

# آهنگ لغزش راست بر گسل دهشیر در بازه زمانی پلیستوسن پایانی - هولوسن، فلات ایران مرکزی

محمد فروتن<sup>۱</sup>، حمید نظری<sup>۱</sup>، برتراند میر<sup>۲</sup>، میشل سبریر<sup>۳</sup>، مرتضی فتاحی<sup>۳</sup>، کریستل لو دورتز<sup>۴</sup>، منوچهر قرشی<sup>۱</sup>

خالد حسامی<sup>۴</sup>، محمد رضا قاسمی<sup>۱</sup> و مرتضی طالبیان<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

<sup>۲</sup> دانشگاه پیر و ماری کوری، پاریس VI، پاریس، فرانسه

<sup>۳</sup> موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، تهران، ایران

<sup>۴</sup> پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۱۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۵/۰۴

## چکیده

برآورد توان لرزه‌ای گسل دهشیر با درازای حدود ۵۵۰ کیلومتر (با لحاظ پایانه‌های شمالی و جنوبی) در شرایطی که جمعیت ساکن با فاصله چند ده کیلومتری گسل به بیش از ۳/۵ میلیون نفر می‌رسد، از اهمیت خاصی برخوردار است. به دلیل نبود داده‌های زمین لرزه دستگاهی و تاریخی بزرگ بر روی گسل‌های جنبای اصلی در گستره ایران مرکزی، دست‌یابی به توان لرزه‌ای این گسل‌ها بر اساس بررسی کاتالوگ زمین لرزه‌ای ناممکن می‌نماید. تا به امروز زمین لرزه دستگاهی با بزرگای بیش از  $M_p 4/7$  بر پیرامون گسل دهشیر ثبت نشده است. از سوی دیگر، بررسی داده‌های تاریخی نشانی از زمین لرزه تاریخی بزرگی در نزدیکی گسل دهشیر به دست نمی‌دهد. نبود نشانه‌های ویرانی در قلعه تاریخی مروست با قدمت دوره اسلامی (در حدود ۷۰۰-۱۲۵۰ میلادی) که در فاصله کمتر از ۱۰ کیلومتری گسل دهشیر جای دارد نیز گواهی در تأیید نبود جنبش لرزه‌ای بزرگ تا ۱۳۰۰-۷۵۰ سال گذشته است. با این وجود، گواهی‌های ریخت‌زمین‌ساختی بسیاری از جمله جابه‌جایی سامانه‌ای (systematic) آبراهه‌های کوچک و بزرگ، رودخانه‌ها و بادبزنی‌های آبرفتی، همگی گویای جنبایی گسل دهشیر در بازه زمانی کواترنری پایانی است. گواهی‌های ریخت‌زمین‌ساختی ارائه شده در گستره جغرافیایی مروست و هرابرجان نشان از حرکت اصلی گسل دهشیر در بازه زمانی پلیستوسن پایانی - هولوسن به صورت راست‌الغز راست‌بر، به همراه مؤلفه فرعی شیب‌لغز دارد. به منظور دست‌یابی به آهنگ لغزش سالانه افقی و شاقولی بر روی گسل دهشیر، ریک (rake) حرکتی گسل در بازه زمانی مورد اشاره در ساختگاه (site) شمال مروست در حدود ۱۰ درجه و برای کرانه سمت راست رودخانه مروست با جابه‌جایی افقی و شاقولی به ترتیب برابر با ۱۳ و ۱/۵ متر، نزدیک به ۷ درجه لحاظ شده است. با توجه به جابه‌جایی‌های تجمعی اندازه‌گیری شده در درازای پاره گسل (fault segment) مروست و در نظر گرفتن نتایج سن‌سنجی به روش لومینسانس نوری، آهنگ لغزش سالانه مؤلفه افقی گسل در بازه زمانی مورد بررسی برابر با  $1 \pm 0.3 \text{ mm yr}^{-1}$  و برای مؤلفه شاقولی در حدود  $0.8 \text{ mm yr}^{-1}$  قابل برآورد است. با توجه به شماره آهنگ لغزش حاصل و در نظر گرفتن مقدار کمینه جابه‌جایی راست‌بر یافت شده در این پژوهش (به میزان ۲ متر در باختر دهستان هرابرجان) و در درازای پاره گسل مروست از سامانه گسل دهشیر می‌توان رخداد آخرین زمین لرزه بزرگ دیرینه را با بزرگای  $M_w \sim 7$  به حدود ۲۰۰۰ سال گذشته نسبت داد.

