

تحلیل کرنش در مرمرهای مجموعه دگرگونی شمال گلپایگان با استفاده از دایره مور

محمد رضا شیخ الاسلامی^۱، شیرین الیاسی^۲ و محمدرضا قاسمی^۳

^۱دانشیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

^۲کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

^۳استاد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۲۷

چکیده

هدف اصلی این مقاله نشان دادن کاربرد بودین ها و استفاده از دایره مور در برآورد کمی کرنش طی دگرریختی است. با توجه به شکل گیری بودین ها در دو مرحله از دگرریختی پیشرونده (D1 و D4) در مرمرهای مجموعه دگرگون شمال گلپایگان، تحلیل کرنش دو بعدی برای این دو مرحله دگرریختی با استفاده از این ساختار به انجام رسیده است. تحلیل کرنش بر پایه برآورد طول اولیه بودین ها پیش از دگرریختی و اندازه گیری طول کنونی بودین ها، پس از دگرریختی انجام شده است. محاسبه پارامترهای طولی کرنش و دایره های مور ترسیم شده نشان می دهند که نسبت کرنش طی مرحله دگرریختی D1 (۲/۳۵-۱/۰۶) و در مرحله دگرریختی D4 (۲/۸۴-۱/۱۰) است. تغییر مساحت مثبت طی مرحله دگرریختی D1 و تغییر مساحت مثبت و منفی در جریان مرحله دگرریختی D4 روی داده است. میانگین زاویه برش برای دگرریختی D1، ۲۲ درجه و برای دگرریختی D4، ۲۴ درجه برآورد شده است.

کلیدواژه‌ها: کرنش، بودین، گلپایگان، دایره مور.

***نویسنده مسئول:** محمدرضا شیخ الاسلامی

E-mail: rezasheikhholeslami@yahoo.com

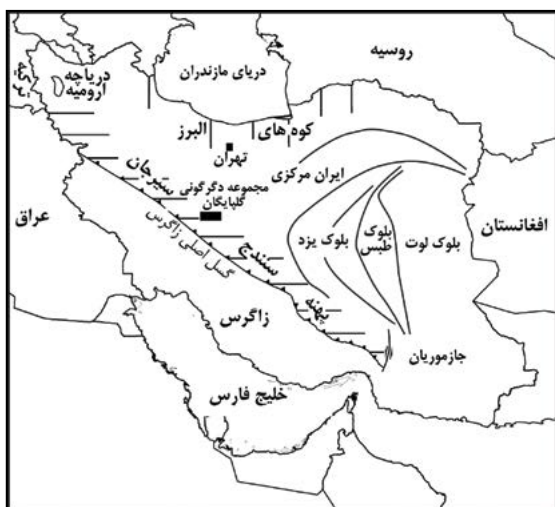
۱- پیش نوشتار

تحلیل کرنش از مباحث مهم در علم زمین‌شناسی ساختاری است. بر پایه این تحلیل می‌توان شدت، نوع دگرریختی و تغییرات حجم یا مساحت طی فرآیندهای دگرریختی را شناسایی و طبقه‌بندی کرد (Ragan, 2009; Ramsay and Huber, 1983). روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری و تحلیل کرنش وجود دارند که با استفاده از آنها می‌توان به بررسی کرنش سنگ‌هایی که به طور طبیعی دگرریخت شده‌اند، پرداخت. نکته مشترک در تمامی این روش‌ها مقایسه وضعیت شاخص‌های دگرریختی در سنگ‌ها پیش و بعد از اعمال دگرریختی است. در روش‌های Rf/ϕ (Ramsey, 1967) و (Fry, 1979) که از متداول‌ترین روش‌ها برای بررسی دگرریختی هستند، قطعات دگرریخت شده شامل لیتوکلت‌ها، قطعات کنگلومرا و نیز پورفیروکلت‌ها برای تحلیل دگرریختی مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش دیگری که برای تعیین کرنش در سنگ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، استفاده از عناصر کشیده شده و یا چرخیده در جریان دگرریختی نظیر سنگواره‌ها و بودین‌ها هستند (Ramsay and Huber, 1983).

فراوانی بودین‌ها در مناطق دگرریخت شده این امکان را می‌دهد که بتوان مقادیر پارامترهای کرنش شامل پارامترهای طولی و زاویه‌ای را ارزیابی نمود (Talbot and Sokoutis, 1995; Mandal et al., 2007) و بر پایه آن تحلیلی دو بعدی از کرنش انجام داد. از آنجا که ویژگی‌های دگرریختی در مرحله‌های مختلف توسعه آن متفاوت است، با بررسی کرنش شکل گرفته در هر مرحله از دگرریختی می‌توان در مورد شدت، نوع دگرریختی و نیز تغییرات مساحت روی داده طی آن مرحله اظهار نظر و با مرحله‌های دیگر مقایسه کرد. از آنجا که تاکنون پژوهش‌های اندکی در خصوص تحلیل کرنش در مناطق دگرگونی ایران بر پایه بودین‌ها صورت گرفته به منظور نشان دادن اهمیت این ساختارها و چگونگی استفاده از آنها در برآورد کرنش با استفاده از دایره مور، دو دسته از بودین‌های موجود در مرمرهای بخش خاوری مجموعه دگرگون شمال گلپایگان که طی دو مرحله دگرریختی جداگانه ایجاد شده‌اند (Sheikhholeslami et al., 2019)، مورد بررسی و تحلیل کرنش دو بعدی قرار گرفته‌اند. با استفاده از پارامترهای طولی و زاویه‌ای اندازه‌گیری شده در بودین‌ها، هندسه کرنش دو بعدی شامل نسبت بیضی کرنش و زاویه برش بیشینه طی این دو مرحله دگرریختی محاسبه و با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

