

# تأثیر پهنه گسلی عرضی، برشی سبزپوشان بر تاقدیس چغال و گسترش مناطق فشارشی در ناحیه همپوشانی آنها، بخش زاگرس چین - رانده

اسلام توکلیان<sup>۱</sup> و علی یساقی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه زمین شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۲/۲۰

## چکیده

کمر بند چین خورده - رانده زاگرس توسط مجموعه‌ای از گسل‌های عرضی با آرایش پلکانی قطع شده است. این آرایش پلکانی گسل‌های عرضی موجب گسترش مناطق همپوشانی میان آنها - جایی که بسته به هندسه این آرایش و سازوکار گسل‌ها، مناطق فشارشی و کششی گسترش می‌یابند - شده است. یکی از این پهنه‌های گسلی عرضی در زاگرس، پهنه گسل سبزپوشان با روند شمال باختر و سازوکار راستالغز راست بر است. پهنه گسل سبزپوشان از آنجا که دارای مجموعه‌ای از قطعات گسلی با هندسه پلکانی ساعت گرد است، سبب ایجاد مناطق فشارشی میان این قطعات گسلی شده است. نمونه‌ای از این مناطق، تاقدیس چغال در منطقه قیر و کارزین ناحیه فارس زاگرس چین خورده است. برداشت‌های دقیق صحرایی به همراه تفسیر تصاویر ماهواره‌ای سبب شناسایی پهنه گسلی پلکانی راست گرد با سازوکار امتدادلغز راست گرد در بخش باختری تاقدیس چغال شده است. این پهنه گسل پلکانی شامل گسل‌های شمال قیر و هرم هستند. در منطقه همپوشانی میان این گسل‌ها، ساختارهایی از جمله گسل‌های راستالغز با مؤلفه وارون، رانده‌های چین‌های جوان و ریزدو پلکس‌های گسلی برداشت شده است که هندسه ساختاری همانند ساختارهای مرتبط به مناطق فشارشی میان گسل‌های راستالغز پلکانی مدل‌های آزمایشگاهی دارند. همانند چنین مناطق فشارشی که در تاقدیس‌های سفیدار و قل قل به ترتیب در شمال و جنوب تاقدیس چغال نیز تحلیل شده، به مناطق همپوشانی میان مجموعه‌ای از گسل‌های راستالغز راست گرد با آرایش پلکانی ساعت گرد در راستای پهنه سبزپوشان نسبت داده شده است. این گسل‌های پلکانی در سطح به عنوان اثر فعالیت گسل سبزپوشان در پی سنگ روی پوشش رسوبی دارای قاعده جدایشی تحلیل شده است.

**کلیدواژه‌ها:** زاگرس چین - رانده، پهنه گسلی عرضی - برشی سبزپوشان، منطقه فشارشی چغال، گسل‌های پی‌سنگی، آرایه پلکانی گسل‌های راستالغز.

E-mail: yassaghi@modares.ac.ir

\* نویسنده مسئول: علی یساقی

## ۱- پیش‌نوشتار

طول این گسل‌های پلکانی با توجه به جهت شیب به سوی یکدیگر آنها در منطقه تحت فشار بالا آمدگی (Pop up) ایجاد می‌شود که با عنوان گلوواره مثبت (Positive Flower Structure) نامیده می‌شوند (Harding, 1976; Dooley & McClay, 1997; Richard & Cobbold, 1990; Cunningham et al., 2003).

پژوهش حاضر به بررسی و تحلیل نمونه‌ای طبیعی از مناطق فشارشی در پهنه‌های گسلی پلکانی راست گرد ساعت گرد پرداخته که در ناحیه چغال و در راستای پهنه گسلی عرضی سبزپوشان در زاگرس چین خورده - رانده قرار گرفته است. این تحلیل مبتنی بر داده‌های صحرایی برای بررسی هندسه ساختاری گسل‌های منطقه فشارشی چغال است. خاستگاه زیرسطحی این گسل‌ها متأثر از حرکت در پهنه عرضی برشی و پی‌سنگی گسل سبزپوشان با استفاده از داده‌های ژئومغناطیسی نیز تحلیل شده است.

## ۲- جایگاه زمین‌شناسی

منطقه فشارشی چغال در بخش شمال باختری تاقدیس چغال در ناحیه فارس قرار دارد (شکل ۱). ناحیه فارس بخشی از کمر بند چین خورده - رانده زاگرس است که از شمال بندرعباس تا گسل کازرون در باختر و از گسل زاگرس مرتفع در شمال تا خط ساحلی فارس در جنوب ادامه دارد (شکل ۱). در ناحیه فارس نمک هرمز با ستبرای حدود ۱/۵ کیلومتر کنترل کننده هندسه و سبک چین خوردگی در پوشش رسوبی است. افزون بر نمک هرمز، گسل‌های عرضی پی‌سنگی، توپوگرافی پی‌سنگ و سطوح جدایشی میانی (همچون شیل‌های گرو) از دیگر عوامل مهم و تأثیرگذار روی هندسه و سبک ساختاری این بخش از زاگرس هستند (Bahroudi & Koyi, 2003; Sephehr & Cosgrove, 2004; Sherhati & Letouze, 2004).

هندسه ساختاری اثر حرکت گسل پی‌سنگی بر پوشش رسوبی به‌ویژه در مناطقی که این پوشش رسوبی دارای قاعده شکل‌پذیر است به‌طور چیره به‌صورت پلکانی بوده و روندی با زاویه نسبت به روند گسل پی‌سنگی اصلی دارند (Sylvester, 1988; Naylor et al., 1986). آزمایش‌های تجربی صورت گرفته روی پهنه‌های گسلی عرضی پنهان نشان از گسترش و گوناگونی ساختاری اثر حرکت آنها در پوشش رسوبی پوشاننده دارد (Naylor et al., 1986; Sylvester, 1988; Wilcox et al., 1973; Woodcock & Schubert, 1994). بنابراین شناسایی پهنه‌های گسلی عرضی پنهان می‌تواند از راه مطالعات دقیق ساختاری روی پوشش رسوبی پوشاننده این پهنه‌ها و برای تحلیل ساختارهای گسترش یافته در اثر عملکرد آنها صورت گیرد (Richard, 1991; Richard et al., 1991; Paylor & Yin, 1993; Peters et al., 1994; Cunningham et al., 1996). بر پایه مدل‌های آزمایشگاهی (برای نمونه Naylor et al., 1986) حرکت پهنه‌های گسلی پنهان موجب رشد گسل‌های پلکانی در پوشش رسوبی می‌شود به‌گونه‌ای که این گسل‌ها در مناطق انتهایی خود همپوشانی دارند. مناطق همپوشانی میان این گسل‌های پلکانی بسته به سازوکار آنها و هندسه ساعت گرد و یا پادساعت گرد آنها می‌تواند به‌صورت مناطق تحت فشار (Restraining Zone) (Richard, 1991; Richard et al., 1991) و یا مناطق تحت کشش (Relasing Zone) (Lallemand et al., 1992; Calassou et al., 1993; Dooley & McClay, 1997; Withjack & Jamison, 1986; Serra & Nelson, 1989; McClay, 1990; Withjack et al., 1990; Tron & Brun, 1991; McClay, 1995) گسترش یابند. بر همین اساس چنانچه این گسل‌های پلکانی راستالغز راست گرد و دارای هندسه ساعت گرد باشند مانند آنچه که در بخش باختری تاقدیس چغال در این مطالعه شناسایی و تحلیل شده است، منطقه همپوشانی میان آنها از نوع مناطق تحت فشار است. در اثر جابه‌جایی در

شیب به نسبت زیاد تا قائم پهلوی جنوبی تاقدیس است. این به هم ریختگی ها و قائم بودن لایه ها نشانگر وجود راندگی پنهان باروس به موازات پهلوی جنوبی تاقدیس است.

برش های ساختاری B-B' و C-C' بر بخش باختری رسم شده است (شکل ۳). از ویژگی های آشکار این برش های ساختاری تقریباً شیب برابر پهلوی های تاقدیس چغال، گسترش گسل خوردگی های فراوان مرتبط با سامانه گسل های عرضی هرم و شمال قیر و حالت به نسبت متقارن پهلوهاست.

### ۳-۱. ریز چین های جوان

ریز چین های با روند متفاوت نسبت به روند تاقدیس چغال در بخش باختری و جنوب تاقدیس چغال دیده می شوند که در اینجا به عنوان ریز چین های جوان نامیده شده اند (شکل ۴). این چین ها شامل تاقدیس A1 و ناودیس S1 در محل خمش تاقدیس چغال، تاقدیس های A2، A3 و A4 و ناودیس های S2، S3 و S4 در محل ناودیس چغال و تاقدیس های A5، A6 و A7 و ناودیس های S5، S6 و S7 در جنوب بخش خاوری تاقدیس چغال هستند (شکل ۴).

### ۳-۲. گسل ها

– **گسل های اصلی راستالغز:** گسل های اصلی راستالغز شامل دو گسل شمال قیر در شمال باختر تاقدیس چغال و گسل هرم در جنوب تاقدیس است. این دو گسل به صورت پلکانی و دارای همپوشانی هستند (شکل های ۱ و ۴).

گسل شمال قیر به طول ۳۳ کیلومتر و با روند شمال-شمال باختر از پهلوی جنوبی تاقدیس سیم شروع می شود و تا ۵ کیلومتری شمال باختر شهر قیر ادامه دارد (شکل ۱). گسل شمال قیر بر پایه شواهد صحرایی مانند دوپلکس های گسلی (شکل ۵)، چین های جوان (شکل ۴) و شواهد ریخت زمین شناسی (با استفاده از عکس های هوایی و تصاویر ماهواره ای) مانند چرخش ساعت گرد بخش باختری تاقدیس چغال شناسایی شده است (شکل ۱). روند خطی و آشکار این خطواره گسلی را می توان در بریدگی و جابه جایی پهلوی جنوبی تاقدیس سیم روی تصاویر ماهواره ای و عکس های هوایی دید (شکل ۱-ب). این گسل در شمال باختر تاقدیس چغال قرار گرفته است و مرز باختری پهنه سبزیپوشان را در منطقه قیر تشکیل می دهد (شکل ۱).