**کلید واژه‌ها:** آهنگ لغزش، گسل دهشیر، پاره گسل، ریک، لومینسانس نوری، هولوسن

\*نویسنده مسئول: محمد فروتن

E-mail: mohammad.foroutan@upmc.fr

## ۱- مقدمه

تمامی جابه‌جایی‌های تجمعی زمین‌شناختی بر روی گسل‌های جنبای اصلی در این پهنه‌ها را جبران می‌کند. به بیان دیگر، آهنگ همگرایی صفحه‌های عربی-اوراسیا که شاخص اصلی در دگرشکلی جنبای فلات ایران به شمار می‌رود، باید در شروع حرکت (۲۳-۱۶ Ma؛ همچون: Allen et al., 2004) در مقایسه با امروز متفاوت بوده باشد. از سوی دیگر، میانگین آهنگ لغزش برآورد شده برای آخرین چرخه‌های زمین لرزه‌ای در بازه زمانی میان‌مدت (پلیستوسن و هولوسن) بر روی برخی گسل‌های راست‌الغز جنبای در پهنه ایران مرکزی و خاور ایران (Meyer et al., 2006) گزارش شده در بازه کوتاه‌مدت است. از این رو، با توجه به وجود تغییرات در شماره آهنگ لغزش در گذر زمان (از چند میلیون سال گذشته تا به امروز) لزوم انجام بررسی‌های دقیق‌تر برای هر یک از بازه‌های زمانی مورد اشاره احساس می‌شود که در پژوهش حاضر، آهنگ لغزش راست‌بر گسل دهشیر در بازه زمانی میان‌مدت با بهره‌گیری از روش‌های مطالعاتی ریخت‌زمین‌ساختی، بررسی شده است.

گسل دهشیر را می‌توان حد باختری مجموعه گسل‌های جنبای راست‌الغز راست‌بر شمالی- جنوبی پهنه‌های ساختاری ایران مرکزی و خاور ایران به‌شمار آورد. از دیدگاه زمین‌شناختی نیز این گسل با راستای کلی شمال باختری- جنوب

آهنگ لغزش گسل‌های جنبای یکی از پارامترهای اصلی در بازخوانی رفتار حرکتی گسل در گذشته و پیش‌بینی جنبش آن در آینده است. تعمیم آهنگ لغزش کنونی یک گسل جنبای به ده‌ها هزار تا میلیون‌ها سال گذشته توسط بسیاری از پژوهشگران، فرضی است که در شرایط نبود داده‌های دقیق‌تر در گذر تاریخچه جنبایی گسل از آن استفاده می‌شود. این در حالی است که بررسی آهنگ لغزش سالانه گسل جنبای در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت (بازه چند ساله در زمان حاضر)، میان‌مدت (تا حدود یک صد هزار سال گذشته)، بلندمدت (از یک صد هزار تا دو میلیون سال گذشته) و بسیار بلندمدت (بیش از دو میلیون سال گذشته)، بیانگر چگونگی تغییرات آهنگ لغزش در گذر زمان و روشن‌کننده بسیاری از ابهامات در نحوه رفتار گسل جنبای در گذشته و آینده است. به منظور برآورد آهنگ لغزش کوتاه‌مدت، میان‌مدت و درازمدت به ترتیب از روش‌های زمین‌منا (GPS و Insar)، زمین‌ریخت‌شناختی و زمین‌شناختی استفاده می‌شود. تعمیم آهنگ لغزش کوتاه‌مدت حاصل از داده‌های GPS که بیانگر وجود برش شمالی- جنوبی برابر با  $16 \text{ mm yr}^{-1}$  (Vernant et al., 2004) در عرض جغرافیایی  $30/5^\circ$  شمالی (اختلاف میان بردارهای سرعت در ایستگاه‌های KERM و ZABO) است، تا ۷-۳ میلیون سال گذشته برای گسل‌های راست‌الغز جنبای در گستره پهنه‌های ساختاری ایران مرکزی و خاور ایران،

آبرفتی دشت، در خاور است. دو شاخه گسلی جوان تر نیز در بخش های خاوری نهشته های آبرفتی دیده می شود که بر اساس سن سنجی به روش لومینسانس نوری نمونه ای که نزدیک به ۹۰ سانتی متری زیر سطح قرار دارد، سن شکل گیری شاخه خاوری پس از  $10/6 \pm 37/6$  ka بوده است. توالی رسوبی- چینه ای نهشته های آبرفتی تا ژرفای نزدیک به ۴ متر شامل رسوبات شنی درشت دانه تا سیلت و رس به همراه محل برداشت نمونه سن سنجی در شکل ۴ نمایش داده شده است.

در فاصله چند صد متری شمال جایگاه برداشت شکل ۳، حرکت دو شاخه نسبتاً جوان گسل، سبب جابه جایی پشته آبرفتی به صورت راست بر شده است (شکل ۵ - الف). با استفاده از داده های مدل ارتفاعی رقومی (DEM: Digital Elevation Model) به دست آمده از برداشت GPS Kinematics میزان جابه جایی برای دو شاخه گسلی یادشده (F1 و F2) به ترتیب برابر با  $14 \pm 0/5$  و  $20 \pm 1$  متر اندازه گیری شده است (شکل های ۵- ب و ۵- ج).