۲- زمین‌شناسی ناحیه‌ای

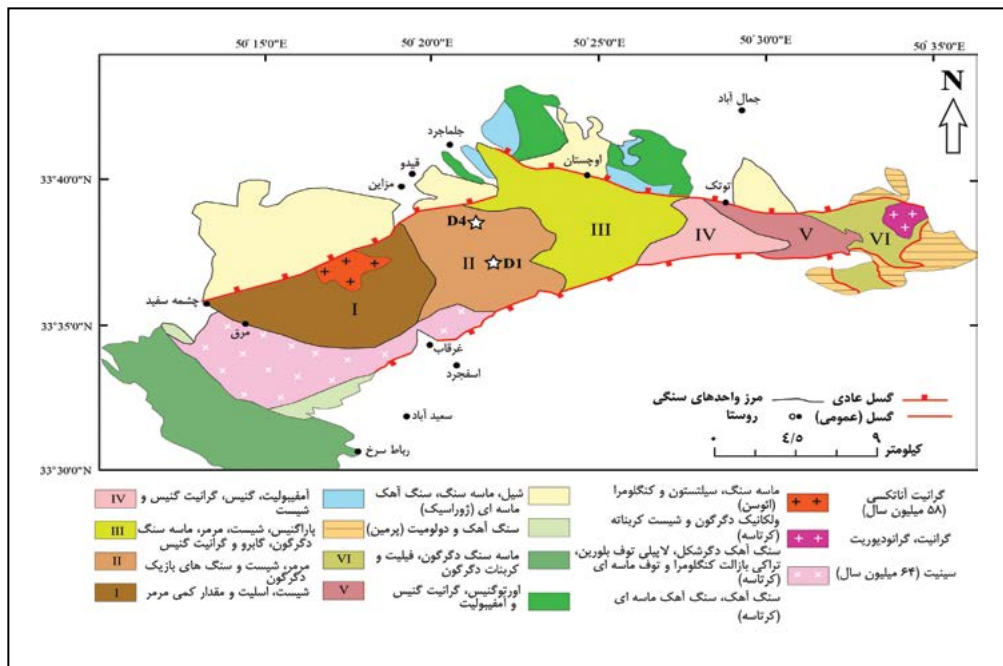
مجموعه دگرگونی گلپایگان در نزدیکی بخش مرکزی پهنه سندج - سیرجان، در حاشیه جنوب باختری ایران مرکزی واقع شده است (شکل ۱). این مجموعه شامل بخش خاوری در شمال مونه و بخش باختری، در شمال گلپایگان است (Rachidnejad-Omran et al., 2002; Moosavi et al., 2014). گلپایگان از سنگ‌های مختلفی شامل شیسست، مرمر، اسلیت، گنیس و آمفیبولیت به سن پرکامبرین تا کامبرین تشکیل شده است. سنگ‌های دگرگون در این مجموعه توسط سنگ‌های کرنناته پرمن، رسوبات تخریبی ژوراسیک، سنگ‌های کرنناته کرتاسه و رسوبات تخریبی ائوسن پوشیده شده‌اند. پهنه‌های برشی در زیر گسل‌های جداکننده‌ای قرار دارند که سنگ‌های دگرگون را از سنگ‌های دگرگون نشده و نهشته‌های پرکننده حوضه‌های رسوبی جدا می‌کنند (Moritz et al., 2006) (شکل ۲).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مجموعه دگرگونی گلپایگان در حاشیه جنوب باختری ایران مرکزی و در مجاورت پهنه سندج - سیرجان.

واحد سنگی برای تحلیل کرنش مورد استفاده قرار گرفته‌اند. واحد III از پاراگنیس، شیست، مرمر، ماسه سنگ دگرگون و متاکاربو تشکیل شده است. این سنگ‌ها توسط آمفیبولیت، شیست و اورتوگنیس مربوط به واحد دگرگونی شماره IV پوشیده شده‌اند. مقدار گنیس در واحد V افزایش یافته به طوری که در برخی نقاط جایگزین آمفیبولیت و شیست می‌شود. واحد سنگی V توسط ماسه سنگ دگرگون، فیلیت و اسلیت (واحد سنگی VI) پوشیده می‌شود. واحد سنگی VI که درجه دگرریختی و دگرگونی کمتری نسبت به سایر واحدها دارد، با همبری گسله در زیر کرنات‌های پریمین قرار دارد (شکل ۲).

سنگ‌های رخنمون یافته در مجموعه دگرگونی شمال گلپایگان را می‌توان در قالب شش واحد سنگی اصلی تقسیم‌بندی نمود (شکل ۲). این واحدهای سنگی با همبری گسله در زیر سنگ‌های کرنات‌ها پریمین قرار گرفته‌اند (Sheikholeslami et al., 2019). واحد زیرین (واحد I) از انواع شیست‌ها، اسلیت و کمی مرمر تشکیل شده است. این واحد توسط یک توده گرانیت آتاکسی در ۵۸ میلیون سال پیش مورد نفوذ قرار گرفته است (Rachidnejad-Omran et al., 2002). واحد II از مرمر، کالک شیست، شیست پلیتی و متابازیت تشکیل شده است. مرمرهای حاوی رگه‌های چرتی موجود در این



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی ساده شده مجموعه دگرگون شمال گلپایگان (شیخ‌الاسلامی و زمانی پدرام، ۱۳۸۴؛ Rachidnejad-Omran et al., 2002). واحدهای سنگی اصلی با شماره‌های لاتین مشخص شده‌اند. محل مرمرهای مورد بررسی برای تحلیل کرنش با ستاره مشخص شده است.

مختلف هستند، در اثر کشیدگی در خلال مرحله دگرریختی اول (D1) شکل گرفته‌اند (شکل ۳). جابجایی در این دسته از بودین‌ها به طور معمول در جهت برش روی داده است. این دسته از بودین‌ها در مرمرهای ناخالص با میان لایه‌های چرتی در مقیاس‌های مختلف نمایان هستند. همچنین در برخی نقاط یال چین‌های بین برگوارگی به شدت نازک شده و تشکیل بودین داده‌اند. بودین‌های نسل دوم در طی مرحله دگرریختی چهارم (D4) در پهنه‌های برشی شکل‌پذیر بیشتر به صورت دومینو حضور دارند. ناتقارنی این بودین‌ها نشانه‌ای از حرکت برشی ساده است که در واحدهای مرمر چرتی به فراوانی دیده می‌شوند. جابجایی در این دسته از بودین‌ها به طور معمول در خلاف جهت برش می‌باشد (Sheikholeslami et al., 2019).