گسل هرم با طول ۳۴ کیلومتر و روند شمال باختر، تاقدیس چغال را می برد و وارد دشت قیر می شود (شکل ۱). گسل هرم سبب جدایش حدود ۲ کیلومتر پهلوی جنوبی تاقدیس چغال شده است (شکل ۲). روند این گسل منطبق بر یکی از گسل های پی سنگی شناسایی شده از راه داده های ژئومغناطیسی (طباطبایی، ۱۳۸۵) است (شکل ۶). پهنه برشی گسل هرم رخنمون ندارد و تنها از روی شواهد ریخت شناختی چون خمش اثر سطح محوری تاقدیس الهار در جنوب تاقدیس چغال (شکل ۱)، جابه جایی لایه های آسماری در محل خمش محور تاقدیس چغال (شکل ۲)، آرایش چین های جوان (شکل ۴) و وجود عدسی های گسلی راستالغز (شکل ۶) در مسیر آن تحلیل شده است. این گسل پس از بریدن پهلوی جنوبی تاقدیس چغال به دشت قیر وارد و پس از عبور از تاقدیس الهار به سوی جنوب خاور کشیده شده است (شکل ۱).

– **گسل های فرعی راستالغز:** گسل های فرعی راستالغز که بیشتر در بخش باختری تاقدیس چغال برداشت شده اند، شامل سه گروه گسل های فرعی راستالغز با روند شمال خاور- جنوب باختر، گسل های فرعی راستالغز با روند شمال باختر- جنوب خاور و گسل های پایانه ای هستند (شکل ۴). گسل های فرعی راستالغز با روند شمال خاور- جنوب باختر شامل گسل های LF1 تا LF8 هستند که طول متغیر از ۲ تا ۱۲ کیلومتر دارند و میانگین موقعیت آنها ۷۵/۳۲۹ است (شکل های ۲ و ۴). این گسل ها بیشتر در بخش باختر تاقدیس چغال گسترش یافته و پهلوی شمالی تاقدیس را قطع کرده اند (شکل ۴). این گسل ها با توجه به جابه جایی لایه ها به صورت چپ بر و

در کمربند چین خورده- رانده زاگرس، دگر ریختی در هندسه برخی چین ها را ناشی از اثر عملکرد گسل های پی سنگی می دانند که به طور عرضی ساختارهای کمربند را قطع می کنند (Furst, 1990; Hessami et al., 2001; Yassaghi., 2006) (شکل ۱).

این گسل های پی سنگی (شکل ۱- الف) از دید شکل، دارای روندهای چیره شمال باختر و شمال خاوری هستند. یکی از این گسل های پی سنگی، پهنه گسلی سبزیپوشان است. پهنه گسلی سبزیپوشان با پهنای حدود ۱۲ کیلومتر و درازای حدود ۲۰۰ کیلومتر با راستای شمال باختر- جنوب خاوری از شمال باختر شیراز تا جنوب خاور قیر با امتداد تقریبی آزیموت ۱۴۵ کشیده شده و ساختارهای ناحیه فارس زاگرس را دگر ریخته کرده است (برای نمونه صفری، ۱۳۷۹). این دگر ریختی ها بیشتر به صورت گسترش گسل های عرضی پلکانی و خمیدگی در اثر محوری چین هاست (شکل های ۱- ب و ۲). پهنه گسلی سبزیپوشان همچنین سبب خمش راست بر محور تاقدیس های بزرگی چون سبزیپوشان، چغال (شکل ۲)، نورا، الهار و آغار شده است (Yassaghi, 2006). گسل های پی سنگی عرضی با حرکت برشی راست گرد و آزیموت ۱۵۰° تا ۱۶۰° از پاره گسل هایی با همپوشانی ساعت گرد تشکیل داده اند (شکل ۱- ب). این آرایش گسل ها، موجب شده تا افزون بر خمش در اثر محوری چین ها، در ناحیه همپوشانی میان آنها مناطق فشارشی نیز گسترش یابد. ساختارهای متداول در محل همپوشانی این پاره گسل ها شامل چین های جوان و دوپلکس های گسلی فشاری مرتبط با مناطق ترفشارش است.

منطقه تاقدیس چغال یکی از مناطق به شدت دگر ریخته در راستای پهنه گسلی سبزیپوشان است که در محدوده شهرستان قیر و کارزین از توابع استان فارس و میان عرض جغرافیایی ۲۸° تا ۲۸° ۲۰' و طول جغرافیایی ۵۳° تا ۵۳° ۲۰' قرار دارد (شکل ۲) سازندهای گروه بنگستان، پابده و گورپی، آسماری و جهرم، رازک، میشان و آغاجاری واحدهای سنگی منطقه را تشکیل می دهند. ساختارهای برداشت شده بر پایه شناسایی میدانی در این ناحیه، بیشتر گسل های راندگی راستالغز، ریز چین ها و ریز دوپلکس ها هستند (شکل ۲).

### ۳-۲ هندسه ساختاری تاقدیس چغال

ساختارهای شناسایی شده در محدوده مطالعه شامل تاقدیس بزرگ چغال، چین های جوان، گسل ها و عدسی های گسلی هستند (شکل های ۲ و ۳). تاقدیس چغال با درازای حدود ۳۰ کیلومتر توسط پهنه گسلی سبزیپوشان قطع شده و به دو بخش باختری و خاوری با مشخصات متفاوت تقسیم شده است (شکل های ۱- ب و ۲). محور تاقدیس چغال دو سویه است و حالت سینوسی شکل دارد؛ به گونه ای که موقعیت آن در بخش خاوری نسبت به بخش باختری متفاوت است. محور تاقدیس در خاور موقعیت ۰۵/۱۱۰ دارد؛ در صورتی که در بخش باختری روند کلی ۰۶/۳۰۵ است که نشان می دهد بخش باختری نسبت به بخش خاوری ۱۵° در سوی حرکت عقربه های ساعت تغییر کرده است (شکل ۲). در بخش باختری تاقدیس که سازندهای گروه بنگستان در هسته چین رخنمون دارند، سه تغییر روند در روند اثر محوری تاقدیس دیده می شود؛ به گونه ای که حالت خمش Z شکل دارد. شیب پهلوی جنوبی تاقدیس در بخش خاوری زیاد و حتی در برخی مناطق این پهلوی دچار برگشتگی شده است (شکل ۲).

جزئیات بیشتری از هندسه ساختاری تاقدیس چغال در طی سه پیمایش ساختاری (AA'، BB' و CC') روی این تاقدیس برداشت و در همین راستا نیز سه برش ساختاری رسم شده است (شکل ۳).

برش ساختاری A-A' بر خاور تاقدیس چغال رسم شده است (شکل ۳). برابر برش سازندهای آسماری- جهرم، بخش چمپه و مول از سازند گچساران و بخش گوری از سازند میشان در مسیر این برش رخنمون دارند. از ویژگی های این برش ساختاری

#### ۴- بحث

##### ۴-۱. تحلیل ساختاری ناقدیس چغال

دگرریخت‌های دیده شده بر ساختارهای کمر بند چین‌خورده- رانده زاگرس در قالب خمیدگی محور چین‌ها و گسترش گسل‌های عرضی برشی از گذشته مورد توجه قرار داشته است (برای نمونه صفری، ۱۳۷۹؛ Furst, 1990؛ Falcon, 1969؛ Hessami et al., 2006؛ Yasaghi., 2006). این دگرریختی‌ها بیشتر به اثر گسل‌های عرضی قطع‌کننده کمر بند چین‌خورده همانند گسل سبزپوشان نسبت داده شده‌اند. این گسل‌های عرضی با جابه‌جایی گسل‌های رانندگی اصلی، کنترل‌کننده بزرگی زمین‌لرزه‌ها هستند، به گونه‌ای که بزرگی زمین‌لرزه‌های رخ داده در زاگرس با میزان جابه‌جایی این گسل‌های عرضی مرتبط است (Berberian, 1995).

بررسی هندسه ساختاری ناقدیس چغال نشان می‌دهد که این ناقدیس به صورت دو بخش باختری و خاوری قابل تفکیک است؛ بخش باختری ناقدیس چغال با توجه به هندسه پلکانی ساعت‌گرد گسل‌های شمال‌قیر و هرم (شکل‌های ۳ و ۴) و سازوکار راستالغز راست‌گرد آنها، یک منطقه تحت فشار میان این گسل‌هاست. هندسه گسل شمال‌قیر با موقعیت ۷۵/۰۶۸ و گسل هرم با موقعیت ۷۰/۲۵۰ به ترتیب با هندسه گسل‌های A و B در مدل نمادین ارائه شده توسط Naylor et al. (1986) (شکل ۱۲-الف) هماهنگی دارد. با توجه به سازوکار این گسل‌ها منطقه همپوشانی میان آنها یک منطقه تحت فشارش بوده که موجب بالآمدگی بخش میان آنها شده است (شکل ۱۲-ب). این بالآمدگی در بخش باختری ناقدیس چغال با رخنمون به سطح سازندهای کهن تر در هسته آن نسبت به بخش خاوری آن تحلیل شده است (شکل ۲). چنین بالآمدگی‌هایی در مناطق فشارشی گسل‌های امتدادلغز متداول است (Naylor et al., 1986; Harding, 1976; Harding & Lowelle, 1979; Lowelle, 1985). این هندسه با عنوان ساختار بالاجسته (Pop up Structure) همراه با گسل‌های وارون و یا امتدادلغز شناخته می‌شود.

بر پایه برداشت‌های میدانی و تصویر سه‌بعدی تهیه شده (DEM) بالاجسته باختری ناقدیس چغال تحلیل شده است؛ در این تحلیل از سطح بالایی آهک‌های مقاوم گروه بنگستان استفاده شده است. این آهک‌ها در بخش باختری ناقدیس چغال به سطح رسیده‌اند ولی در بخش خاوری که ناقدیس دچار فرسایش شده است، سازندهای آسماری- جهرم در سطح رخنمون دارند. بنابراین با کم کردن ستبرای سازندهای پابده- گورپی و بخشی از آسماری جهرم، ارتفاع گروه بنگستان از سطح دریا در بخش خاوری به دست آمده است.

همان‌گونه که در مقطع عرضی A-A' (شکل ۳) که بر بخش خاوری ناقدیس رسم شده است دیده می‌شود، گروه بنگستان در ارتفاع ۶۵۰ متری از سطح دریا قرار دارد؛ در صورتی که در مقاطع عرضی B-B' و C-C' (شکل ۳) که بر بخش باختری ناقدیس رسم شده است این گروه در ارتفاع ۱۱۰۰ متری از سطح دریا قرار دارد و بنابراین نشان‌دهنده دست کم ۴۵۰ متر بالآمدگی در گروه بنگستان به دلیل قرارگیری در منطقه تحت فشار میان گسل‌های عرضی شمال‌قیر و هرم است که در باختر ناقدیس چغال جای دارد.