### ۳-۲. پیشینه جنبایی گسل دهشیر در ساختگاه هرابرجان

در فاصله چند کیلومتری شمال باختری دهستان هرابرجان، گسل دهشیر سبب بریدگی و جابه جایی راست بر بادبزنی های آبرفتی کواترنری و آبراهه ها شده است (شکل ۶). در این ساختگاه بادبزنی های آبرفتی از باختر به سوی خاور گسترش یافته و آبراهه های جوان تر بر حسب سن خود با مقادیر فروکاو (incision) متفاوتی، سطح بادبزنی ها را حفر کرده اند. بر اساس سن شکل گیری، میزان جابه جایی آبراهه ها به صورت راست بر بین ۱۸۵-۵۰ متر اندازه گیری شده است (شکل ۷). در نتیجه کارکرد مؤلفه شیب لغزی به صورت راندگی دو شاخه گسلی با جهت شیب به سوی یکدیگر، نهشته های کنگلومرای پلیستوسن با بیشینه بلندای ۸ متر، فراخاست (uplift) یافته اند (شکل های ۸- الف و ۸- ب). با حفر ترانشه ای به ژرفای ۴ متر در پهنای شاخه خاوری (f2)، صفحه های گسلی با شیب نزدیک به ۸۰ درجه و جهت شیب به سوی باختر دیده می شود که نهشته های مارنی پلیوسن- پلیستوسن و رسوبات آبرفتی پلیستوسن را بریده اند (شکل های ۸- ج و ۸- د). آبراهه کوچکی با زمان فروکاوی مربوط به آخرین تغییرات آب و هوایی در بازه زمانی هولوسن، توسط این شاخه، در حدود ۲ متر به صورت راست بر جابه جا شده و بیشینه بلندای افزایش گسل برای این جابه جایی به  $20 \text{ cm}$  می رسد (شکل ۸- ه). مؤلفه شیب لغزی شاخه خاوری (f2) به صورت راندگی نیز سبب کج شدگی لایه های کنگلومرای پلیستوسن در حدود ۳۰ درجه به سوی شمال خاوری (شکل ۸- و) و همچنین به تله افتادن کفه رسی در باختر خود شده است.

### ۴- محاسبه ریک گسل دهشیر

گواه های ارائه شده در گستره های مروست و هرابرجان نشان از حرکت اصلی گسل دهشیر به صورت راستالغز راست بر (به همراه مؤلفه فرعی شیب لغز) در بازه زمانی پلیستوسن پایانی- هولوسن دارد. دست یابی به آهنگ لغزش سالانه افقی و شاقولی بر روی گسل دهشیر نیازمند محاسبه ریک حرکتی گسل در بازه زمانی مورد بررسی است. بدین منظور، محاسبه ریک گسل در دو ساختگاه شمال مروست و مروست بررسی شده است.

#### ۴-۱. محاسبه ریک گسل دهشیر در ساختگاه شمال مروست

در فاصله نزدیک به ۳۵ کیلومتری شمال شهر مروست، ترانشه ای با درازا و ژرفای به ترتیب برابر با ۲۵ و ۴ متر در عرض گسل دهشیر در سطح نهشته های آبرفتی پلیستوسن حفر شده است. در این ساختگاه بلندای افزایش گسل بین ۱/۵ تا ۴ متر با راستای  $N162^\circ$  است که با رخ به سوی خاور شمال خاوری حفظ شده است. در نگاه نخست صفحه های گسلی پرشیب فراوانی با جهت شیب به سوی باختر در دواره های ترانشه دیده می شود که نهشته های آبرفتی پلیستوسن پایانی را بریده و جابه جا کرده اند. همچنین در این ساختگاه کج شدگی لایه های آبرفتی به سمت

جنوب خاوری، بخشی از پهنه های سندج- سیرجان، کمان ماگمایی ارومیه- دختر و ایران مرکزی را قطع می کند (شکل ۱).

به طور کلی، دست یابی به آهنگ لغزش گسل، نیازمند محاسبه دو پارامتر میزان و سن جابه جایی است. در نوشتار پیش روی، ابتدا گواه هایی از جنبایی گسل دهشیر در امتداد پاره گسل مروست در بازه زمانی پلیستوسن و هولوسن معرفی شده و سپس با اندازه گیری جابه جایی تجمعی ریخت ساخت های ریخت زمین ساختی در دو ساختگاه مروست و شمال مروست به همراه سن سنجی رسوبات به روش لومینسانس نوری (Optically Stimulated Luminescence; OSL) - که بیانگر سن آخرین تابش نور به رسوبات مورد بررسی است - آهنگ لغزش میان مدت برآورد شده است.