پارامترهای کرنش پایدار شامل پارامترهای طولی کرنش و پارامترهای زاویه‌ای کرنش هستند که امکان تحلیل دو بعدی و سه بعدی کرنش را فراهم می‌سازند (Ramsay and Huber, 1983; Ragan, 2009). در این بررسی مقادیر پارامترهای طولی کرنش با استفاده از اندازه‌گیری مقدار کشیدگی در بودین‌ها و محاسبه طول اولیه و طول کنونی آنها به دست آمده است. سپس با ترسیم دایره‌های مور درجه بیضویت و یا نسبت کرنش (R) محاسبه شده است.

۴-۱. محاسبه کرنش و رسم دایره مور بر پایه بودین‌های نسل اول

نسبت طول اولیه به طول کنونی این دسته از بودین‌ها در پنج ایستگاه مطابق شکل ۳ اندازه‌گیری شده‌اند. اندازه‌گیری‌ها در دو جهت متفاوت در راستای سینه کارهای موجود در معدن مرمریت انجام گرفته و نتایج حاصل از این اندازه‌گیری‌ها در جدول ۱ آورده شده‌اند. برای رسم دایره مور، شناسایی و تعیین زاویه بین راستای

۳- بررسی توالی دگرریختی در مجموعه دگرگون شمال گلپایگان

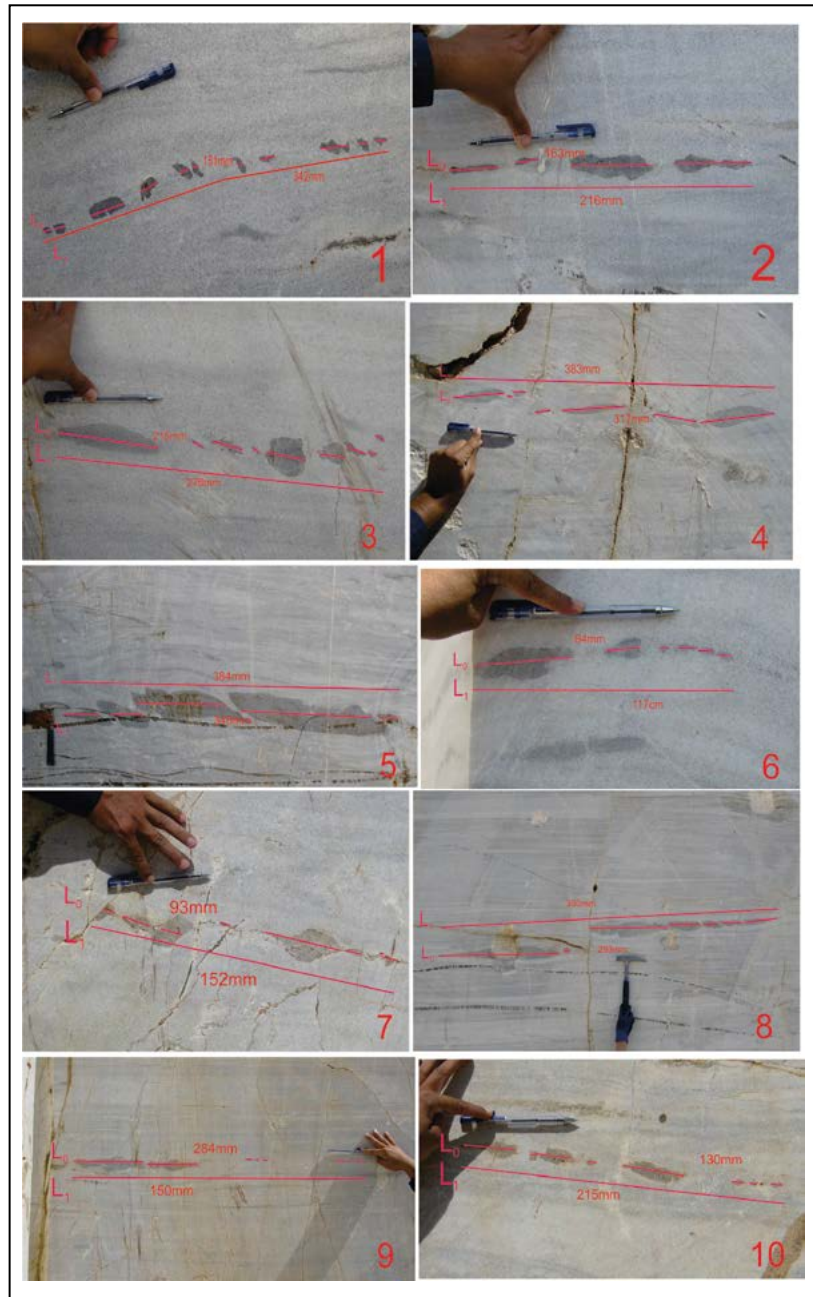
بر اساس شواهد ارائه شده توسط (Sheikholeslami et al., 2019)، واحدهای سنگی مجموعه دگرگونی شمال گلپایگان دست کم تحت اثر چهار مرحله دگرریختی قرار گرفته‌اند. بر پایه جنس واحدهای سنگی، گسترش ساختارها در هر یک از این مرحله‌های دگرریختی متفاوت است، به گونه‌ای که در گنیس‌ها و سنگ‌های آذرین دگرگون توسعه ساختارها کمتر، و در واحدهای شیستی و مرمری گسترش ساختارها بیشتر است. مرحله اول دگرریختی همزمان با رویداد دگرگونی پیشرونده به وجود آمده و در جریان آن چین‌های نسل اول، برگوارگی نسل اول، خطوارگی نسل اول و بودین‌های نسل اول شکل گرفته‌اند. مرحله دوم دگرریختی با بخش‌شدگی کرنش و تشکیل پهنه‌های برشی فشارشی هویت می‌یابد (Moosavi et al., 2014). ساختارهای این مرحله توسط چین-های نسل سوم در مقیاس‌های متفاوت فرانهاده می‌شوند. چهارمین مرحله دگرریختی با ایجاد پهنه‌های برشی کششی و بودین‌های نسل دوم مشخص می‌شود. این ساختارها به تدریج به گسل‌های عادی که در بخش سطحی شکل گرفته‌اند، تبدیل می‌شوند.

