



کالبد شناسی و جنبش شناختی کمربند چین-رانده نازک پوسته

و کمربند چین-رانده ستبرپوسته، زاگرس، ایران



خلیل سرکاری نژاد، استاد بخش علوم زمین دانشگاه شیراز (sarkarinejad@susc.ac.ir)

فرزانه گفتاری، کارشناسی ارشد بخش علوم زمین دانشگاه شیراز (farzane.goftari@yahoo.com)



چکیده:

شش برش عرضی و برش عرضی بازگردانده از تمام کمربند کوهزاد زاگرس از جنوب غرب به شمال شرق تهیه گردیده است. مقاطع عرضی از پیش بوم نازک پوسته با پی سنگ گنایسی دگرشکل نشده تا پس بوم ستبر پوسته با پی سنگ-درگیر شده را در برمیگیرد. این مقاطع عرضی، کمربند پیش بوم چین خورده، کمربند پیش بوم چین-رانده و توالی رسوبات پوششی را شامل میشوند. مقاطع عرضی فرا بوم، سامانه راندگی زاگرس، کمربند پس بوم چین-رانده، کمربند اسلیتی و کمربند دگرگونی فشاربالا-درجه حرارت پایین سندج-سیرجان را شامل میشود. پی سنگ گنایسی کمربند چین خورده و کمربند چین رانده پیش بوم تحت تاثیر دو فاز تغییر شکل قرار گرفته اند. ابتدا تغییر شکل مربوط به کشیدگی پرمین میانی-تریاس پایانی و تشکیل فروبوم ها و نیمه فروبوم ها میباشد که با همراهی رسوبات در حین بازشدگی و پس از بازشدگی شناخته میشوند. مرحله دوم تغییر شکل با حرکت فشارشی لغزشی شیب دار (25°) در طی برخورد صفحه آفرورعی و خردقاره ایران در ترونین-سنومونین صورت گرفته است که شامل فعال سازی گسل ها و تشکیل وارونه نیم فروبوم ها و راندگی های کوتاه شده میباشد. در قسمت ضخیم شده کمربند کوه زاد پس بوم چین-رانده، سامانه راندگی، کمربند اسلیتی و کمربند دگرگونی فشاربالا-درجه حرارت پایین تحت تاثیر سه فاز تغییر شکل خمیرسا قرار گرفته که شامل بیرون زدگی سفره های میلونیتی به همراه پی سنگ گنایسی در آخرین مرحله هستند. نرخ بالای کوتاه شدگی در پس بوم به نسبت پیش بوم به برخورد شدید پی سنگ گنایسی با پوسته اقیانوسی تیتس در حال فرو رانش مربوط میشود.

کلید واژه ها: برش عرضی زاگرس، کمربند چین-رانده، نازک پوسته، ستبر پوسته، پی سنگ درگیر، جنبش شناختی

Anatomy and kinematics of the Zagros foreland fold-and thrust belt (F-FATB), and the Zagros hinterland fold-and-thrust belt (H-FATB), Iran

Khalil Sarkarinejad (Sarkarinejad@susc.ac.ir)

Farzane Goftari (farzane.goftari@yahoo.com)



Abstract:

Six selected balanced and restored cross-sections across the entire Zagros orogenic belt from SW to NE were constructed. These cross-sections extend from the thin-skinned foreland with undeformed gneissic basement to the thick-skinned basement-involved hinterland. These cross-sections include the foreland folded belt (F-FOB) and foreland fold-and-thrust Belt (F-FATB) and its sedimentary cover sequences. The cross-sections of the hinterland consists the Zagros thrust system, the hinterland fold-and-thrust belt (H-FATB), the slate belt and the Sanandaj-Sirjan HP-LT metamorphic belt. The gneissic basement of the F-FOB and F-FATB has undergone two phases of deformation. The first deformation was mid-Permian-Triassic major extension and formation of grabens and half-grabens that are characterized by the presence of both syn-and post-rift sedimentation. The second phase of deformation involved inclined (25°) transpression during collision of the Afro-Arabian and Iranian microcontinent in the Turonian-Cenomanian. This phase of deformation included reactivation of faults and formation of inverted half grabens and shortcut thrusts. On the thickened side of the orogenic belt, the H-FATB, thrust system, slate belt and HP-LT metamorphic belt have undergone three phases of ductile deformation, including exhumation of mylonite gneissic basement nappes in the latest phase. The higher rate of shortening in the hinterland relative to foreland is attributed to closer coupling of the gneissic basement with the subducting Tethyan oceanic crust.