### ۲- پاره گسل های سامانه گسل دهشیر

بر اساس تغییرات راستای گسل، شش پاره گسل به صورت خطی در درازای سامانه گسل دهشیر از یکدیگر قابل تفکیک هستند (شکل ۲). پایانه شمالی با راستای  $N105^\circ$  به طول ۹۰ کیلومتر با نام گسل چاه زنگول (Hessami et al., 2003) در شمال باختر ناین قرار دارد و در باختر به گسل زرفه با راستای NW-SE می پیوندد. از نزدیکی شمال شهر ناین، پاره گسل دوم با راستای  $N170^\circ$  شروع شده و به درازای ۹۰ کیلومتر بخش باختری زمین درز ناین- بافت را قطع می کند. در ادامه به سوی جنوب با تغییر راستای گسل به  $N150^\circ$ ، سومین پاره گسل از گسل دهشیر به طول ۸۰ کیلومتر دیده می شود. پاره گسل چهارم با راستای  $N160^\circ$  و درازای ۱۳۰ کیلومتر حاشیه خاوری کفه رسی- نمکی ابرکوه را قطع کرده است. پنجمین پاره گسل با راستای  $N150^\circ$  از شمال باختر شهر مروست تا جنوب شهرستان خاتم (هرات) به درازای ۱۰۰ کیلومتر ادامه دارد و در انتها، پایانه جنوبی گسل با راستای  $N100^\circ$  و با درازای نزدیک به ۷۰ کیلومتر در سی کیلومتری جنوب سیرجان پایان می یابد. بنابراین گسل دهشیر با درازای بیش از ۵۵۰ کیلومتر از شمال به جنوب، بر اساس تغییرات هندسی به ترتیب به پاره گسل های چاه زنگول، ناین، ندوشن، دهشیر، مروست و قطرویه قابل جداسازی است.

با وجود گسل های جنبایی اصلی در گستره ایران مرکزی، تا به امروز تنها مطالعات اندکی به منظور دسترسی به آهنگ لغزش میان مدت این گسل ها انجام شده است. بر اساس مطالعات پیشین، آهنگ لغزش سالانه گسل دهشیر در بازه زمانی بسیار بلندمدت (تا  $40-25 \text{ Ma}$ ) بین  $4-2/5 \text{ mm yr}^{-1}$  و در بازه میان مدت ( $2 \pm 1 \text{ ka}$ ) در حدود  $2 \text{ mm yr}^{-1}$  (Meyer et al., 2006; Myer and Le Dortz, 2007) و همچنین کمینه آهنگ لغزش در بازه زمانی  $11/2 \pm 2/1 \text{ ka}$  بین  $2/5-0/8 \text{ mm yr}^{-1}$  برآورد شده است (Nazari et al., 2009).

### ۳- پیشینه جنبایی گسل دهشیر از پلیستوسن تا به امروز

به منظور شناخت هر چه بیشتر رفتار جنبشی گسل دهشیر در بازه زمانی میان مدت، در این بخش گواه های ریخت زمین ساختی منسوب به حرکت گسل در دو ساختگاه مروست و هرابرجان ارائه می شود که هر دو در پاره گسل مروست جای دارند.

#### ۳-۱. پیشینه جنبایی گسل دهشیر در ساختگاه مروست

جنبایی گسل دهشیر در فاصله ۹ کیلومتری باختر شهر مروست با راستای  $N153^\circ$ ، سبب جابه جایی نهشته های مارنی قدیمی پلیوسن- پلیستوسن و همچنین نهشته های آبرفتی جوان پلیستوسن- هولوسن شده است. در این ساختگاه بلندای افزایش گسلی بین  $10-0/2$  متر (بر حسب سن رسوبات) متغیر است. پهنه گسلیش با گسترشی بین  $20-15$  متر شامل مجموعه ای از گسل های پرشیب با سازوکار اصلی راستالغز و جهت شیب به سوی باختر است که بیشتر آنها در نهشته های مارنی قدیمی تر دیده می شوند (شکل ۳). سوی شکل گیری شاخه های جوان تر گسل از باختر به سمت نهشته های

A (۴۳ ka)، B (۳۲ ka) و C (۲۲ ka) خواهند بود. به بیان دیگر سن نهشته‌های آبرفتی Q1a قدیمی‌تر از ۴۳ ka و سطح Q3 جوان‌تر از ۲۲ ka است.

مجموع میانگین و کمینه جابه‌جایی‌های افقی رخ داده در سه دیرینه زمین‌لرزه گذشته (ka تا ۲۱/۲) بر روی گسل دهشیر در گستره ترانشه شمال مروست به ترتیب برابر با ۱۹ و ۱۳ متر اندازه‌گیری شده است (فروتن، ۱۳۸۷)، که قابل مقایسه با جابه‌جایی محاسبه شده برای آبراهه‌های A (۱۹ m) و B (۱۶ m) است (شکل ۹). بنابراین زمان فروکاو آبراهه‌های A و B بر روی سطح Q1b پیش از ۲۱/۲ ka (اوایل دوره MIS2) بوده است. با لحاظ سن ۲۱/۲ ka برای جابه‌جایی آبراهه‌های A و B، آهنگ لغزش سالانه گسل دهشیر به ترتیب برابر با  $0.9 \text{ mm yr}^{-1}$  و  $0.75 \text{ mm yr}^{-1}$  قابل برآورد است. از سوی دیگر، با فرض جابه‌جایی راست بر ۹/۵ متری برای کرانه سمت راست رودخانه فصلی (C) در بازه زمانی هولوسن (۱۲±۲ ka)، آهنگ لغزش گسل در بازه  $0.81 \pm 0.14 \text{ mm yr}^{-1}$  برآورد می‌شود.