۴-۲. محاسبه پارامترهای کرنش و رسم دایره مور

از بودین‌ها می‌توان در بررسی کرنش اعمال شده بر سنگ‌ها استفاده نمود (Ferguson, 1981; Mandal et al., 2007; Ragan, 2009). در این پژوهش وضعیت کرنش پایدار که در جریان دگرگونی ناحیه‌ای بر مجموعه دگرگونی جنوب محلات اعمال شده با استفاده از بودین‌ها مورد تحلیل قرار می‌گیرد. بودین‌های نسل اول که از نوع بودین‌های ساده یا دوکی شکل در اندازه‌های

خطوارگی ۱۰۵ و میل آن ۵ درجه است. مقادیر عکس مرعب کشیدگی (λ') در دو جهت که برای رسم دایره مور مورد نیاز هستند، بر پایه جدول ۱ محاسبه و در جدول ۲ درج شده‌اند.

اندازه گیری عنصر کشیده شده با خطوارگی مورد نیاز است. خطوارگی موجود در این ناحیه از نوع خطوارگی کانی حاصل انتظام کانی‌های میکایی است که در مرحله اول دگرریختی همزمان با اولین رویداد دگرگونی شکل گرفته است. آزمون این



شکل ۳- بودین‌های نسل اول و مقادیر اندازه‌گیری شده طول کنونی به طول اولیه در ایستگاه‌های A-E. در هر ایستگاه دو اندازه‌گیری انجام شده است. اعداد انگلیسی شماره بودین‌ها مطابق جدول یک هستند.

جدول ۱- اطلاعات مربوط به اندازه‌گیری طول کنونی به طول اولیه بودین‌های دوکی، راستا و زاویه آن‌ها با محور X یا راستای خطوارگی در ایستگاه‌های A تا E.

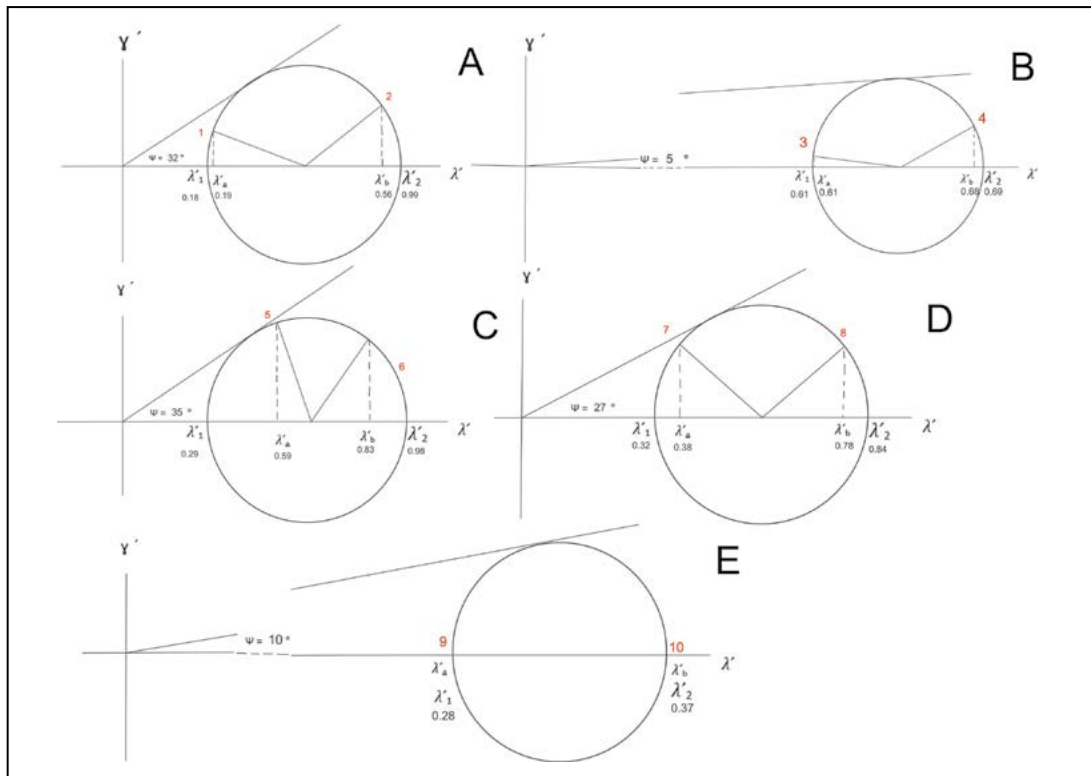
ایستگاه	شماره بودین اندازه‌گیری شده	طول کنونی (L_1) (بر حسب میلی‌متر)	طول اولیه (L_0) (بر حسب میلی‌متر)	راستای اندازه‌گیری بودین (بر حسب آزمون)	زاویه یا خطوارگی (θ)
A	1	342	151	115	10
	2	216	163	175	70
B	3	276	215	101	04
	4	383	317	180	75
C	5	117	84	140	35
	6	384	348	45	60
D	7	152	93	85	20
	8	330	293	175	70
E	9	284	150	105	0
	10	215	130	15	90

جدول ۲- نتایج محاسبه پارامترهای کرنش پایدار و وضعیت بیضی کرنش با استفاده از دایره مور ترسیم شده بر پایه بودین های نسل اول.

Station	e_a	e_b	$(1+e)_a$	$(1+e)_b$	λ_a	λ_b	λ'_a	λ'_b	λ'_1	λ'_2	λ_1	λ_2	R	ψ_{max}
A	1.27	0.33	2.27	1.33	5.15	1.77	0.19	0.56	0.18	0.99	5.56	1.01	2.35	32
B	0.28	0.21	1.28	1.21	1.64	1.46	0.61	0.68	0.61	0.69	1.64	1.45	1.06	05
C	0.39	0.10	1.39	1.10	1.93	1.21	0.52	0.83	0.29	0.98	3.45	1.02	1.84	35
D	0.63	0.13	1.63	1.13	2.66	1.28	0.38	0.78	0.32	0.84	3.13	1.19	1.62	27
E	0.89	0.65	1.89	1.65	3.57	2.72	0.28	0.37	0.28	0.37	3.57	2.70	1.15	10

بر روی دایره مور توجه شود ($\lambda'_2 > \lambda'_1$). بر اساس داده های اندازه گیری شده از پنج ایستگاه، پنج دایره مور به شرح شکل ۴ ترسیم شده اند. نسبت بیضی کرنش و کرنش برشی بیشینه به دست آمده بر پایه این دایره ها در جدول ۲ نشان داده شده اند. بیشترین و کمترین زاویه برش به ترتیب مربوط به ایستگاه C و B با مقادیر ۳۵ و ۵ درجه هستند. بیشترین نسبت بیضی کرنش مربوط به ایستگاه A با مقدار عددی ۲/۳۵ و کمترین نسبت بیضی کرنش مربوط به ایستگاه B با مقدار عددی ۱/۰۶ می باشد.