Keywords: Zagros cross section; Fault-and-thrust belt; Thin-skinned; Thick-skinned; Involved-basement; kinematics



مقدمه :

کمبرندهای چین-رانده یکی از قابل توجه ترین ساختارها در مناطق با تکتونیک فشارشی هستند که از نظر نحوه تغییرشکل دارای تفاوت های خاصی در مقاطع بیرونی و درونی میباشند. (Boyer and Eliot, 1982; Butter, 1986; Sommaruga, 1999) مانند تمامی کمربندهای چین-رانده بالغ که تا کنون بررسی شده اند، درگیری پی سنگی در قسمت خارجی کوهزاد انتظار نمی رود و لایه های تنها بر روی سطح جدایش تغییرشکل میابند که بنام مدل نازک پوسته شناخته میشود. از طرفی در قسمت داخلی کوهزاد پی سنگ درگیر است و ساختارها عمیق تر هستند که بنام مدل ستبرپوسته شناخته میشود. (Gilloti and Kumpulainen, 1986; Wojtal and Mitra, 1988; Yassaghi, 2000) کمربند چین-رانده زاگرس از گسل آناتولی در شرق ترکیه تا خط عمان در جنوب ایران گسترش یافته که نتیجه برخورد حاصل از همگرایی NE-SW قاره آفروربی و خردقاره ایران میباشد که با بسته شدن اقیانوس تتیس از حدود 90 میلیون سال قبل آغاز گردیده است. (Takin, 1972; Dewey, 1973; Alavi, 1980; Berberian and King, 1981; Dercourt, 1986; Stampfli and Borel, 2002) کمربند چین-رانده زاگرس دارای چین های گسترش یافته ی مشخصی بر روی نمک هرمز میباشد که تحت تاثیر گسل هایی که از پیش در منطقه بوده اند قرار گرفته اند. (Butler, 1989; Dewey, 1982; Letousey, 1990; Lowell, 1995; McQuarrie, 2004) در این مطالعه سعی بر این است که از مجموع مشاهدات و مطالعات انجام گرفته برای توضیح ناهمواری های توپوگرافیک در پیش بوم کمربند چین خورده زاگرس و پیش بوم کمربند چین-رانده زاگرس همچنین براساس خصوصیات پی سنگ رخنمون یافته به موازات کوهزاد زاگرس در پس بوم، نبود درگیری پی سنگی و مطابقت با مدل نازک پوسته تشریح گردد.