##### ۴-۲. همانندی ساختارهای بخش باختری ناقدیس چغال با مدل‌های

##### آزمایشگاهی

هندسه ساختارهای شناسایی شده در بالا جسته ناقدیس چغال در باختر این ناقدیس با مدل‌های آزمایشگاهی ارائه شده توسط McClay & Bonora (2001) همخوانی دارد. در این مدل‌ها هندسه‌های مناطق بالاجسته میان گسل‌های پلکانی راستالغز، با توجه به زاویه راستای متصل‌کننده انتهای این گسل‌های پلکانی با امتداد آنها، در سه گروه اصلی به ترتیب زوایای ۳۰°، ۹۰° و ۱۵۰° و در سه نوبت همزمان با رسوب‌گذاری و سه نوبت بدون رسوب‌گذاری تقسیم‌بندی شده است (شکل ۱۲). چنین زوایایی بازتابی از منطقه همپوشانی این گسل‌های پلکانی راستالغز هستند و

همچنین جابه‌جایی فرادیواره به سوی بالا (شکل ۷) نشان از سازوکار راستالغز چپ‌بر با مؤلفه شیب‌لغز وارون دارند.

دسته دوم گسل‌های فرعی راستالغز روند شمال‌شمال‌باختر- جنوب‌جنوب‌خاور دارند؛ این گروه شامل گسل‌های RF1 و RF2 هستند که در بخش باختری ناقدیس چغال گسترش یافته‌اند (شکل ۳). طول این گسل‌ها حدود ۴ کیلومتر و روند کلی آنها آزیومت ۱۷۰° است. در پهنه این گسل‌ها از نشانگرهای جنبشی همچون صفحه‌های C و S، جابه‌جایی لایه‌ها و قرار گرفتن سازندهای مختلف در کنار یکدیگر استفاده شده است (شکل ۸)؛ که برخی از این نشانگرها سازوکار وارون با مؤلفه کوچک‌تر راستالغز راست‌گرد را برای این گسل‌ها نشان می‌دهند. شیب این گسل‌ها حدود میانگین ۸۰° است.

گسل‌های پایانه‌ای گروه سوم از گسل‌های فرعی هستند که در پایانه گسل‌های اصلی و فرعی با سازوکار چیره راستالغز قرار گرفته‌اند و بیشتر در بخش باختری ناقدیس چغال گسترش یافته‌اند (شکل ۳). از این سری گسل‌ها می‌توان TF1 تا TF6 را نام برد. طول این گسل‌ها تقریباً از ۴/۵ تا ۹ کیلومتر متغیر است. این گسل‌ها زبانه‌های گسلی منشأ یافته از پایانه گسل‌های راستالغز هستند. برای نمونه گسل‌های TF5 و TF6 پایانه‌های گسل‌های راستالغز RF2 و Harm و گسل TF3 پایانه RF1 هستند (شکل ۴).

برای شناسایی و تحلیل سوی حرکت برخی از این گسل‌ها مانند TF1 تا TF4 از ساختارهایی چون خش‌لغزش‌ها و برای برخی دیگر مانند TF5 و TF6 از ساختارهای S-C (شکل ۸) استفاده شده است. سوی شیب این گسل‌ها متفاوت است. یک سری از این عدسی‌های گسلی در ارتباط با گسل TF5 با شیب صفحه‌های C به سوی شمال‌خاور (شکل ۹) و سری دوم در ارتباط با گسل TF6 با شیب صفحه‌های C به سوی جنوب‌باختر (شکل ۱۰) تشکیل شده‌اند. هر دو سری از عدسی‌های گسلی در سازندهای آسماری و پابده- گورپی گسترش یافته‌اند. این دو پلکس‌ها نیز در اندازه‌های متفاوت از میلی‌متری تا چند دسی‌متری قابل برداشت هستند. در شکل ۱۰ استریوگرام مربوط به ویژگی‌های این سری عدسی‌های گسلی ارائه شده است.

**گسل‌های شیب‌لغز وارون:** این گسل‌های شیب‌لغز شامل گسل باروس و گسل BF است (شکل ۴). گسل باروس با موقعیت ۳۵/۰۱۰ بیشتر بر بخش خاوری ناقدیس چغال اثر گذاشته است. ادامه این گسل به سوی باختر توسط گسل هرم جابه‌جا شده است (شکل ۲). این گسل در بخش خاوری بر پایه برگشتگی پهلوی جنوبی بخش خاوری ناقدیس (شکل ۲) و در بخش باختری نیز بر پایه به‌هم‌ریختگی و جابه‌جایی سازندهای آسماری- جهرم شناسایی شده است. با توجه به عدم رخنمون سطحی این گسل به نظر می‌رسد که گسل باروس در سازندهای پابده و گورپی مستهلک شده باشد و بنابراین در این مطالعه به عنوان گسل پنهان باروس معرفی می‌شود. با توجه به عدم رخنمون گسل باروس در منطقه مطالعه، شیب گسل در برش A-A' بر پایه موقعیت برگشته لایه‌ها رسم شده است.

گسل BF گسلی رانده با ویژگی‌های ۳۸/۲۲۵ است که در ناودیس چغال دیده می‌شود (شکل ۴). سوی شیب گسل BF برخلاف گسل اصلی شیب‌لغز ناحیه یعنی گسل TF1 است و بنابراین به عنوان پس‌راند این گسل تحلیل می‌شود. در فرادیواره گسل BF ناقدیس نامتقارن AQ به وجود آمده است (شکل ۴). طول گسل ۷/۵ کیلومتر و جدایش اندازه‌گیری شده به وسیله لایه‌های نشانه حدود ۲۰ متر است که در بخش چمپه از سازند رازک اندازه‌گیری شده است. برای شناسایی و تحلیل سوی حرکت گسل از ساختارهایی چون خش‌لغزش‌ها و برگواری‌های پهنه گسلی از نوع S-C استفاده شده است. زاویه خش‌لغزش (Rake) در حدود ۸۲° است که نشان می‌دهد گسل دارای مؤلفه کوچک امتدادلغز است.

۳) تشکیل گسل های سطحی پلکانی شمال قیر در شمال و هرم در جنوب در پوشش رسوبی در اثر عملکرد گسل پی سنگی (سبزیپوشان) (شکل ۱۳-ج).

۴) گسترش منطقه فشارشی چغال در محدوده میان گسل های پلکانی شمال قیر و هرم. شیب این گسل ها به سوی درون منطقه فشارشی بوده و سبب بالاجستگی بخش باختری تاقدیس چغال شده است (شکل ۱۳-د).

۵) گسترش گسل های راست گرد RF1 و RF2 با سازوکاری همانند گسل های اصلی شمال قیر و هرم در ادامه جابه جایی در گسل پی سنگی و یا در راستای این گسل ها. اثر این گسل ها موجب دگرریختی اثر محوری و تغییر سوی محور تاقدیس در منطقه بالاجسته چغال شده است. زبانه های گسلی تشکیل شده در پایانه این گسل های امتدادی یعنی گسل های TF1 تا TF6 سبب شده اند تا جابه جایی گسل های راستالغز راست گرد در پایانه به رانندگی و وارون تبدیل شود. (شکل ۱۳-ر).

۶) ادامه تغییر شکل در بالاجسته چغال با تشکیل دیگر ساختارها چون گسل های LF1 تا LF8 با روند شمال خاور و چین های جوان (شکل ۱۳-س) و تکامل آن به هندسه کنونی.

#### ۵- نتیجه گیری

تحلیل ساختاری بخش باختری تاقدیس چغال واقع در بخش جنوبی پهنه گسلی سبزیپوشان در ناحیه فارس کمربند چین خورده- رانده زاگرس نشان داد که بر اثر حرکت گسل پی سنگی سبزیپوشان گسل های پلکانی شمال قیر و هرم در پوشش رسوبی تشکیل شده است. هندسه پلکانی ساعت گرد و سازوکار راستالغز آنها که از آرایش ریزچین ها مشخص است سبب گسترش بالاجسته چغال در منطقه همپوشانی تحت فشار میان آنها شده است (شکل ۴). افزون بر گسل های شمال قیر و هرم در راستای پهنه گسلی سبزیپوشان، گسل های با آرایش پلکانی ساعت گرد و سازوکار چیره راستالغز دیگری نیز وجود دارد که آنها نیز بر پایه چنین تحلیلی مرتبط با اثر عملکرد گسل سبزیپوشان در پی سنگ روی پوشش رسوبی هستند. زاویه تند میان این گسل های پلکانی در پوشش رسوبی و گسل اصلی سبزیپوشان در پی سنگ به دلیل وجود افق های جدایشی قاعده ای (سازند هرمز) و جدایش های میانی (چون سازند گرو) است.

مناطق بالاجسته همانند بالاجسته چغال نیز در مناطق همپوشانی تحت فشار این گسل های پلکانی نیز گسترش یافته اند. بر این اساس مناطق همپوشانی مشابه دیگری نیز در راستای در پهنه سبزیپوشان تحلیل شده اند. این مناطق به ترتیب در شمال و جنوب تاقدیس چغال قرار دارند و شامل مناطق بالاجسته سفیدار و قل قل روی تاقدیس های سفیدار و قل قل هستند که مانند منطقه بالاجسته چغال میان گسل های عرضی پلکانی پهنه سبزیپوشان قرار گرفته اند.