برای رسم دایره مور کرنش، به دو محور عمود برهم نیاز داریم، محور افقی موقعیت λ' و محور عمودی موقعیت ψ' را نشان می دهد. در ابتدا دایره ای را با شعاع اختیاری به گونه ای رسم می کنیم که مرکز آن بر روی محور افقی λ' واقع باشد. محل تقاطع دایره با خط λ' مکان λ'_1 و λ'_2 است. با استفاده از زوایای ψ'_a و ψ'_b محل λ'_a و λ'_b را بر روی محور افقی مشخص کرده و با مقیاس بندی، مبدا مختصات دایره مور و مقادیر λ'_1 و λ'_2 را تعیین می کنیم (Treagus, 1987; Ragan, 2009). هنگام رسم باید به محل قرار گرفتن λ'_1 و λ'_2

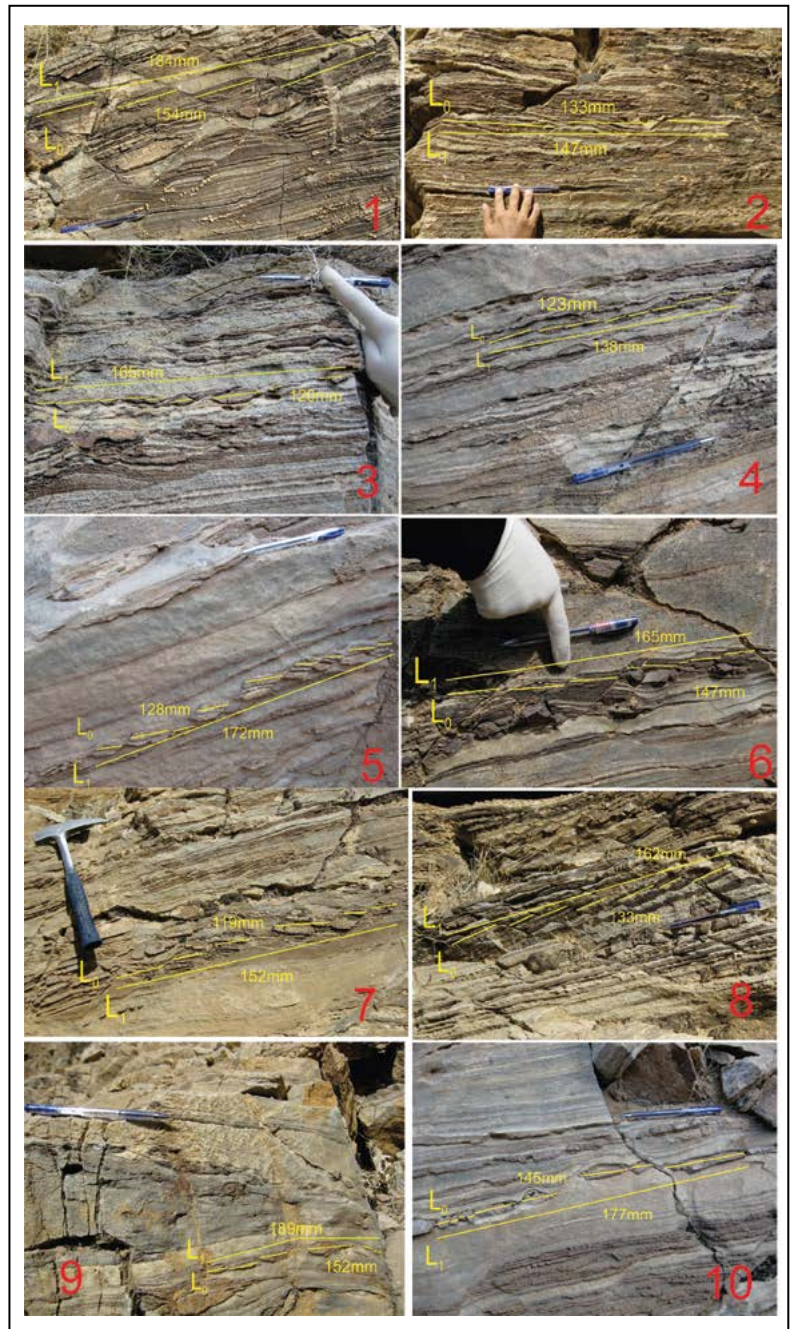


شکل ۴- دایره های مور ترسیم شده بر پایه پارامترهای کرنش اندازه گیری شده در ایستگاه های A-E. شماره بودین ها با اعداد قرمز نمایش داده شده اند.

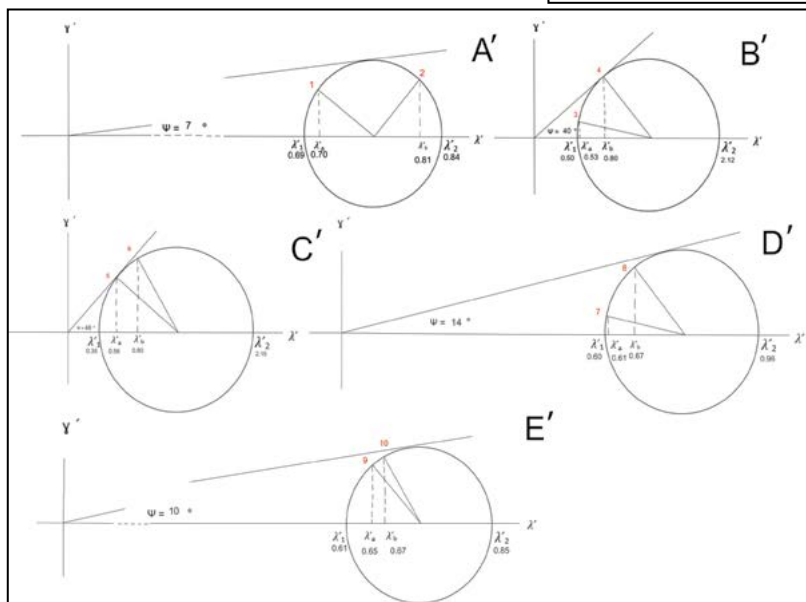
۴-۲. محاسبه کرنش و رسم دایره مور بر پایه بودین های دومینوی نسل دوم