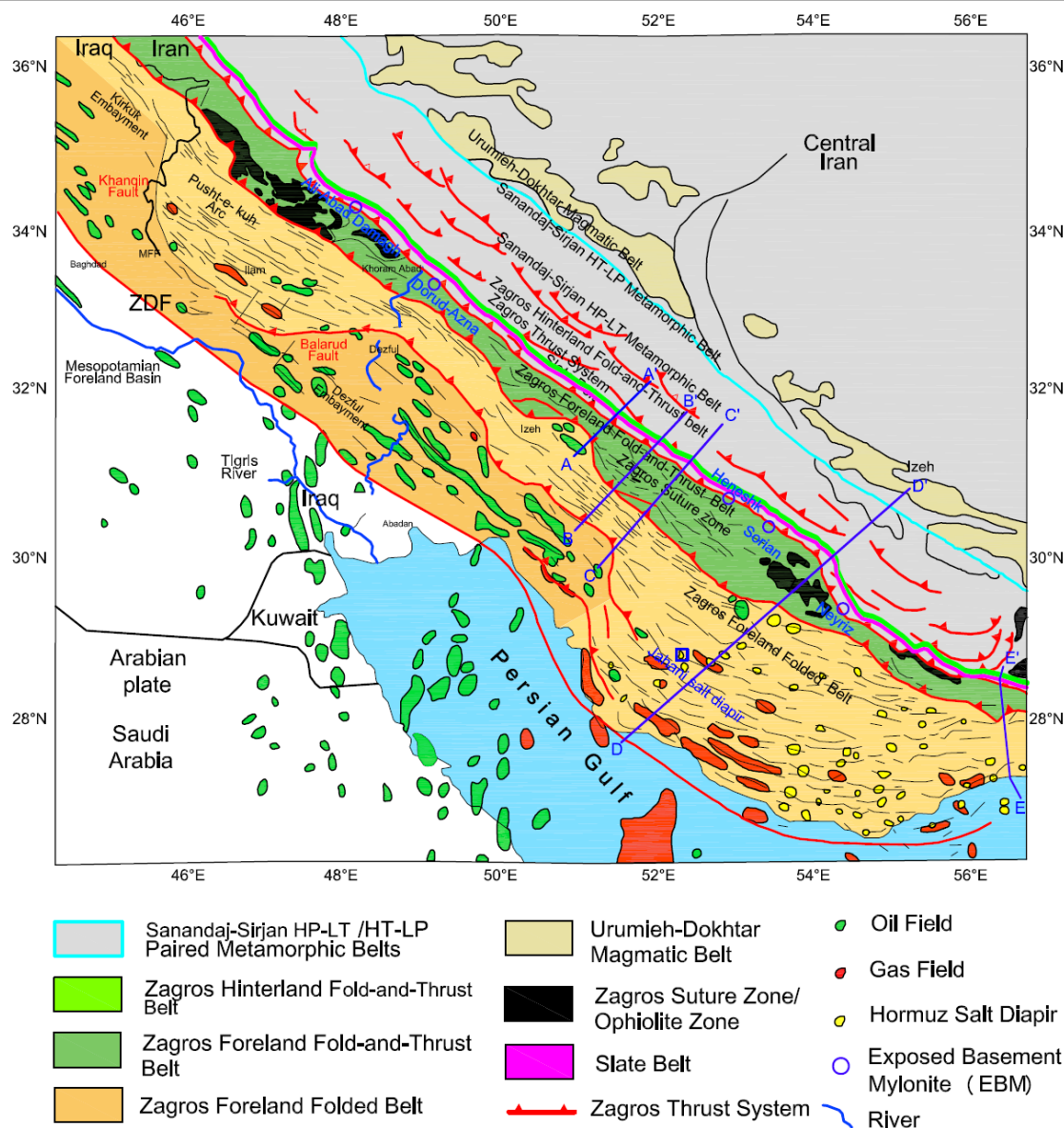
بحث و روش تحقیق:

به منظور بررسی کمر بند چین-رانده زاگرس در این مطالعه 5 برش عرضی با روش کینک رسم گردیده و سپس با روش صفحه سینوسی (Sinous Bed Method) بازگردانده شده اند (Dahlstrom, 1969; Suppe, 1983) این 5 برش عرضی به موازات جابجایی تکتونیکی یعنی در جهت شمال شرق-جنوب غرب و در عرض زاگرس تهیه شده اند به نحوی که از بخش تغییر نیافته پی سنگ در پیش بوم تا قسمت پی سنگ در گیر در پس بوم را شامل میشوند. همچنین در این مطالع بخش پس بوم هم در کنار بخش پیش بوم به جهت مطالعه کامل کمر بند چین-رانده مورد بررسی قرار گرفته است (شکل 1).

واکاوی هندسی نشان میدهد که توالی سنگهای رسوبی بر روی پی سنگ پیش بوم و سنگهای دگرگونی در گیر با پی سنگ پس بوم بصورت توالی سامانه راندگی با جهت شیب شمال شرق و جابجائی در جهت جنوب غرب بصورت پشته واره چین خم-گسلی، چین-انتشار گسلی و چین جدایش گسلی را داده اند. در این مطالعه ما بیرون زدگی پنج سفره میلیونیتی به همراه ستبر پوسته گنیسی درجه بالای دگرگونی در زاگرس را معرفی می نمائیم که توسط گسل های پی سنگی از عمق 22 تا 34 کیلومتر به سطح زمین رسیده اند و وابسته به ساختارهای چند بخشی با جهت پس بوم- شیب هستند.