در گستره رودخانه مروست سه پادگانه آبرفتی Q1، Q2 و Q3 در دو سوی گسل دهشیر از یکدیگر تفکیک شده است که جوان‌ترین سطح، خود نیز به دو پادگانه Q3a و Q3b قابل جداسازی است. پادگانه Q3 در کرانه سمت راست باختر گسل و همچنین در کرانه سمت چپ خاور گسل دیده می‌شود. دو احتمال برای جابه‌جایی کرانه سمت راست رودخانه قابل اشاره است. در حالت اول با توجه به قطع‌شدگی پادگانه Q3 در باختر گسل و فرسایش این پادگانه در خاور آن، میزان جابه‌جایی افقی اندازه‌گیری شده، برابر با ۱۳ متر، بیشینه مقدار جابه‌جایی است. از آنجا که پادگانه آبرفتی Q3 آخرین پادگانه رسوب‌گذاری شده در گستره مورد مطالعه بوده و مربوط به چرخه رسوب‌گذاری پس از نهشته‌های Q2 (پلیستوسن پایانی) است، بنابراین با فرض نهشتگی Q3 هم‌زمان با تغییرات آب و هوایی جهانی در شروع هولوسن (۱۲±۲ ka)، بیشینه آهنگ لغزش نزدیک به ۱/۳ میلی‌متر در سال قابل برآورد است. در حالت دوم جابه‌جایی ۱۳ متری کرانه سمت راست را می‌توان به زمان نهشتگی پادگانه Q2 نسبت داد که در این صورت آهنگ لغزش کمتر از ۱/۳ میلی‌متر در سال خواهد بود. با توجه به بررسی‌های انجام شده در دو گستره مروست و شمال مروست، آهنگ لغزش گسل دهشیر در بازه زمانی پلیستوسن پایانی و هولوسن برابر با  $1 \pm 0.3 \text{ mm yr}^{-1}$  برآورد می‌شود. حرکت اصلی گسل دهشیر در بازه زمانی مورد بررسی راست‌الغز راست بر بوده که با توجه به شماره ریک گسلی محاسبه‌شده (نزدیک به ۱۰ درجه)، آهنگ لغزش مؤلفه شاقولی گسل در حدود  $0.1 \text{ mm yr}^{-1}$  خواهد بود. از آنجا که کم‌ترین مقدار جابه‌جایی راست‌بر در درازای پاره گسل مروست برابر با ۲ متر در باختر هرابرجان اندازه‌گیری شده است، از این رو، احتمال رخداد آخرین زمین‌لرزه بزرگ دیرینه بر روی گسل دهشیر با توجه به آهنگ لغزش ارائه شده، منسوب به ۲۰۰۰ سال گذشته است. این رخداد با جوان‌ترین رویداد لرزه‌ای دیرینه گزارش شده در ترانشه شمال مروست (فروتن، ۱۳۸۷؛ Fattahi et al., 2010; Nazari et al., 2009) از نظر زمانی نیز برابر است.

بر اساس پژوهش حاضر، درازای گسیختگی سطحی (surface rupture) مربوط به دیرینه زمین‌لرزه مروست، دست کم از ساختگاه ترانشه شمال مروست (در شمال) تا باختر هرابرجان (در جنوب)، نزدیک به ۴۰ کیلومتر گسترش داشته است که با استفاده از رابطه موجود بین درازای گسیختگی و بزرگای زمین‌لرزه  $\log(\text{Surface Rupture Length}) = (-3.55) + (0.74M)$  (Wells and Coopersmith., 1998)، بزرگای دیرینه زمین‌لرزه مروست در حدود  $Mw 7.0$  برآورد می‌شود.

### سپاسگزاری

این پژوهش با یاری مالی و علمی پژوهشکده علوم زمین و سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور به عنوان بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد محمد فروتن

خاور، در نتیجه کارکرد مؤلفه شیب‌لغزی صفحه‌های گسلی نیز دیده می‌شود. از آنجا که اثر خش‌لغز (slickenline) روشنی بر روی سطوح گسلی برداشت شده در ترانشه شمال مروست حفظ نشده است، بنابراین به منظور دست‌یابی به شماره ریک گسل از گواه‌های ریخت‌زمین‌ساختی در گستره جایگاه حفر ترانشه، بهره‌گرفته شده است. مدل ارتفاعی رقمی حاصل از برداشت سطح نهشته‌های آبرفتی در گستره ترانشه شمال مروست توسط GPS، نشان‌دهنده سه پادگانه آبرفتی اصلی است که قدیمی‌ترین سطح و پادگانه ما قبل آخر (penultimate) به دو بخش فرعی تقسیم شده‌اند (شکل‌های ۹-الف و ۹-ب). در شکل‌های یاد شده دو آبراهه کوچک (A و B) سطح Q1b و رودخانه فصلی بزرگی (C) با جهت جریان به سوی خاور، سطح جوان‌ترین پادگانه آبرفتی (Q3) را حفر کرده و توسط گسل به صورت راست‌بر جابه‌جا شده‌اند.