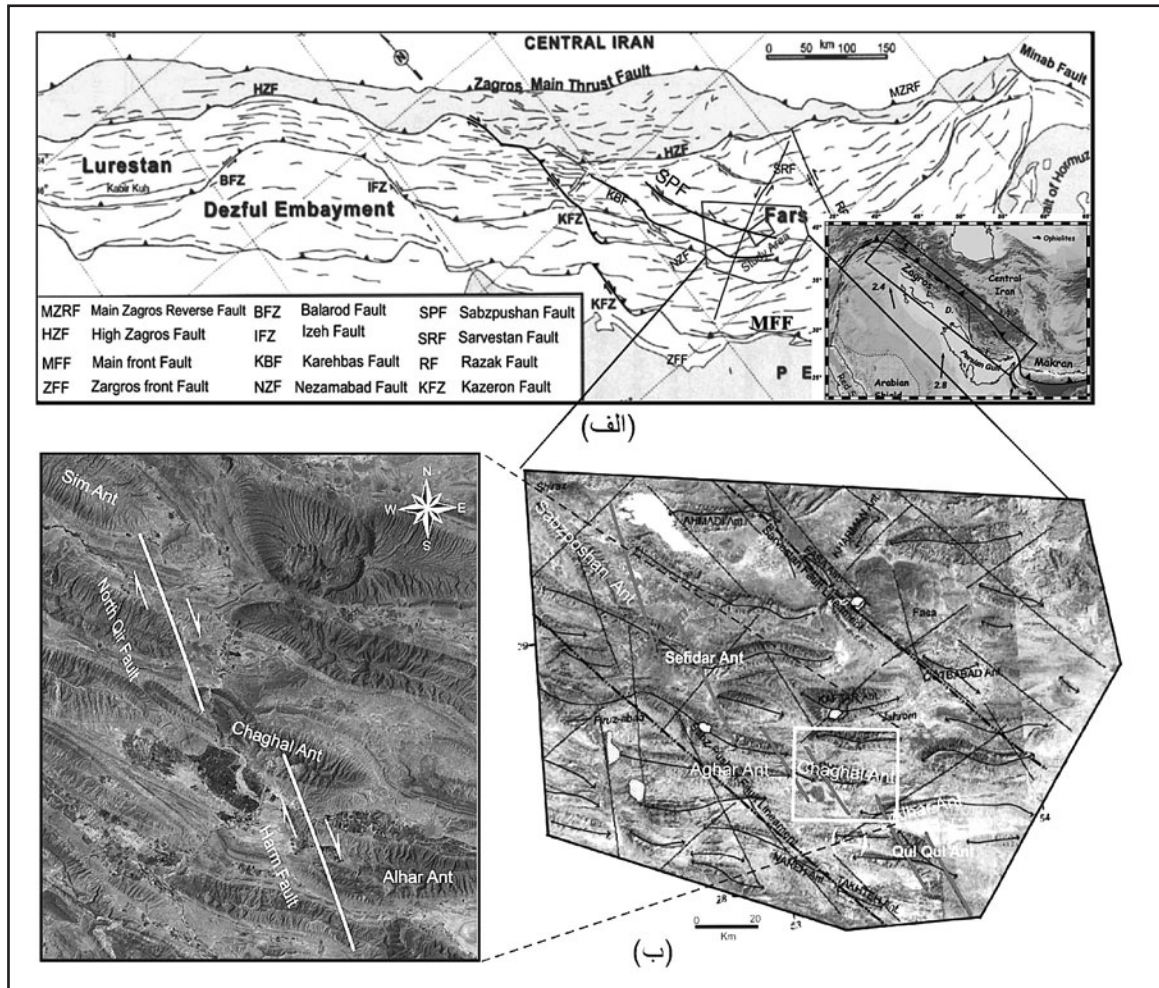
ساختارهای متفاوت با جهت گیری خاص در آنها گسترش می یابد (شکل ۱۲). در بخش باختری چغال زاویه اتصال انتهای گسل های پلکانی شمال قیر و هرم حدود  $43^\circ$  است. بنابراین ساختارهای به وجود آمده با ساختارهای مدل آزمایشگاهی با زاویه  $30^\circ$  (شکل ۱۲-الف) همخوانی بهتری دارد.

ساختارهایی چون مجموعه گسل های TF1 تا TF6، که به عنوان پایانه های گسل های راستالغز تحلیل شده اند و با این گسل های راستالغز اصلی زاویه  $27^\circ$  دارند (شکل ۳)، با گسل های شماره ۱ مدل آزمایشگاهی همخوانی دارند (شکل ۱۲-الف)، این گسل های راستالغز راست بر (RF1 و RF2) که زاویه  $33^\circ$  درجه با گسل های شمال قیر و هرم دارند (شکل ۳) همانند گسل های شماره ۲ مدل آزمایشگاهی هستند (شکل ۱۲-الف). گسل های LF1 تا LF8 که با روند شمال خاور سازوکار راستالغز چپ بر چیره دارند (شکل ۳) با گسل های شماره ۳ مدل آزمایشگاهی همخوانی دارند (شکل های ۱۲-الف و ب). از آنجا که زاویه همپوشانی میان گسل های شمال قیر و هرم از  $30^\circ$  بیشتر است این گسل ها در بالاجسته چغال همانند مدل شکل ۱۲-ب گسترش بیشتری یافته اند. اثر سطح محوری بخش باختری تاقدیس چغال دچار تغییر روند شده و به حالت Z شکل در آمده است (شکل ۴) که می توان سه روند اصلی برای آن در نظر گرفت. افزون بر چین اصلی، مجموعه ای از ریزچین ها (چین های A1 تا A4 و S1 تا S4) با جهت محور تقریباً عمود بر جهت برش اصلی و مایل نسبت به گسل های ۲ در مدل آزمایشگاهی در منطقه بالاجسته چغال تشکیل شده اند (شکل ۱۲-الف). زاویه محور این ریزچین ها نسبت به گسل های اصلی راستالغز در مدل آزمایشگاهی زاویه  $15^\circ$  انحراف دارد که با توجه به زاویه راستای این ساختارها نسبت به گسل های اصلی زاویه حدود  $30^\circ$  را تشکیل می دهند که نشان دهنده کمی انحراف از حالت آزمایشگاهی است. این را می توان به تأثیر دگرریخت های ناحیه ای در مدل تکامل پهنه گسلی سبزیپوشان افزون بر دگرریختی محلی متأثر از گسل های اصلی راستالغز نسبت داد.

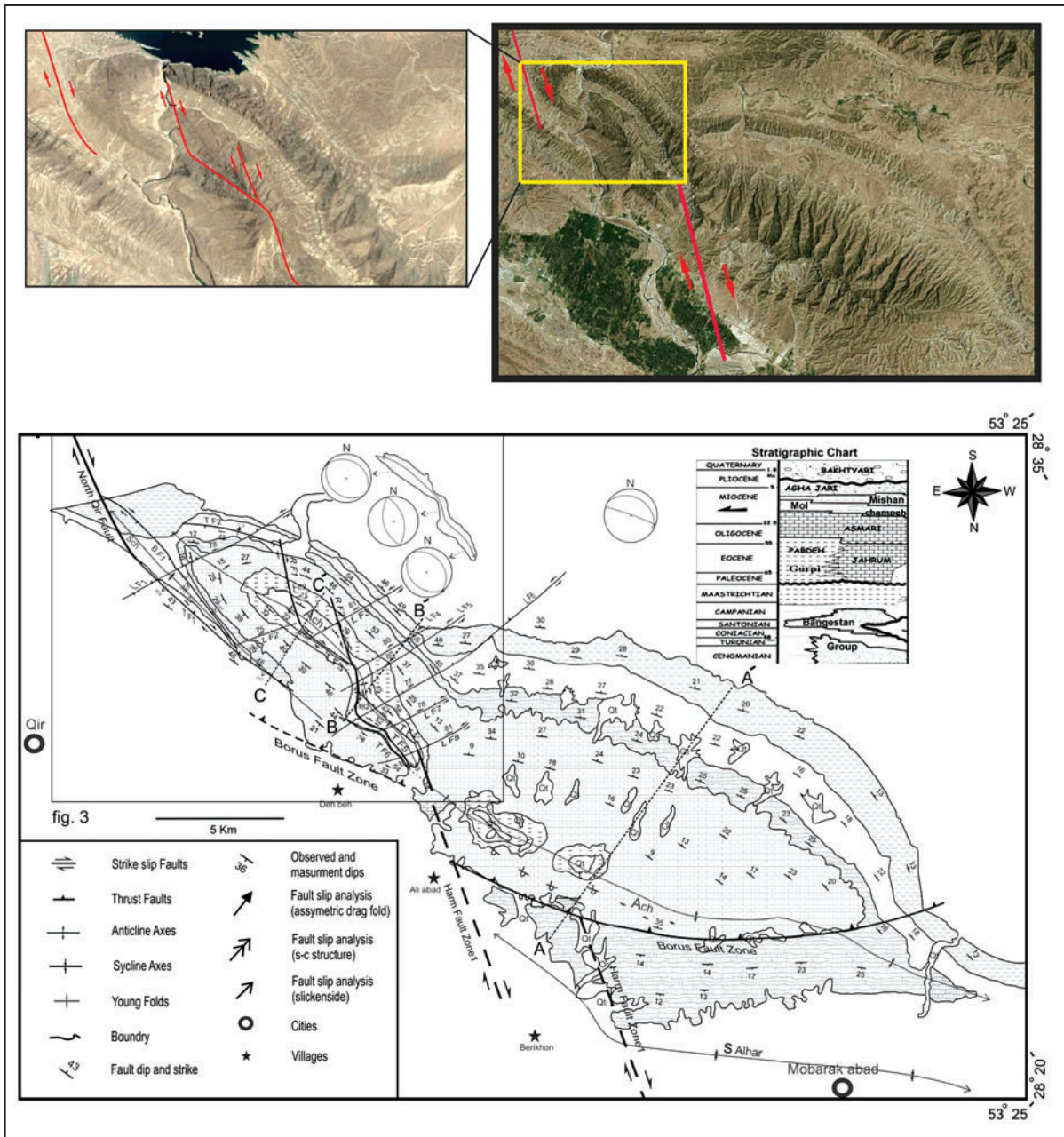
#### ۴-۳. مراحل تکامل ساختاری بالاجسته چغال

با توجه به هندسه و تحلیل ساختاری تاقدیس چغال و با استفاده از تشابه ساختاری بالاجسته چغال با مدل های آزمایشگاهی برای سیر تکاملی تاقدیس مدلی به صورت شکل ۱۳ ارائه شده است. در این مدل روند تکامل ساختاری تاقدیس و بالاجسته چغال طی پنج مرحله تحلیل شده است:

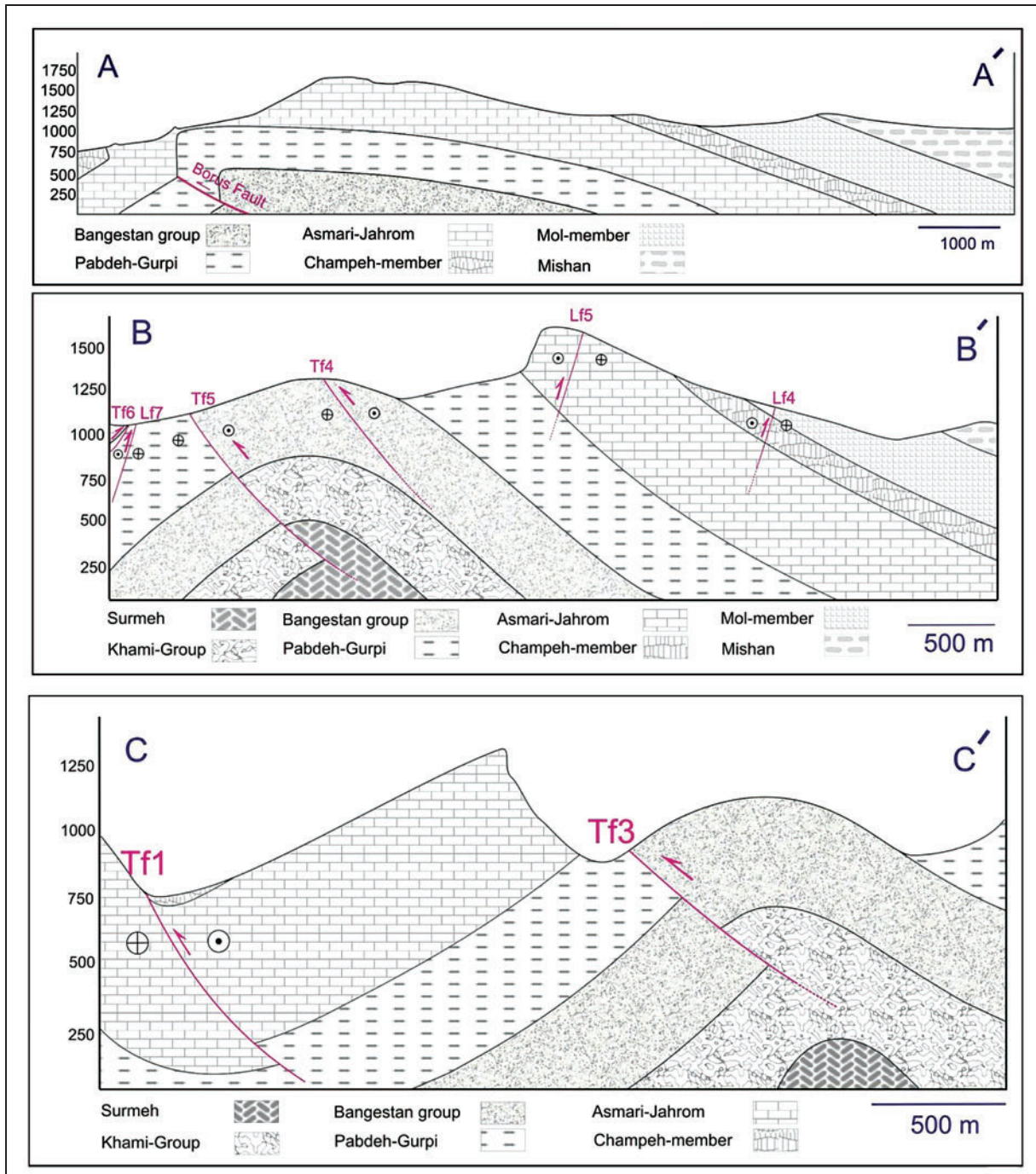
- ۱) تشکیل تاقدیس چغال با روند کلی و همروند با دیگر چین های کمربند چین خورده- رانده زاگرس (شکل ۱۳-الف) همراه با تشکیل گسل پنهان باروس در پهلو جنوبی آن.
- ۲) عملکرد گسل پی سنگی (پهنه سبزیپوشان) با روند چیره شمالی- جنوبی در پی سنگ و در زیر پوشش رسوبی تاقدیس چغال (شکل ۱۳-ب).



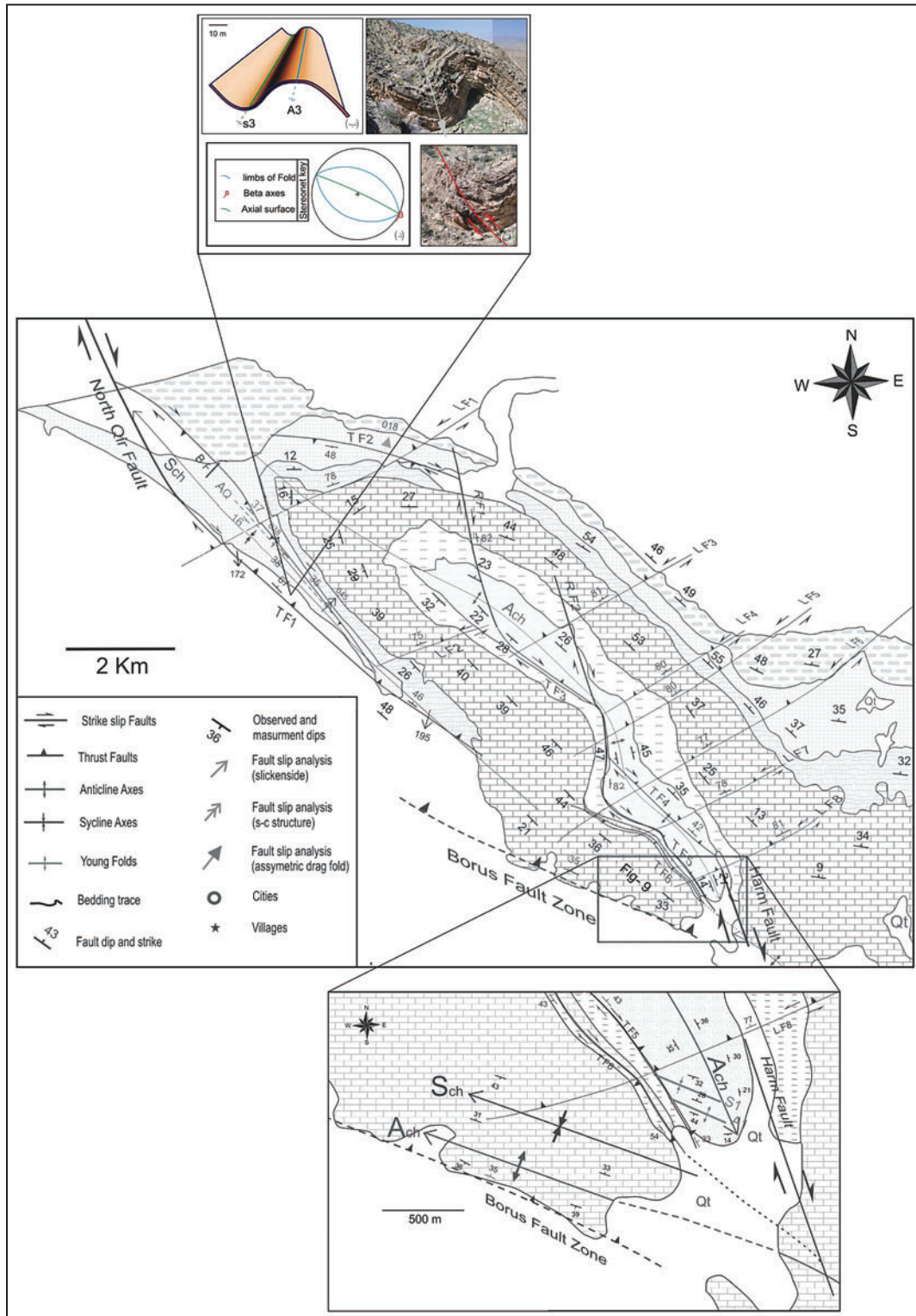
شکل ۱- الف) جایگاه پهنه گسل سبزپوشان در زاگرس؛ ب) تصویر ماهواره‌ای لندست از پهنه سبزپوشان و ناحیه قیر و کارزین.



شکل ۲- تصویر ماهواره‌ای و نقشه زمین‌شناسی از تاقدیس چغال و گسل‌های با آرایش پلکانی گسترش یافته در دماغه شمال باختری آن.

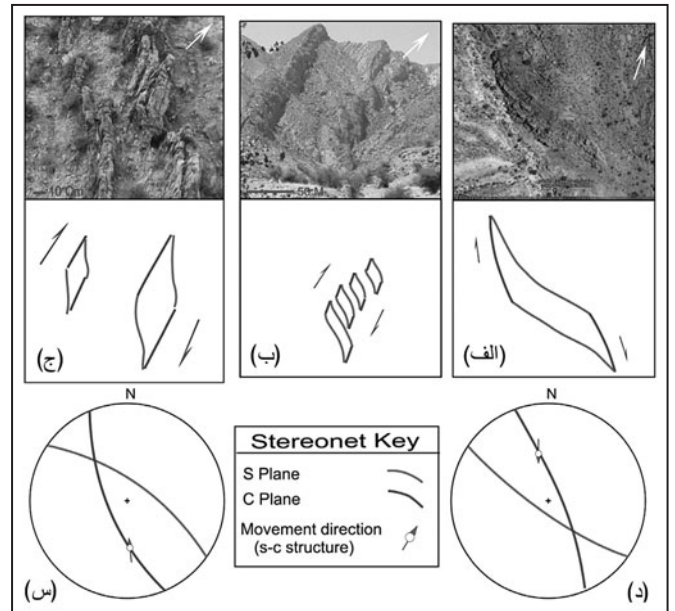
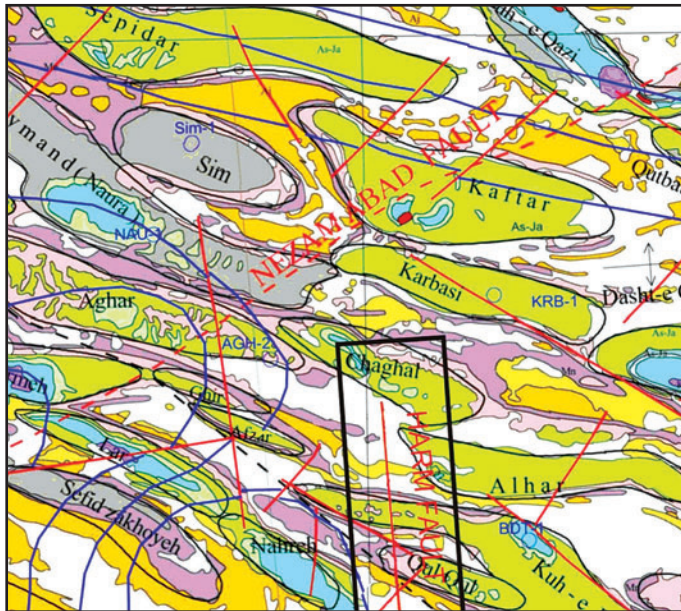


شکل ۳- برش‌های عرضی بر تاق‌دیس چغال. مسیر برش‌ها روی شکل ۲ نمایش داده شده است.