New Sub-division and Anatomy of the Zagros Orogenic Belt



شکل 1. تقسیم بندی جدید صورت گرفته کمر بند کوه زایی زاگرس از جنوب غرب به شمال شرق به 9 زون کوچکتر تقسیم میشود:

1. کمر بند پیش بوم چین خورده زاگرس (Stöcklin, 1968; Alavi, 1980; Alavi, 1994)
2. کمر بند پیش بوم چین-رانده زاگرس (Stöcklin, 1968; Alavi, 1980; Alavi, 1994)
3. زون زمین درز/ افولیت زاگرس (Sarkarinejad, 2005)



4. سامانه راندگی زاگرس (Sarkarinejad and Azizi, 2008)
5. کمربند پس بوم چین-راندگی زاگرس (Present study; Sarkarinejad and Ghanbarian, 2014)
6. کمربند اسلیتی (Present study)
7. کمربند دگرگونی فشار بالا- درجه حرارت پایین-سیرجان (Sarkarinejad, 1999)
8. کمربند دگرگونی فشار پایین- درجه حرارت بالا-سیرجان (Sarkarinejad, 1999)

1. پیش بوم

1.1. گراین های برگشته

با وجود شواهد مطالعاتی در سراسر دنیا مبنی بر عدم درگیری پی سنگ گنایسی در قسمت پیش بوم، در کمربند چین-راندگی زاگرس شواهدی از درگیری پی سنگ در پیش بوم - مثل طول موج زیاد و دامنه بالای چین های این ناحیه- وجود دارد (Tatar, 2004; Alavi, 2007; Oveisi, 2008; Yamato et al., 2011; Verges, 2011). گرفته، بعضی از این ساختارهای ناهماهنگ که شامل این مطالعه می شده اند نشان دهنده وارونه فروبوم هستند که سطح جدایش و قسمت بالایی پی سنگ گنایسی را تحت تاثیر قرار داده اند. این مناطق، همان نواحی بازشدگی اقیانوسی در مرز گندوانا در پرمین میانی-تریاس هستند که در نهایت در اثر فاز فشارشی به شکل وارونه فروبوم در آمده و بخشی از پی سنگ را با خود به سمت بالاتر حمل کرده است. وارونه فروبوم ها با خصوصیتی نظیر عدم ثبت کشیدگی در رسوبات همزمان بازشدگی، عدم تغییر در حین بازشدگی و در نهایت ثبت فاز فشارشی در حین وارونگی و همچنین ساختارهای ناگهان بالا آمده شناخته می شوند که نشان دهنده ساختار مثبت می باشد. (Nemčok et al., 2001).

1.2. دیپایر نمکی

به علت اهمیت جریان دیپایرهای نمکی در کمربندهای چین-راندگی، گنبد نمکی "جهانی" بعنوان بزرگترین بیرون زدگی نمک در شرق حوزه فارس بطور دقیق در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی های میکروسکوپی و مزوسکوپی در نمونه های جهت دار نمک در صفحه-XZ نشان میدهد که جریان نمک قادر به ثبت تغییرات استرین میباشد. مناطق با استرین برشی بالا بوسیله پورفیروکلاست های نمکی پیچیده بوسیله ماتریکس متوسط تا خوب مشخص میشوند که دارای Salt fish و سامانه پورفیروکلاست δ و σ هستند که بطور کلی نشان دهنده جریان برشی چپگرد می باشد. همچنین اندازه گیری عدد تاوایی جنبش شناختی (W_K) در پورفیروکلاست های نمک با استفاده از روش شبکه دانه صلب نشان دهنده $W_K = W_m = 0.57 \pm 0.024$ میباشد که مشخص کننده 39٪ برش محض و 61٪ برش ساده است.