همانند بودین های نسل اول، بودین های نسل دوم که در جریان رویداد کششی مرحله D4 ایجاد شده اند مورد بررسی و تحلیل کرنش قرار گرفتند. نسبت طول اولیه به طول کنونی این دسته از بودین ها در پنج ایستگاه مطابق شکل ۵ اندازه گیری شده اند. اندازه گیری ها در دو جهت متفاوت در مجاورت معدن سنگ مرمر متروکه انجام گرفته و نتایج حاصل از این اندازه گیری ها در جدول ۳ آورده شده است. خطوارگی موجود در این ناحیه از نوع خطوارگی کشیدگی کانی حاصل کشیدگی کانی های کلسیت و کوارتس است. این خطوارگی در چهارمین مرحله دگرزختی همزمان با رویداد دگرگونی پسروده ایجاد شده است. آزمایشات این خطوارگی ۳۰۵ و میل آن ۳۵ درجه است.

پس از آنکه دایره مور ترسیم شده بر پایه بودین های نسل دوم ترسیم شد، نسبت طول اولیه به طول کنونی این دسته از بودین ها در پنج ایستگاه مطابق شکل ۵ اندازه گیری شده اند. اندازه گیری ها در دو جهت متفاوت در مجاورت معدن سنگ مرمر متروکه انجام گرفته و نتایج حاصل از این اندازه گیری ها در جدول ۳ آورده شده است. خطوارگی موجود در این ناحیه از نوع خطوارگی کشیدگی کانی حاصل کشیدگی کانی های کلسیت و کوارتس است. این خطوارگی در چهارمین مرحله دگرزختی همزمان با رویداد دگرگونی پسروده ایجاد شده است. آزمایشات این خطوارگی ۳۰۵ و میل آن ۳۵ درجه است.



شکل ۵- مقادیر اندازه گیری شده طول کنونی به طول اولیه بودین های نسل دوم در ایستگاه های A'-E'. در هر ایستگاه دو اندازه گیری انجام شده است. اعداد انگلیسی شماره بودین ها مطابق جدول ۳ هستند.



شکل ۶- دایره های مور ترسیم شده بر پایه داده های اندازه گیری شده در ایستگاه های A'-E'. شماره بودین ها با اعداد قرمز رنگ نمایش داده شده اند.

جدول ۳- اطلاعات مربوط به اندازه گیری طول کنونی به طول اولیه بودین های دومینو و زاویه آنها با محور X راستای خطوارگی در ایستگاه های A' تا E'.

ایستگاه	شماره بودین اندازه گیری شده	طول کنونی (L_1) (بر حسب میلی متر)	طول اولیه (L) (بر حسب میلی متر)	راستای اندازه گیری بودین (بر حسب آزیموت)	زاویه با خطوارگی (θ)
A'	1	184	154	105	20
	2	147	133	60	65
B'	3	165	120	120	05
	4	138	123	100	25
C'	5	172	128	145	20
	6	165	147	95	30
D'	7	152	119	120	05
	8	162	133	150	25
E'	9	189	152	100	25
	10	177	145	155	30

جدول ۴- نتایج محاسبه پارامترهای کرنش پایدار و وضعیت بیضی کرنش با استفاده از دایره مور، ترسیم شده بر پایه کشیدگی بودین های نسل دوم.

station	e_a	e_b	$(1+e)_a$	$(1+e)_b$	λ_a	λ_b	λ'_a	λ'_b	λ'_1	λ'_2	λ_1	λ_2	R	Ψ_{max}
A'	0.19	0.11	1.19	1.11	1.42	1.23	0.70	0.81	0.69	0.84	1.45	1.19	1.10	7
B'	0.38	0.12	1.38	1.12	1.90	1.25	0.53	0.80	0.50	2.12	2.00	0.47	2.06	40
C'	0.34	0.12	1.34	1.12	1.80	1.25	0.56	0.80	0.35	2.15	2.86	0.47	2.48	48
D'	0.28	0.22	1.28	1.22	1.64	1.49	0.61	0.67	0.60	0.96	1.67	1.04	1.26	14
E'	0.23	0.22	1.23	1.22	1.51	1.49	0.65	0.67	0.61	0.85	1.64	1.18	1.18	10

جدول ۵- محاسبه جهت بیشینه برش زاویه ای با راستای بیشینه کشیدگی (θ) برای ایستگاه های مختلف اندازه گیری.

ایستگاه	زاویه برش بیشینه Ψ_{max}	$\cos \Psi_{\theta}$	θ'	R
A	32	0.69	23	2.35
B	5	0.06	43	1.06
C	35	0.57	22.5	1.84
D	27	0.44	32	1.62
E	10	0.13	41	1.15
A'	7	0.09	42	1.10
B'	40	0.61	26	2.06
C'	48	0.72	22	2.48
D'	14	0.23	38.5	1.26
E'	10	0.16	40.5	1.18

۵- تحلیل کرنش دوبعدی و بر آورد تغییر مساحت

کوچک تر از یک هستند، در نتیجه بیضی کرنش به طور کامل درون دایره مرجع قرار گرفته و تغییرات مساحت منفی خواهد بود. انتقال پارامترهای طولی کرنش به دست آمده بر روی نمودار Ramsay and Huber (1983) نشان دهنده تفاوت در شکل بیضی کرنش طی دو مرحله از دگرریختی است. داده های مربوط به دگرریختی D1 همگی در محدوده میدان کرنش شماره یک قرار می گیرند، حال آن که پارامترهای طولی کرنش به دست آمده برای مرحله دگرریختی D4 به طور مشترک در میدان شماره یک و دو واقع می شوند (شکل ۷). بر پایه این نمودار کشیدگی در جریان دگرریختی D1 در دو جهت روی داده اما کشیدگی در مرحله D4 می تواند در دو جهت و با یک جهت روی داده باشد. تغییرات مساحت روی داده در مرحله دگرشکلی D1 بین ۰/۵ تا ۲ است. این در شرایطی است که تغییرات مساحت روی داده در جریان دگرریختی D4، ۰/۱- تا ۰/۵ می باشد.