به منظور محاسبه میزان جابه‌جایی افقی و شاقولی بر روی صفحه گسل با شیب نزدیک به ۷۵ درجه و جهت شیب به سوی باختر، دو نیم‌رخ توپوگرافی در درازای هر آبراهه و در دو سوی گسل رسم و بر اساس روابط هندسی مقدار جابه‌جایی افقی (H) و شاقولی (Vf) بر روی صفحه گسل، اندازه‌گیری شده است (شکل ۱۰). میزان جابه‌جایی افقی و شاقولی برای آبراهه‌های A و B به ترتیب برابر با ۱۹، ۳۳/۶ متر و ۱۶/۱۶، ۳/۴۱ متر و برای رودخانه فصلی (C)، ۹/۵ و ۱/۵ متر است. از این رو، شماره ریک گسل برای ریخت‌ساخت‌های A، B و C به ترتیب برابر با ۱۰، ۱۲ و ۹ درجه برآورد پذیر است.

### ۴-۲. محاسبه ریک گسل دهشیر در ساختگاه مروست

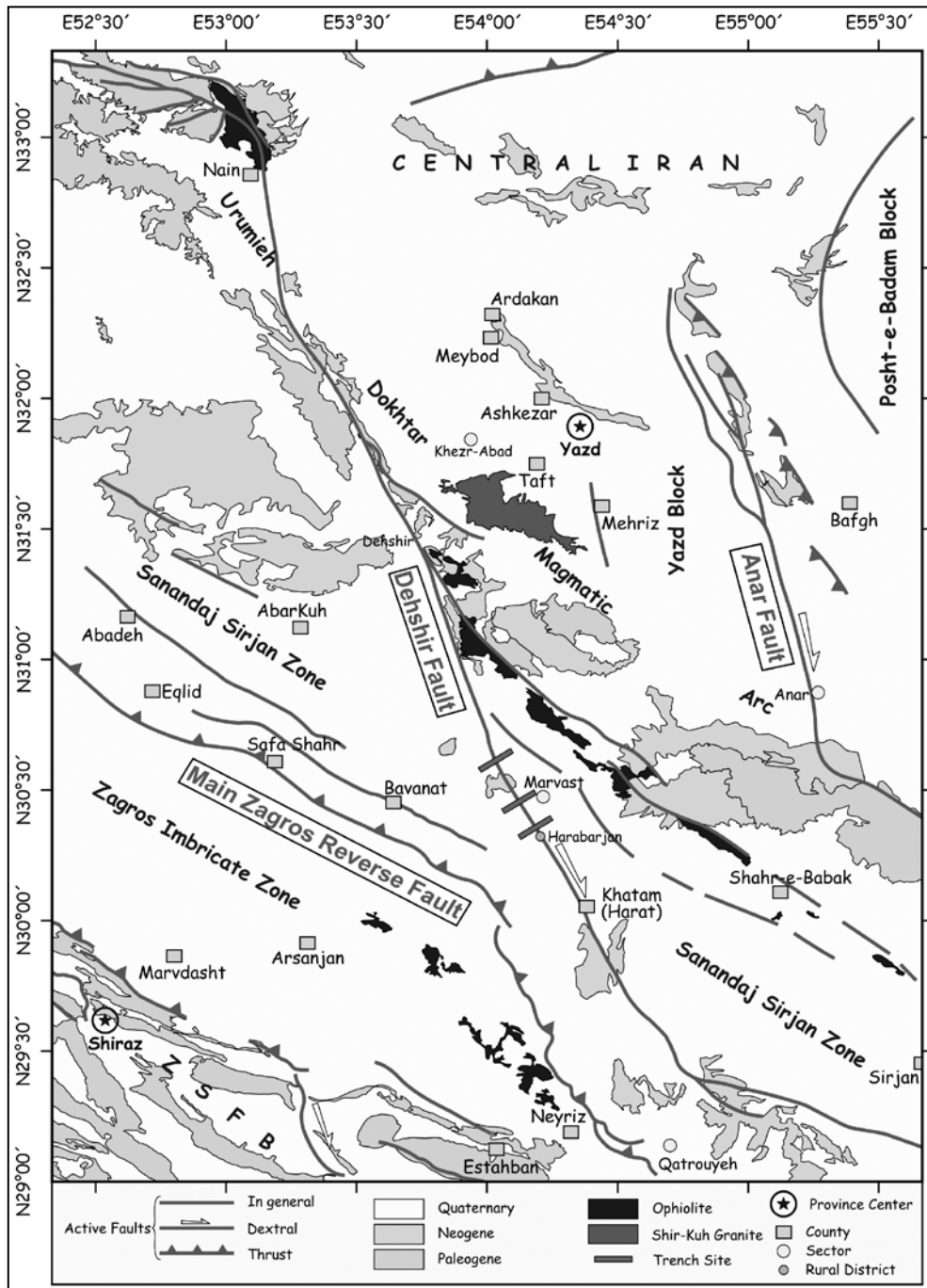
در فاصله نزدیک به ۹ کیلومتری باختر شهر مروست، رودخانه مروست با جهت جریان از باختر به سوی خاور توسط گسل دهشیر، بریده و جابه‌جا شده است (شکل‌های ۱۱-الف و ۱۱-ب). توالی چینه‌ای نشان از قرارگیری نهشته‌های کنگلومرای پلیستوسن بر روی مارن‌های پلیوسن-پلیستوسن دارد که توسط بادبزنی‌های آبرفتی پلیستوسن پایانی و هولوسن پوشیده شده‌اند. با توجه به جهت شیب صفحه گسل به سوی باختر، کج‌شدگی لایه‌های کنگلومرای پلیستوسن در حدود ۶۰ درجه به سوی باختر در نزدیکی صفحه گسل نشان از وجود مؤلفه شیب‌لغزی گسل به صورت راندگی پس از زمان نهشته‌شدن کنگلومرا دارد. این در حالی است که میزان کج‌شدگی لایه‌های کنگلومرا با افزایش فاصله از صفحه گسل رو به کاهش است، به گونه‌ای که در فاصله ۱۰ متری باختر گسل، به ۴۰ درجه می‌رسد (شکل ۱۱-ج). به دلیل وجود سازوکار راست‌بر گسل، جابه‌جایی راست‌بر رودخانه مروست در کرانه سمت راست، حفظ شده و در کرانه مخالف فرسایش یافته است (شکل ۱۱-د). اندازه‌گیری میزان جابه‌جایی و محاسبه ریک گسل مشابه با روش استفاده شده در گستره شمال مروست در این بخش نیز مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۱۱-ه). از این رو، مقدار جابه‌جایی‌های افقی و شاقولی به ترتیب در حدود ۱۳ و ۱/۵ متر و شماره ریک گسل برابر با ۷ درجه برآورد می‌شود.