2. پس بوم

به جهت مقایسه بخش پیش بوم و پس بوم، در این مطالعه 5 منطقه از پی سنگ میلوئیتی گنایسی که به خوبی بیرون زدگی پیدا کرده اند و بر روی راندگی زیرین با شیب شمال شرق قرار گرفته اند معرفی شده اند: (شکل 1) میلوئیت های نزدیک شهر نیریز در جنوب



و جنوب غرب کمر بند کوهزاد زاگرس (Sarkarinejad, 2007)، (2) در منطقه سوریان که بیرون زدگی گنبد گنایسی توتک (Sarkarinejad and Alizadeh, 2009)، (3) در منطقه هنشک در نزدیکی شهر ده بید در قسمت مرکزی کمر بند کوهزاد زاگرس (Sarkarinejad and Azizi, 2008)، (4) بین شهر درود و ازنا در قسمت غربی کمر بند کوهزاد زاگرس، (5) در قسمت شمال غرب کمر بند کوهزاد زاگرس در نزدیکی روستای علی آباد دمق. این سفره های رانده همراه هستند با دوپلکس های با شیب به سمت پس بوم. میلونیت ها شامل پروفیروکلاست های کوارتز و میکروکلاین های فلدسپار و بیوتیت فیش در زمینه ای از فلدسپار، کوارتز، بیوتیت و هورنبلند می باشند.

2.1. کمر بند اسلیتی

بر اساس بررسی صورت گرفته در داخل کمر بند کوهزاد زاگرس، کمر بند اسلیتی در طول حدود 920 کیلومتر در جهت شمال غرب- جنوب شرق گسترش یافته است و در این تحقیق معرفی میگردد. این کمر بند در منطقه ده بید به شکل یک زون باریک، همچنین در قسمت جنوب غربی سنگهای دگرگونی نیریز و نیز در منطقه همدان گسترش یافته است.

2.2. افیولیت

افیولیت ها نشان دهند زون زمین درز بین قاره آفرو-عربی و خردقاره ایران می باشند. (Sarkarinejad, 2005) افیولیت نیریز در طول کوهزاد زاگرس در امتداد شمال غرب- جنوب شرق قرار گرفته که در زمان کرتاسه در نتیجه فرورانش به سمت شمال شرق صفحه اقیانوسی نئوتتیس به زیر خردقاره ایران ایجاد گردیده و شامل دو کمر بند خوی-نیریز و نائین-بافت می شود. (Stöcklin, 1968; Berberian and King, 1981; Alavi, 1994; Agard et al., 2005; Sarkarinejad and Azizi, 2008; Ghasemi and Talbot, 2006).

3. بحث

در این مطالعه مشخص گردید که پی سنگ گنایسی در پیش بوم بصورت گسترده ای بدون دگرشکلی و از طرف دیگر در پس بوم بسیار تغییر شکل یافته میباشد.

مطالعات عمیق لرزه ای بازخوردی 2D و 3D و همچنین حجمی لرزه ای 4D از پی سنگ کمر بند چین خورده و کمر بند چین-رانده در پیش بوم نشان دهنده خصوصیتی از تغییرات پی سنگ است که به وسیله حضور وارونه فروبوم ها و نیم فروبوم ها در نزدیکی سطح جدایش و بخش بالایی پی سنگ گنایسی قابل توضیح است.

درگیری پی سنگ در قسمت پس بوم به وسیله وجود 5 سفره میلونیتی پی سنگی به همراه رانده های عمیق از جنوب غرب به شمال شرق در قسمت ضخیم شده کمر بند کوهزاد زاگرس قابل توضیح است.

عدد تاوایی جنبشی شناختی در زون برشی در گنبد های نمکی پیش بوم حدود 0.57 ± 0.024 تخمین زده شده است که نشان دهنده تغییر شکل 61 درصدی برش محض و 39 درصدی برش ساده می باشد (Movahedi, 2015) که مشخص کننده تغییر شکل برش نیمه ساده غیر ایده آل است. عدد تاوایی جنبشی شناختی در مناطق با استرین بالا در سفره های میلونیتی پس بوم مشابه همین نتایج می باشند.



