mechanism by a Combination of Simple Shear & Channel Flow". In J E Sci 99, 1083-1110
- SARKARINEJAD K, AZIZI A., 2008. "Slip partitioning and inclined dextral transpression along the Zagros Thrust System, Iran". J Str Geol 30: 116–136