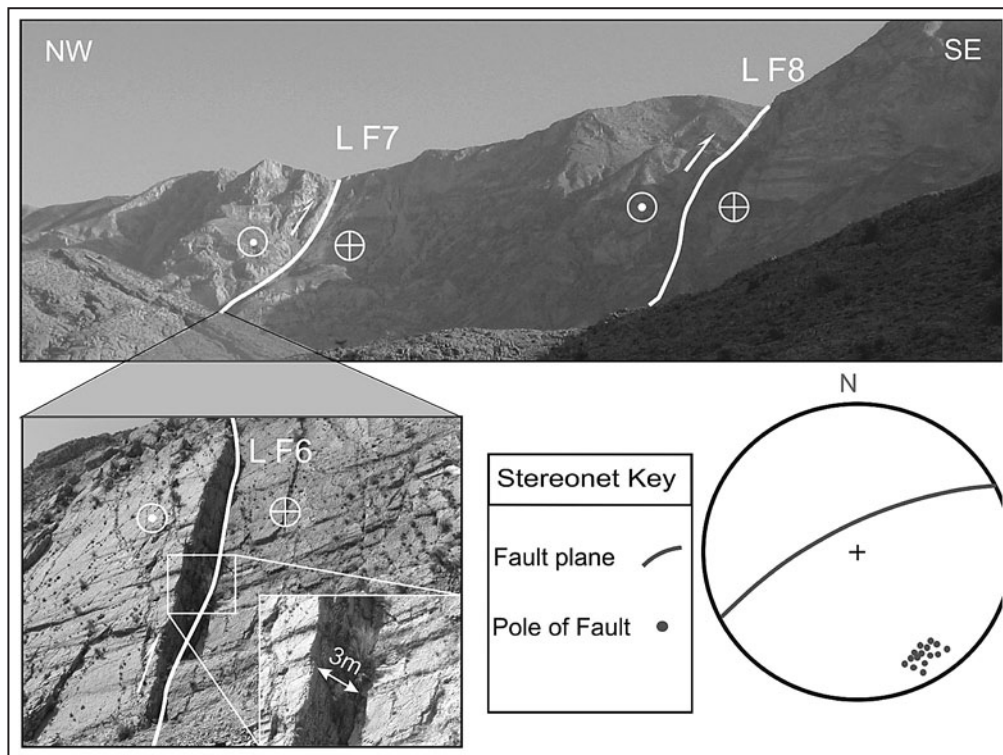
شکل ۴- نقشه بخش شمال باختری تاقدیس چغال، برای مشاهده راهنمای واحدهای سنگی به شکل ۲ مراجعه شود.



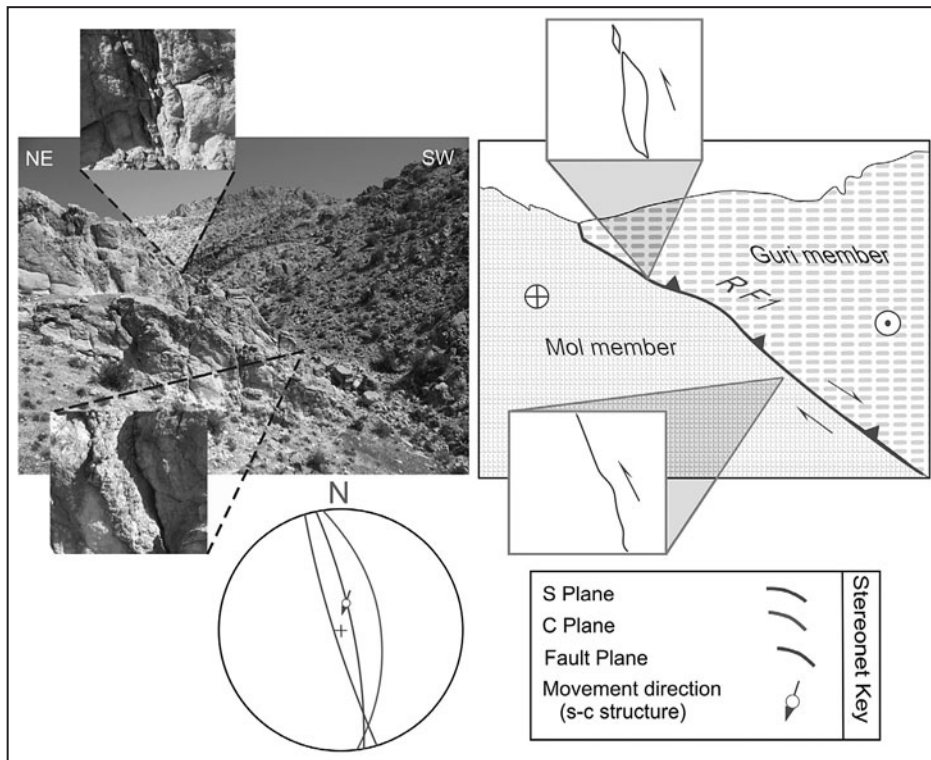


شکل ۶- نقشه مغناطیس هوایی گسل های پی سنگی در محدوده تاقدیس چغال که در آن موقعیت گسل پی سنگی هرم نشان داده شده است (برگرفته از طباطبایی، ۱۳۸۵).

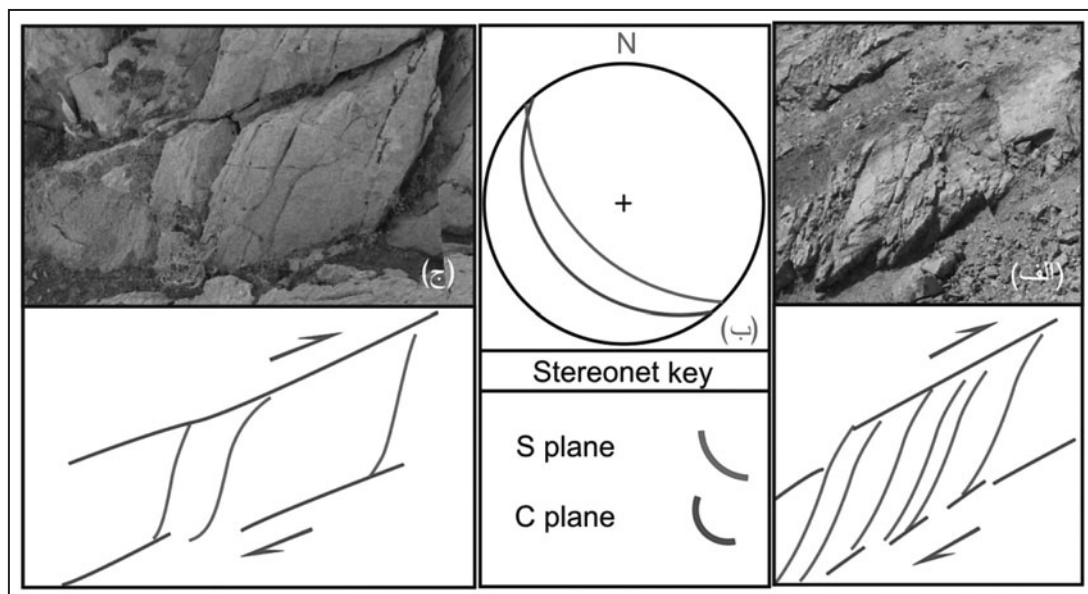
شکل ۵- دوپلکس های در ارتباط با گسل های راستالغز. الف، ب و ج) تصاویری از دوپلکس در ارتباط با گسل راستالغز RF2؛ د) استریوگرام مربوط به صفحه های C&S دوپلکس های گسلی راستالغز در شکل الف؛ س) استریوگرام مربوط به صفحه های C&S دوپلکس های گسلی وارون در شکل های ب و ج.