مقادیر برش زاویه ای در طی مرحله دگرریختی D1 در ایستگاه های مختلف

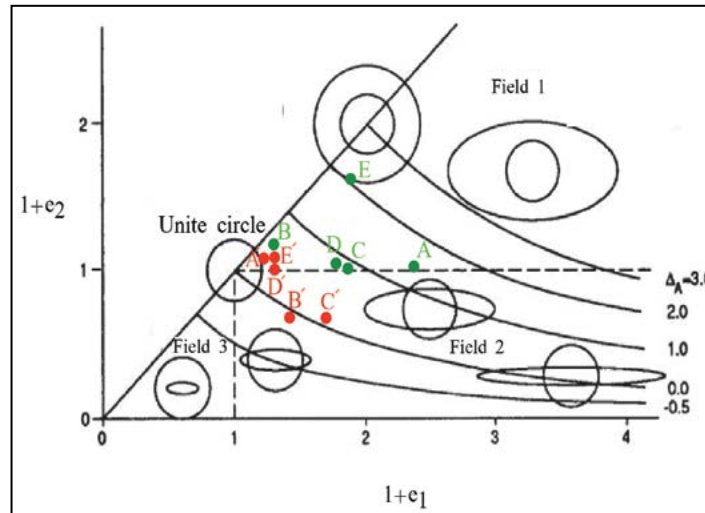
داده های به دست آمده از بررسی مقدار کشیدگی بودین های نسل اول و دوم (جدول های ۲ و ۴) که در جریان دو مرحله دگرریختی D1 و D4 شکل گرفته اند، برای بررسی کرنش دو بعدی، با استفاده از نمودار Ramsay and Huber (1983) تحلیل شده اند (شکل ۷). در این نمودار با ترسیم مقادیر $(1+e_1)$ بر روی محور xها و مقادیر $(1+e_2)$ بر روی محور yها می توان اشکال گوناگون بیضی کرنش را دسته بندی کرده و بر آوردی از تغییرات مساحت به دست آورد. این نمودار در مرکز دایره فرضی اولیه، معرف شرایط پیش از شروع دگرریختی، به سه محدوده تقسیم می شود. میدان یک شامل بیضی هایی است که در آن مقادیر $(1+e_1)$ و $(1+e_2)$ هر دو بزرگتر از یک هستند و بیضی کرنش خارج از دایره مرجع قرار می گیرد. در این شرایط تغییر مساحت مثبت در سنگ ها روی می دهد. در محدوده میدان ۲ مقدار $(1+e_1)$ بزرگتر از یک و مقدار $(1+e_2)$ کوچکتر از یک است. در این شرایط تغییر مساحت مثبت و منفی توأم با هم روی می دهد. در میدان ۳ مقادیر $(1+e_1)$ و $(1+e_2)$

بر این اساس زاویه بیشینه برش زاویه‌ای با راستای بیشینه کشیدگی برای ایستگاه‌های مختلف به شرح جدول ۵ محاسبه شده است. از مقادیر به دست آمده برای ترسیم نمودار تغییرات راستای بیشینه کشیدگی در مقابل نسبت بیضی کرنش برای مراحل دگرریختی D1 و D4 استفاده شده است (شکل ۸ و جدول ۵). با استفاده از این نمودار و با محاسبه نسبت بیضی کرنش در هر نقطه می‌توان برآوردی از جهت بیشینه برش زاویه‌ای با راستای بیشینه کشیدگی به دست آورد.

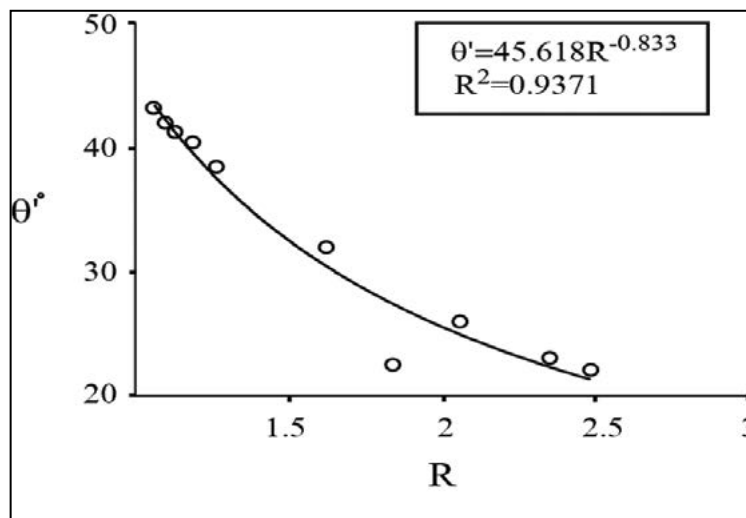
اندازه‌گیری بین ۵ تا ۳۵ درجه متغیر است (شکل ۴ و جدول ۲). این زاویه‌ها برای مرحله دگرریختی D4، ۷ تا ۴۸ درجه است (شکل ۶ و جدول ۴).

با استفاده از مقادیر λ'_1 و λ'_2 به دست آمده توسط دایره‌های مور و با استفاده از فرمول زیر می‌توان زاویه بیشینه برش (θ') زاویه‌ای را نسبت به جهت بیشینه کشیدگی (λ'_1) به دست آورد.

$$\cos 2\theta' \psi_{\max} \theta' = \lambda'_2 - \lambda'_1 / \lambda'_2 + \lambda'_1$$



شکل ۷- طبقه‌بندی شکل بیضی کرنش دو بعدی برای بودین‌های دوکی (نقاط سبز) و بودین‌های دومینو (نقاط قرمز) با استفاده از نمودار Ramsey and Hubber (1989).



شکل ۸- رابطه جهت بیشینه برش زاویه‌ای با راستای بیشینه کشیدگی در مقابل نسبت بیضی کرنش طی مرحله‌های دگرریختی D1 و D4. معادله نمودار و ضریب همبستگی نیز محاسبه شده‌اند.