- طبق مطالعه انجام شده و کالبد شناسی کوه زاد زاگرس و تقسیم بندی جدید صورت گرفته در این تحقیق، کمربند چین رانده زاگرس از جنوب غرب به شمال شرق به 9 زون کوچکتر تقسیم میشود:
1. کمربند پیش بوم چین خورده زاگرس (Stöcklin, 1968; Alavi, 1980; Alavi, 1994)
 2. کمربند پیش بوم چین-رانده زاگرس (Stöcklin, 1968; Alavi, 1980; Alavi, 1994)
 3. زون زمین درز/افیولیت زاگرس (Sarkarinejad, 2005)
 4. سامانه راندگی زاگرس (Sarkarinejad and Azizi, 2008)
 5. کمربند پس بوم چین-رانده زاگرس (present study; Sarkarinejad and Ghanbarian, 2014)
 6. کمربند اسلیتی (present study)
 7. کمربند دگرگونی فشار بالا- درجه حرارت پایین سنندج-سیرجان (Sarkarinejad, 1999)
 8. کمربند دگرگونی فشار پایین- درجه حرارت بالا سنندج-سیرجان (Sarkarinejad, 1999)
 9. کمربند آتشفشانی ارومیه- دختر (Stöcklin, 1968; Alavi, 1980; Berberian and King, 1981; Berberian et al., 1982)



نتیجه گیری :

1. پیش بوم و پس بوم زاگرس از مقطع سنگ کره تا میکروسکوپی به گستردگی مقیاس، دست کم بزرگی 14 (10^{+7} تا 10^{-6}) از شمال شرق تا جنوب غرب در امتداد کمربند چین-رانده به جهت درک بهتر نحوه تغییرات کمربند پیش بوم چین خورده زاگرس، کمربند پیش بوم چین-رانده زاگرس و کمربند پس بوم چین رانده زاگرس مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است و در نهایت مشخص گردید که پی سنگ گنایسی در پیش بوم بدون دگرشکلی میباشد و از طرف دیگر در پس بوم بشدت دچار دگرشکلی شده است.
2. پی سنگ کمربند پیش بوم چین خورده و کمربند پیش بوم چین-رانده زاگرس نشان دهنده شواهدی از دوباره فعال شدن گسل های نرمال می باشد که وارونه فروبوم ها و نیم فروبوم ها را در طی تغییر شکل فشارشی زاگرس ایجاد کرده اند. لایه های رسوبی همزمان و بعد از بازشدگی و همزمان با وارونگی، از شواهد تغییر شکل منجر به درگیری بخشی از پی سنگ گنایسی میباشد.
3. دو کمربند جدید در این مطالعه در قسمت پس بوم زاگرس معرفی شده اند که عبارتند از: کمربند پس بوم چین-رانده زاگرس در قسمت شمال شرقی هسته کوهزایی زاگرس که خود از 7 فرابوم بزرگ مقیاس با شیب به سمت پس بوم و دارای ضخامت متوسط 8 ± 1 km تشکیل شده است. (Sarkarinejad and Ghanbarian, 2014) و کمربند اسلیتی زاگرس به طول 920 km \sim و عرض 2-7 km که بین کمربند پس بوم چین-رانده زاگرس و کمربند فشاربالا-درجه حرارت پایین سنندج سیرجان قرار گرفته است.



4. در این مطالعه 5 سفره میلونیتی خوب رخنمون یافته با شیب به سمت پس بوم و پی سنگ گنایسی درجه بالا معرفی گردیده که در بر روی راندگی عمیق جدایشی به موازات سیستم راندگی اصلی زاگرس قرار گرفته است. این سفره ها دارای دوپلکس های با شیب به سمت پس بوم و دارای هندسه فابریک S/C مشخص در تمامی نواحی دارای بیرون زدگی میباشند.
5. مشابهت های بین مولفه های برش ساده و محض در گنبد های نمکی پیش بوم و سفره های میلونیتی پس بوم نشان دهنده این نکته است که پیش بوم و پس بوم هر دو تحت تغییر شکل برشی نیمه ساده (Sub-simple deformation) مشابه و در عین حال دگرشکلی های ناهم محور با شدت های متفاوت قرار گرفته اند.
6. اندازه گیری کوتاه شدگی در مقیاس پوسته در 5 برش عرضی بازسازی شده و بازگردانده نشان میدهد کوتاه شدگی در قسمت پیش بوم $24.8 \pm 3.3\%$ و کوتاه شدگی در قسمت پس بوم $61.8 \pm 9.2\%$ میباشد.
7. نرخ کوتاه شدگی بیان شده مربوط به پوسته قاره ای میباشد و میزان کوتاه شدگی و فرورانش رخ داده در پوسته اقیانوسی در زون زمین درز به دلیل نبود روشی برای بازسازی این بخش تا کنون قابل محاسبه نبوده است.