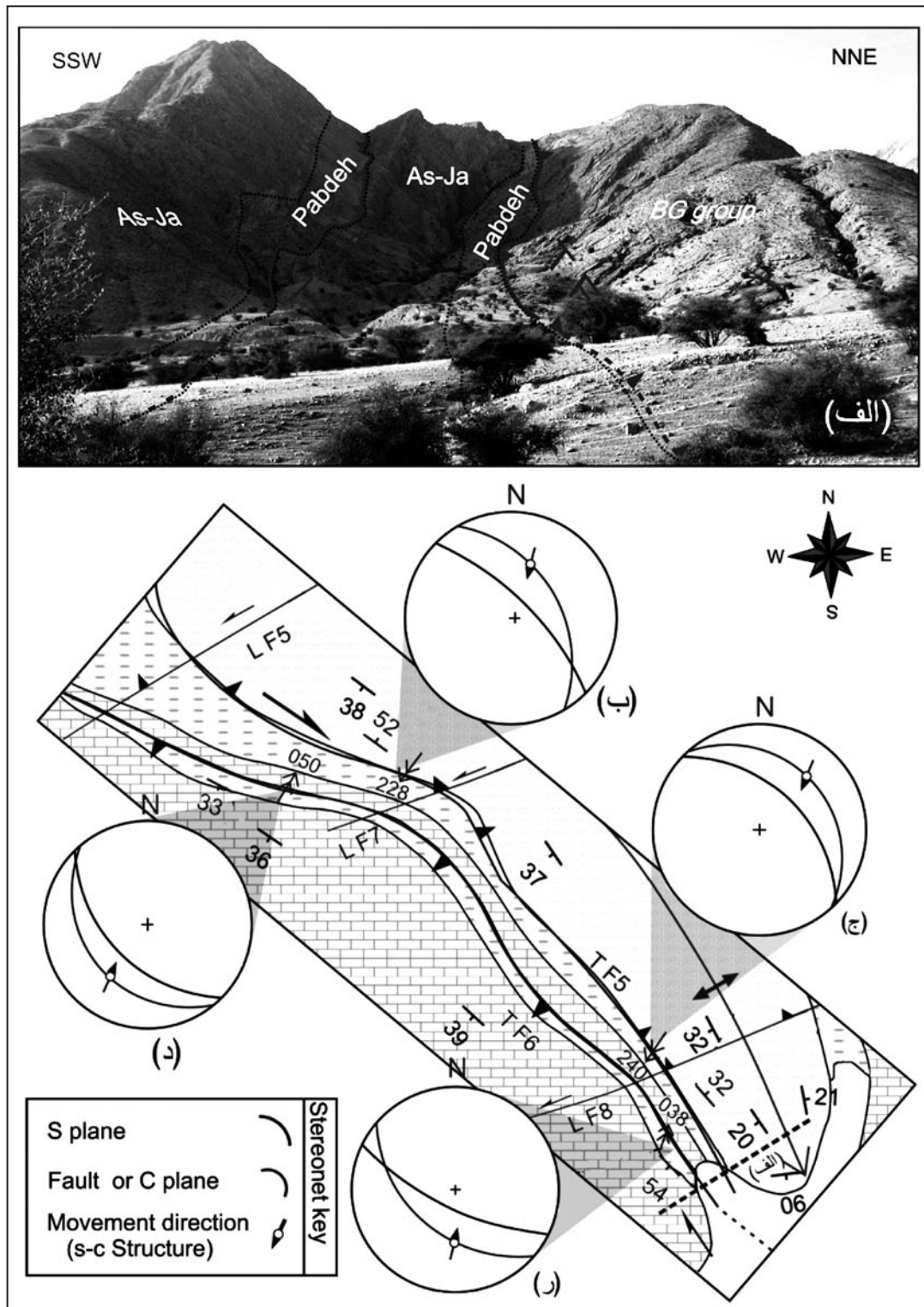
شکل ۷- تصویر صحرایی از گسل های فرعی راستالغز چپ بر با روند شمال خاور، برای مشاهده موقعیت این گسل ها در تاقدیس چغال به شکل ۴ مراجعه شود.



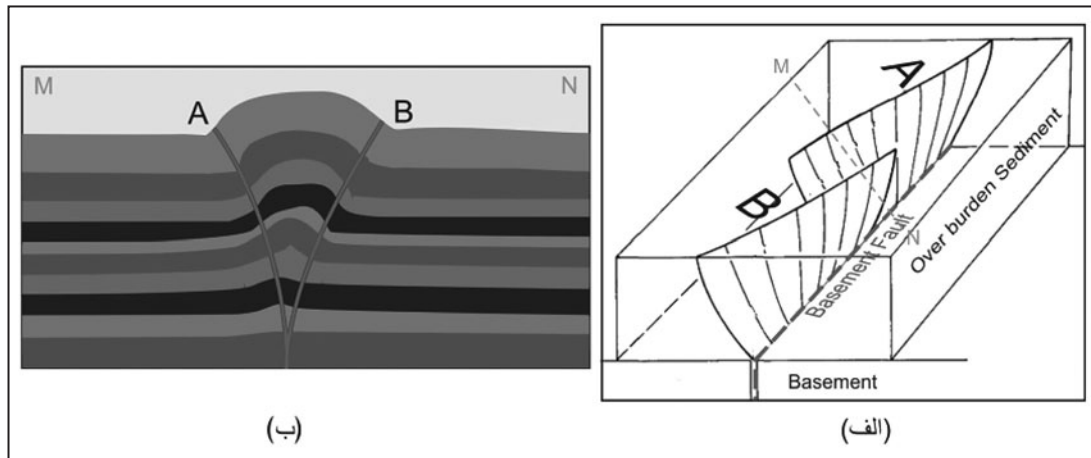
شکل ۸- تصویر صحرایی و شکل ساده شده از گسل های فرعی وارون با مؤلفه کوچکتر راستالغز راست بر با روند چیره شمال باختر. برای مشاهده موقعیت این گسل ها در تاقدیس چغال به شکل ۴ مراجعه شود.



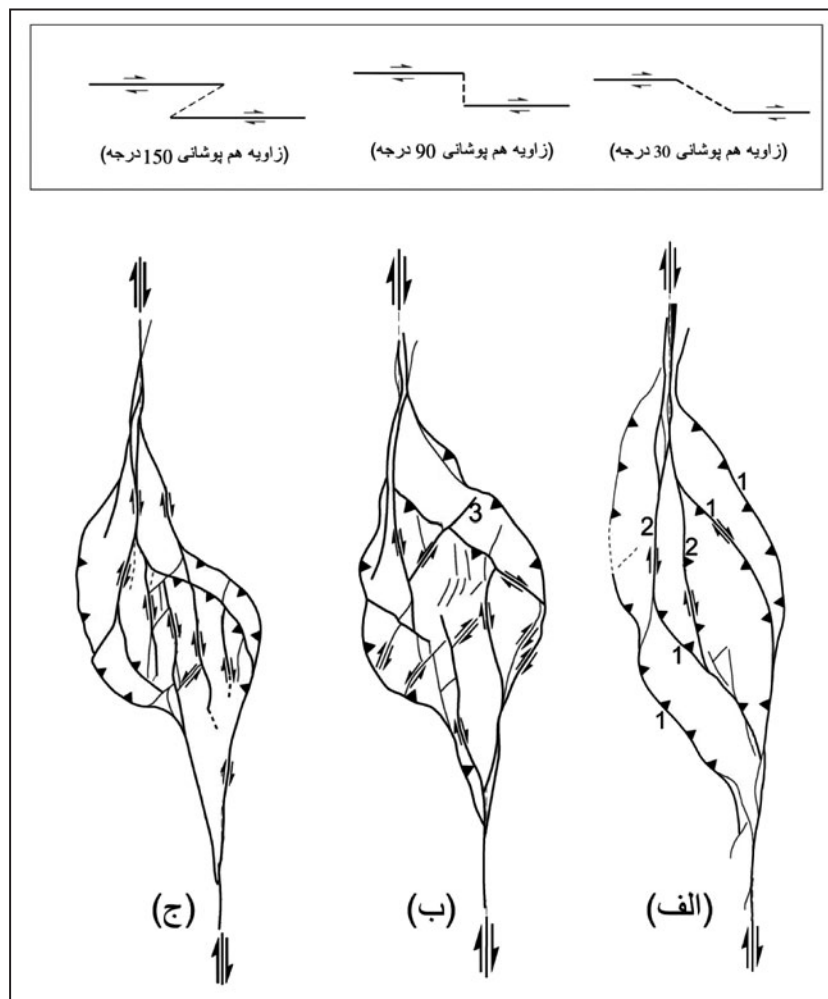
شکل ۹- تصویر صحرایی و استریوگرام دوپلکس های در ارتباط با گسل های شیب لغز.



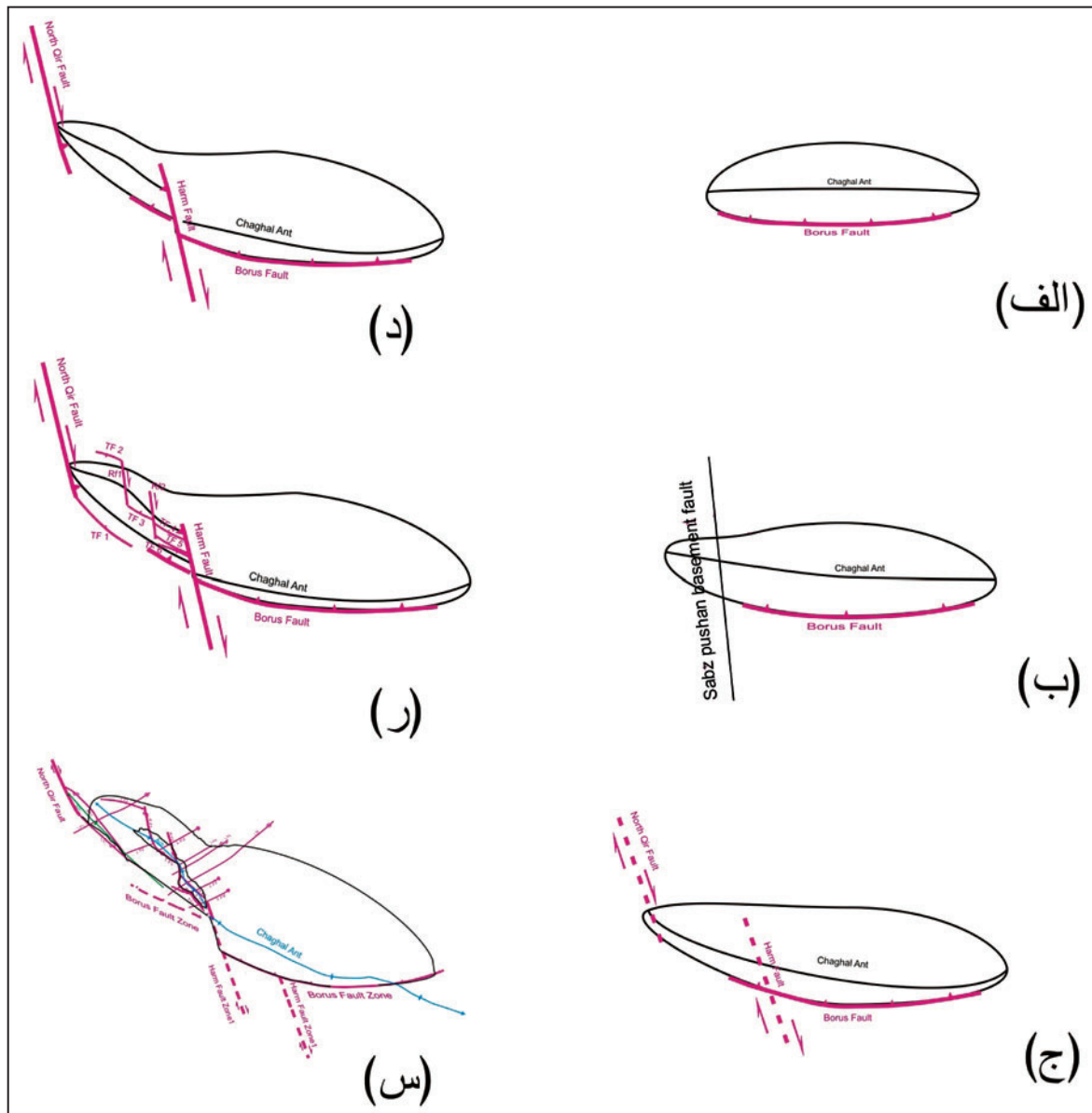
شکل ۱۰- الف) نمای از گسل های پایانه ای TF5 و TF6. استریوگرام های تحلیل جنبشی این گسل ها بر پایه موقعیت ساختاری C و S؛ ب) در محل اتصال گسل TF5 به گسل اصلی راستالغز RF2؛ ج) بخش انتهایی گسل TF5؛ د) بخش ابتدایی گسل TF6؛ و) بخش انتهایی گسل TF6. برای مشاهده موقعیت این گسل ها در تاقدیس چغال به شکل ۴ مراجعه شود.