۶- نتیجه‌گیری

به کشتی طی رویداد D4 و پدیدارشدگی سنگ‌های دگرگون شمال گلپایگان باشد (Moritz et al., 2006; Verdel et al., 2011; Moosavi et al., 2014;). انطباق پارامترهای کشیدگی بر روی نمودار Ramsey and Hubber (1984) (شکل ۷) نشان می‌دهد که دگرریختی در مرحله D1 تنها با افزایش مساحت همراه بوده ولی در مرحله D4 تغییر مساحت مثبت و منفی روی داده است. میانگین زاویه برش بیشینه طی دگرریختی مرحله اول حدود ۲۲ درجه و در دگرریختی مرحله دوم حدود ۲۴ درجه است.

در این پژوهش با محاسبه مقدار کشیدگی در بودین‌هایی که طی دو مرحله دگرریختی جداگانه در مرمرها شکل گرفته‌اند، دایره‌های مور کرنش در ایستگاه‌های مختلف ترسیم شده‌اند. نسبت بیضی کرنش طی مرحله دگرریختی D1، ۱/۰۶ تا ۲/۳۵ است. این نسبت در مرحله دگرریختی D4، ۱/۱۰ تا ۲/۴۸ می‌باشد. با توجه به نمودار شکل ۷ کشیدگی در جریان رویداد D1 در دو جهت روی داده ولی در جریان دگرریختی D4 کشیدگی در دو جهت و یا یک جهت روی داده است. تفاوت در شکل بیضی کرنش طی دو مرحله دگرریختی می‌تواند مربوط به تغییر شرایط فشارشی

کتابنگاری

شیخ‌الاسلامی، م. ر. و زمانی‌پدرام، م.، ۱۳۸۴ - نقشه زمین‌شناسی یکصد هزارم محلات، سازمان زمین‌شناسی کشور.

References

- Ferguson, C. C., 1981- A strain reversal method for estimating extension from fragmented rigid inclusions. *Tectonophysics* 79, T43-T52. doi.org/10.10166-90108(81)1951-0040/.
- Fry, N., 1979-Random point distributions and strain measurement in rocks. *Tectonophysics* 60, 89-105. doi.org/10.10165-90135(79)1951-0040/.
- Mandal, N., Dhar, R., Misra, S. and Chakraborty, C., 2007- Use of boudinaged rigid objects as a strain gauge: Insights from analogue and numerical models. *Journal of Structural Geology* 29, 759773-. doi.org/10.1016/j.jsg.2007.02.007.
- Moosavi, E., Mohajjel, M. and Rashidnejad-Omran, N., 2014- Systematic changes in orientation of linear mylonitic fabrics: An example of strain partitioning during transpressional deformation in north Golpaygan, Sanandaj-Sirjan zone, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 94, 5567-. doi.org/10.1016/j.jseaes.2014.07.003.
- Moritz, R., Ghazban, F. and Brad, S., 2006- Eocene Gold Ore Formation at Muteh, Sanandaj-Sirjan Tectonic Zone, Western Iran: A Result of Late-Stage Extension and Exhumation of Metamorphic Basement Rocks within the Zagros Orogen. *Econ. Geol.* 101, 1497-1524. doi.org/10.2113/gsecongeo.101.8.1497.
- Rachidnejad-Omran N., Emami, M. H., Sabzehei, M., Rastad, E., Bellon, H. and Pique, A., 2002- Lithostratigraphie et histoire paléozoïque à paléocène des complexes métamorphiques de la région de Muteh, zone de Sanandaj-Sirjan (Iran méridional). *Comptes Rendus Geosciences*, 334, 11851191-. doi.org /10.1016/S16318-01861(02) 0713-.
- Ragan, D. M., 2009- *An Introduction to Geometrical Techniques* (Fourth edition), Cambridge University Press. 614. ISBN-10: 0521745837.
- Ramsay, J. G., 1967- *Folding and Fracturing of Rocks*. McGraw-Hill, New York, 568. ISBN-10: 193066589X.
- Ramsey, J. G. and Huber, M. H., 1983- *Modern structural geology, Volume 1: strain analysis*. Academic Press, 307. ISBN-10: 0125769016.
- Sheikholeslami, M. R., Ghassemi, M. R. and Hassamzadeh, J., 2019- Tectonic evolution of the hinterland of the Zagros Orogen revealed from the deformation of the Golpaygan Metamorphic Complex, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 182, 103929. doi.org/10.1016/j.jseaes.2019.103929.
- Talbot, C. and Sokoutis, D., 1995- Strain ellipsoids from incompetent dykes: application to volume loss during mylonitization in the Singo gneiss zone, central Sweden. *Journal of Structural Geology*, 17, 927948-. doi.org/10.101600113-(94)8141-0191/E.
- Treagus, S. H., 1987- Mohr circles for strain, simplified. *Geological Journal*, 22, 119 -132. doi.org/10.1002/gj.3350220205.
- Verdel, C., Wernicke, B. P., Hassanzadeh, J. and Guest, B., 2011- A Paleogene extensional arc flare-up in Iran. *Tectonics* 30, TC3008. doi.org/10.10292010/TC002809.

Strain analysis of the marbles from north Golpaygan metamorphic complex Using Mohr circle

M. R. Sheikholeslami^{1*}, Sh. Elyasi² and M. R. Ghassemi³

¹Associate Professor, Research Institute for Earth Sciences, Geological survey of Iran, Tehran, Iran

²M.Sc., Research Institute for Earth Sciences, Geological survey of Iran, Tehran, Iran

³Professor, Research Institute for Earth Sciences, Geological survey of Iran, Tehran, Iran

Received: 2019 October 07

Accepted: 2020 May 16

Abstract

The main purpose of this work is to show the use of boudins and application of Mohr circle in estimating quantitative strains during deformation. Due to the formation of the boudins during two stages of the progressive deformation (D1 and D4) in cherty marbles, from north Golpaygan metamorphic complex, they have been analyzed for strain in two-dimension. Strain analysis is based on estimating of the initial length of the boudins before deformation, and measuring the current length of the boudins, after deformation. Calculation of the longitudinal parameters of the strain and drawing Mohr circles show that the strain ratio varies between 1.06 to 2.35 for D1 stage, and between 1.10 to 2.84 for D4 stage. The mean shear angle for the D1 stage is 22 ° and for the D4 stage is 24 °.

Keywords: Strain, boudin, Golpaygan, Mohr circle.

For Persian Version see pages 31 to 38

*Corresponding author: M. R. Sheikholeslami; E-mail: rezasheikholeslami@yahoo.com