### ۵- بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس ویژگی‌های رسوبی-چینه‌ای واحدهای برداشت‌شده از ترانشه شمال مروست، سه پادگانه آبرفتی اصلی A، B و C شناسایی شده است که با استفاده از نتایج سن‌سنجی تعداد ۹ نمونه به روش لومینسانس نوری (Fattahi et al., 2010; Nazari et al., 2009) و برآورد آهنگ رسوب‌گذاری (فروتن، ۱۳۸۷؛ فروتن و همکاران، ۱۳۸۸) سن پادگانه‌های A، B و C به ترتیب برابر با ۴۳، ۳۲ و ۲۲ هزار سال برآورد شده است. از سوی دیگر، با استفاده از داده‌های مدل ارتفاعی رقمی، پنج سطح اصلی و فرعی در نهشته‌های آبرفتی گستره ترانشه شمال مروست مشخص شده است. از آنجا که جایگاه شکل‌گیری نهشته‌های سطوح Q1a و Q3 در محل حفر ترانشه قرار ندارد، از این رو، سه سطح Q1b، Q2a و Q2b به ترتیب منطبق با سطوح

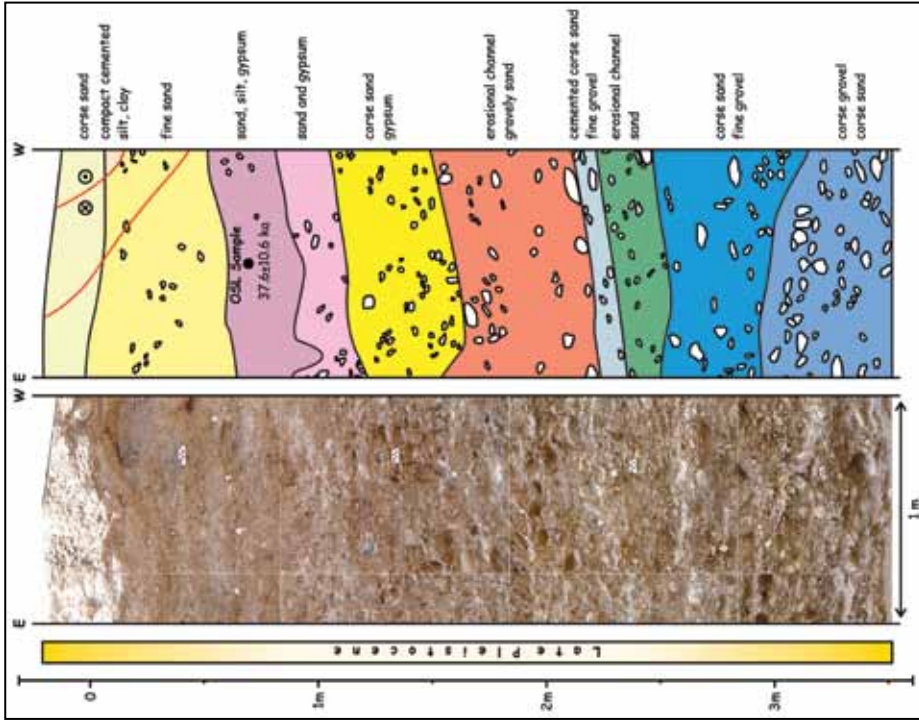
شمال مروست قدردانی می‌نمائیم. در پایان از جناب آقای دکتر شهریار سلیمانی آزاد و همچنین داوران ارجمند که بی‌گمان نکات اشاره شده از سوی ایشان سبب بهبود کیفی نوشتار پیش روی شده است، سپاسگزاری می‌شود.