شکل ۱۱- الف) شکل نمادین از چگونگی قرارگیری گسل‌های عرضی پلکانی روی پوشش رسوبی پوشاننده گسل پی‌سنگی؛ ب) برش عرضی از پهنه گسل (برگرفته با تغییرات از (Naylor et al. (1986).



شکل ۱۲- مناطق همپوشانی با زاویه‌های متفاوت (برگرفته از (McClay & Bonora (2001).



شکل ۱۳- مراحل تکامل ساختاری بالاجسته چغال در منطقه فشارشی میان گسل های راستالغز حاصل از فعالیت دوباره گسل پی سنگی روی پوشش رسوبی (برای شرح بیشتر به متن مراجعه شود).

### کتابنگاری

صفری، ح.، ۱۳۷۹- تحلیل دگرریختی های پهنه گسل سبزپوشان؛ رساله دکترا، دانشگاه تربیت مدرس.  
 طباطبایی، س. ه.، ۱۳۸۵- نقشه پی سنگ مغناطیسی زاگرس؛ مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰، گزارش شماره ۳۵۳۹۳/۱، تهران: شرکت ملی نفت ایران، مدیریت اکتشاف.

### References

- Bahroudi, A. & Koyi, H. A., 2003- Effect of spatial distribution of Hormuz salt on deformation style in the Zagros fold and thrust belt: An analogue modeling approach, *J. Geol. Soc.*, 160, 1 – 15.
- Berberian, M., 1995- Master 'blind' thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics*, 241, 193–224.
- Calassou, S., Larroque, C. & Malavieille, J., 1993- Transfer zones of deformation in thrust wedges: an experimental study: *Tectonophysics*, v. 221, p. 325–344.
- Cunningham, W. D., Davies, S. & Badarch, G., 2003- Crustal architecture and active growth of the Sutai Range, western Mongolia: a major intracontinental, intraplate restraining bend. *Journal of Geodynamics*, 36, 169–191.

- Cunningham, W. D., Windley, B. F., Dorjnamjaa, D., Badamgarov, G. & Saandar, M., 1996- A structural transect across the Mongolian western Altai: active transpressional mountain building in central Asia: *Tectonics*, v. 15, p. 142–156.
- Dooley, T. & McClay, K., 1997- Analogue modelling of pull-apart basins: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 81:1804–1826.
- Falcon, N. L., 1969- Problems of the relationship between surface structures and deep displacements illustrated by the Zagros range. In G. E. Kent, Satterhwaite, & A. M. Spencer (Eds.), *Time and place orogeny*. Geological Society of London, Special Publication 3.
- Furst, M., 1990- Strike-slip Faults and Diapirism of the South-Eastern Zagros Ranges. *Symposium on Diapirism with Special Reference to Iran*: p.149-181.
- Harding, T. P. & Lowell, J. D., 1979- Structural styles, their plate-tectonic habitats, and hydrocarbon traps in petroleum provinces: *Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.*, v. 63, p. 1016-1058.
- Harding, T. P., 1976- Tectonic significance and hydrocarbon trapping consequences of sequential folding synchronous with San Andreas faulting, San Joaquin Valley, California: *AAPG Bulletin*, v. 60, p. 356–378.
- Hessami, K., Koyi, H. A. & Talbot, C. J., 2001- The Significance of Strike-Slip Faulting in the Basement of the Zagros Fold and thrust Belt. *Journal of Petroleum Geology*, 24(1), P. 5-28.
- Lallemand, S., Malavieille, J. & Calassou, S., 1992- Effects of oceanic ridge subduction on accretionary wedges: *Tectonics*, v 11, p. 1301–1313.
- Lowelle, J. D., 1985- Structural styles in petroleum exploration: *Tulsa, Oil and Gas Consultants International*, 460 p.
- McClay, K. R. & Bonora, M., 2001- Analogue models of restraining stepovers in strike-slip fault systems. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*. V.85, No. 2, 233 - 260.
- McClay, K. R., 1990- Deformation mechanics in analogue models of extensional fault systems, in E. H. Rutter and R. J. Knipe, eds., *Deformation mechanisms, rheology and tectonics*: Geological Society Special Publication 54, p. 445–454.
- McClay, K. R., 1995- 2-D and 3-D analogue modelling of extensional fault structures: templates for seismic interpretation: *Petroleum Geoscience*, v. 1, p. 163–178.
- Naylor, M. A., Mandl, G. & Sijpesteijn, C. H. K., 1986- Fault geometries in basement induced wrench faulting under different initial stress states: *Journal of Structural Geology*, v. 8, p. 737–752.
- Paylor, E. D. & Yin, A., 1993- Left-slip evolution of the North Owl Creek fault system, Wyoming, during Laramide shortening, in Schmidt, C.J., Chase, R.B., and Ersley, E.A., eds., *Laramide basement deformation in the Rocky Mountain Foreland of the Western United States*: Geological Society of America Special Paper 280, p. 229-242.
- Peters, K. E., Elam, T. D., Pytte, M. H. & Sundararaman, P., 1994- Identification of petroleum systems adjacent to the San Andreas fault, California, USA, in L. B. Magoon and W. G. Dow, eds., *The petroleum system—from source to trap*: AAPG Memoir 60, p. 423–436.
- Richard, P. D. & Cobbold, P. R., 1990- Experimental insights into partitioning fault motions in continental convergent wrench zones. *Annales Tectonicae* 4, 35–44.
- Richard, P. D., 1991- Experiments on faulting in a two layer cover sequence overlying a reactivated basement fault with oblique (normal-wrench or reverse-wrench) slip: *Journal of Structural Geology*, v. 13, p. 459–469.
- Richard, P., Mocquet, B. & Cobbold, P. R., 1991- Experiments on simultaneous faulting and folding above a basement wrench fault: *Tectonophysics*, v. 188, p. 133–141.
- Sepehr, M. & Cosgrove, J. W., 2004- Structural framework of the Zagros Fold–Thrust Belt, Iran. *Marine and Petroleum Geology*, 21, 829–843.
- Serra, S. & Nelson, R. A. 1989- Clay modelling of rift asymmetry and associated structures: *Tectonophysics*, v. 153, p. 307–312.
- Sherkati, S. & Letouzey, J., 2004- Variation of structural style and basin evolution in the central Zagros (Izeh zone and Dezful Embayment), Iran. *Marine and Petroleum Geology*. Vol. 21, No. 5, P. 535-554.
- Sylvester, A. G., 1988- Strike-slip faults: *Geological Society of America Bulletin*, v. 100, p. 1666–1703.
- Tron, V. & Brun, J. P., 1991- Experiments on oblique rifting in brittle-ductile systems: *Tectonophysics*, v. 188, p. 71–84.
- Wilcox, R. E., Harding, T. P. & Seely, D. R., 1973- Basin wrench tectonics: *AAPG Bulletin*, v. 57, p. 74–96.
- Withjack, M. O. & Jamison, W. R., 1986- Deformation produced by oblique rifting: *Tectonophysics*, v. 126, p. 99–124.
- Withjack, M. O., Olson, J. & Peterson, E., 1990- Experimental models of extensional forced folds: *AAPG Bulletin*, v. 74, p. 1038–1045.
- Woodcock, N. H. & Schubert, C., 1994- Continental strike-slip tectonics. In: Hancock, P. L. (eds.): *Continental Deformation*, Pergamon Press, Oxford, 251-263.
- Yassaghi, A., 2006- Integration of Landsat imagery interpretation and geomagnetic data on verification of deep-seated transverse fault lineaments in SE Zagros, *International Journal of Remote Sensing*. P.4529 – 4544.

# Effects of the Sabzpushan Transverse Fault on the Development of Restraining Zones in the Chaghal Anticline, Zagros Fold-Thrust Belt

E. Tavakolian<sup>1</sup> & A. Yassaghi<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>M. Sc., Department of Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 2013 January 28

Accepted: 2015 May 10

## Abstract

The Zagros fold-thrust belt has been cut out by various transverse faults with segments displaying en-echelon pattern. Depending on the type of overlapping and fault mechanisms, restraining and releasing zones have been developed between these en-echelon segments. The NW-trending dextral Sabzpushan fault is one of these transverse strike-slip faults located in the Fars province of the Zagros belt. Since the Sabzpushan fault zone consists of several en-echelon segments of clockwise pattern, restraining zones have been generated between them. One of these restraining zones is developed on the NW nose of the Chaghal anticline. Detailed field studies and interpretation of satellite images resulted in identification of several dextral en-echelon faults in the western part of the Chaghal anticline. This fault zone consists of two en-echelon faults called Qir and Harm. Different kinds of structures such as dextral faults with reverse component, thrust faults, minor duplexes and young minor folds were mapped in these restraining zones. These structural assemblages are similar to those that are developed in the restraining zones produced in physical models of en-echelon strike-slip faults. In addition, similar restraining zones which are also observed across the Ghol Ghol and Sefidar anticlines to the south and north of the Chaghal anticline, respectively, are attributed to other en-echelon segments of clockwise array along the Sabzpushan fault zone. These dextral en-echelon faults along the Sabzpushan fault, which are interpreted as surface ruptures in the sedimentary cover with basal detachment zone, formed as a result of the activity of Sabzpushan fault in the basement.

**Keywords:** Zagros Fold-Thrust Belt, Sabzpushan Transverse Fault Zone, Chaghal Restraining Zone, Basement Fault, En-echelon Strike-slip Fault.

For Persian Version see pages 183 to 196

\*Corresponding author: A. Yassaghi; E-mail: [yassaghi@modares.ac.ir](mailto:yassaghi@modares.ac.ir)