References:

- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Mouthereau, F., 2005. "Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation", International Journal of Earth Sciences, 94, p. 401–419.
- Alavi, M., 1980. "Tectonostratigraphic evolution of the Zagrosides of Iran", Geology, 8, p. 144–149.
- Alavi, M., 1994. "Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations", Tectonophysics, 229, p. 211–238.
- Alavi, M., 2007. "Structures of the Zagros fold-and-thrust belt in Iran", American Journal of Science, 307, p. 1064–1095.
- Alavi, M., Mahdavi, M.A., 1994. "Stratigraphy and structure of the Nahavand region in western Iran, and their implications for the Zagros tectonics", Geological Magazine, 131, p. 43–47.
- Berberian, M., King, G.C.P., 1981. "Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran", Canadian Journal of Earth Sciences, 18, p. 210–65.
- Berberian, F., Muir, I.D., Pankhurst, R.J., and Berberian, M., 1982. "Late Cretaceous and Early Miocene Andian-type plutonic activity in northern Makran and central Iran", London, Journal of the Geological Society, 139, p. 605–614.
- Boyer, S.E., Elliott, D., 1982. "Thrust systems", American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 66, p. 1196–1230.



Butler, R.W.H., 1986. "Thrust tectonics, deep structure and crustal subduction in the Alps and Himalayas", Journal of the Geological Society of London, 143, p. 857–873.

Butler, R.W.H., 1989. "The influence of pre-existing basin structure on thrust system evolution in the western Alps". In: Inversion Tectonics, M. A., Cooper, J. D. Williams (Eds.). Geological Society of London Special Publication, 44, p. 105–122.

Dahlstrom, C.D.A. 1969. "Balanced cross sections", Canadian Journal of Earth Sciences, 6, Part 1, p. 743–757.

Dercourt, J., Zonenshain, L., Ricou, L. E., Kasmin, G., Le Pichon, X., Knipper, L. A., Grandjacquet, C., Shortshikov, I. M., Geysant, J., Lepvrier, C., Pechersky, D. H., Bazhenov, J., Lauer, J. P., and Biju-Duval, B., 1986. "Geological evolution of the Tethys belt from the Atlantic to Pamirs since the Lias", Tectonophysics, 123, p. 241–315.

Dewey, J.F., 1982. "Plate tectonics and the evolution of the British Isle", Journal of the Geological Society, London, 139, p. 371–414.

Dewey, J.F., Pitman, W., Ryan, W., and Bonin, J., 1973. "Plate tectonics and the evolution of the Alpine system", Geological Society of America Bulletin, 84, p. 3137–3180.

Ghasemi, A., Talbot, C.J., 2006. "A new tectonic scenario for the Sanandaj–Sirjan Zone (Iran)", Journal of Asian Earth Sciences, 26, p. 683–693.

Gilotti, J.A., Kumpulainen, R., 1986. "Strain softening induced ductile flow in the Särvi thrust sheet, Scandinavian Caledonides". Journal of Structural Geology, 8, p. 441–455.

Letouzey, J. 1990. "Fault reactivation, inversion and fold-thrust belt", In: Letouzey, J. (ed.) Petroleum and Tectonics in Mobile Belts. Technip., Paris, p. 101-127.

Lowell, D.L., 1995. "Mechanics of basin inversion from worldwide example", In J. G. Buchanan, P. G. Buchanan (eds.), Basin Inversion. Geological Society Special Publication, 88, p. 39–57.

McQuarrie, N., 2004. "Crustal scale geometry of Zagros fold-thrust belt, Iran", Journal of Structural Geology, 26, p. 519–535.

Movahedi, F., 2015. "Structural and microstructural analyses of the Jahani salt diapir, Firuz Abad, Iran", Unpublished M.Sc. thesis, Shiraz University (in Persian), 167pp.

Nemcok, M., Nemcok, J., Wojtaszek, M., Ludhova, L., Oszczytko, N., Sercombe, W. J., Cieszkowski, M., Paul, Z., Coward, M. P. and Slaczka, A., 2001. "Reconstruction of Cretaceous rifts incorporated in the Outer West Carpathian wedge by balancing", in: Cloetingh, S., Nemcok, M., Neubauer, F., Horvath, F. and Seifert, P. (eds): The Hydrocarbon potential of the Carpathian-Pannonian Region. Marine and Petroleum Geology, Volume 18(1), p. 39-63.

Oveisi, B., Lave, J., Van der Beek, P., Carcaillet, J., Benedetti, L., and Aubourg, C., 2008. "Thick and thin-skinned deformation rates in the Central Zagros Simple Folded Zone (Iran) indicated by displacement of geomorphic surface", Geophysical Journal International doi: 10.1111/j.1365-246X.2008.04002.x

Sarkarinejad, K., 1999. "Tectonic finite strain analysis using Ghouri deformed conglomerate, Neyriz area, Southwestern Iran", Iranian Journal of Science and Technology 23, p. 352–363.

Sarkarinejad, K., 2005. "Structures and micro structures related to steady state mantle flow in the Neyriz ophiolite, Iran", Journal of Asian Earth Sciences, 25, p. 859–881.



- Sarkarinejad, K., 2007. "Quantitative finite strain and kinematic analyses along the Zagros transpression zone, Iran", *Tectonophysics*, 442, p. 49-65.
- Sarkarinejad, K., Alizadeh, A., 2009. "Dynamic model for the exhumation of the Tutak gneiss dome within a bivergent wedge in the Zagros Thrust System of Iran", *Journal of Geodynamics*, 47, p. 201-209.
- Sarkarinejad, K., Azizi, A., 2008. "Slip partitioning and inclined dextral transpression along the Zagros Thrust System, Iran", *Journal of Structural Geology*, 30, p. 116-136.
- Sarkarinejad, K., Ghanbarian, M., 2014. "The Zagros hinterland fold and thrust belt in-sequence thrusting, Iran", *Journal of Asian Earth Science*, 85, p. 66-79.
- Sommaruga, A., 1999. "Décollement tectonics in the Jura foreland fold-and-thrust belt", *Marine and Petroleum Geology*, 16, p. 111-134.
- Stampfli, G.M., Borel, G.D., 2002. "A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrones", *Earth and Planetary Science Letters*, 196 (1-2), p. 17-33.
- Stocklin, J., 1968. "Structural history and tectonics of Iran", A review: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 52, p. 1229-1258.
- Suppe, J., 1983. "Geometry and kinematics of fault-bend folding", *American Journal of Science*, 283, p. 684-721.
- Takin, M., 1972. "Iranian Geology and continental drift in the Middle East" *Nature*, 235, p. 147-150.
- Tatar, M., Hatzfeld, D., Ghafori-Ashtiany, M., 2004. "Tectonic of the central Zagros (Iran) deduced from micro earthquake seismicity. *Geophysical Journal International*, 156, p. 255-266.
- Vergés, J., Saura, E., Casciello, E., Fernández, M., Villaseñor, A., Jiménez-Munt, I., García-Castellanos, D., 2011. "Crustal-scale cross-sections across the NW Zagros belt: implications for the Arabian margin reconstruction", *Geological Magazine*, 148, p. 739-761
- Wojtal, S., Mitra, G., 1988. "Nature of deformation in fault rocks from Appalachian thrusts", In: *Geometries and Mechanisms of Thrusting, with Special Reference to the Appalachians* (Eds. G. Mitra and S. Wojtal), *Geological Society of America, Special Paper*, 222, p. 17-33.
- Yamato, P., Kaus, B., Mouthereau, F., Casteltort, S., 2011. "Dynamic constraints on the crustal-scale rheology of the Zagros fold belt, Ira", *Geology*, 39, p. 815-818.
- Yassaghi, A., James, P.R., Flottmann, T., 2000. "Geometric and kinematic evolution of asymmetric ductile shear zones in thrust sheets, southern Adelaide fold-thrust belt, South Australia" *Journal of Structural Geology*, 22, p. 889-912.
- Ziegler, P.A., 1988. "Evolution of the Arctic-North Atlantic and the Western Tethys", *American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 43, 198pp.