انجام پذیرفته است که در اینجا از همکاری صمیمانه تمامی مسئولان و کارکنان آن پژوهشکده و سازمان سپاسگزاری می‌شود. از جناب آقایان مهندس رضا تاجیک و احمد آقاحسینی به دلیل برداشت توپوگرافی با دستگاه GPS در گستره ساختگاه

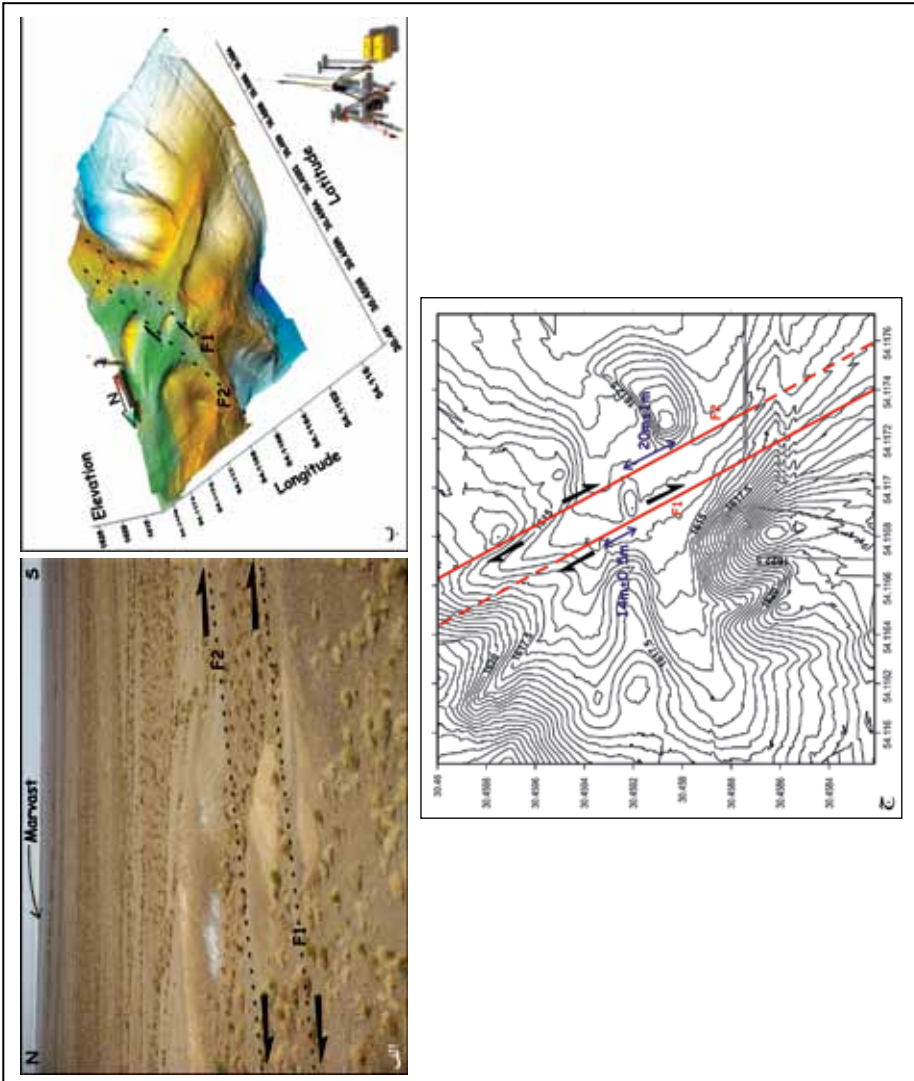


شکل ۱- پهنه‌های ساختاری و گسل‌های جنبی در گستره گسل دهشیر. گسل دهشیر در بیش از ۴۰۰ کیلومتر از درازای خود سبب بریدگی نهشته‌های کواترنری شده است. حرکت راست بر گسل دهشیر موجب جابه‌جایی زمین درز ناین- بافت در حدود ۱۵±۶۵ km (گسل‌های جنبی برگرفته از: Hessami et al., 2003; Meyer et al., 2006; Meyer and Le Dortz, 2007)

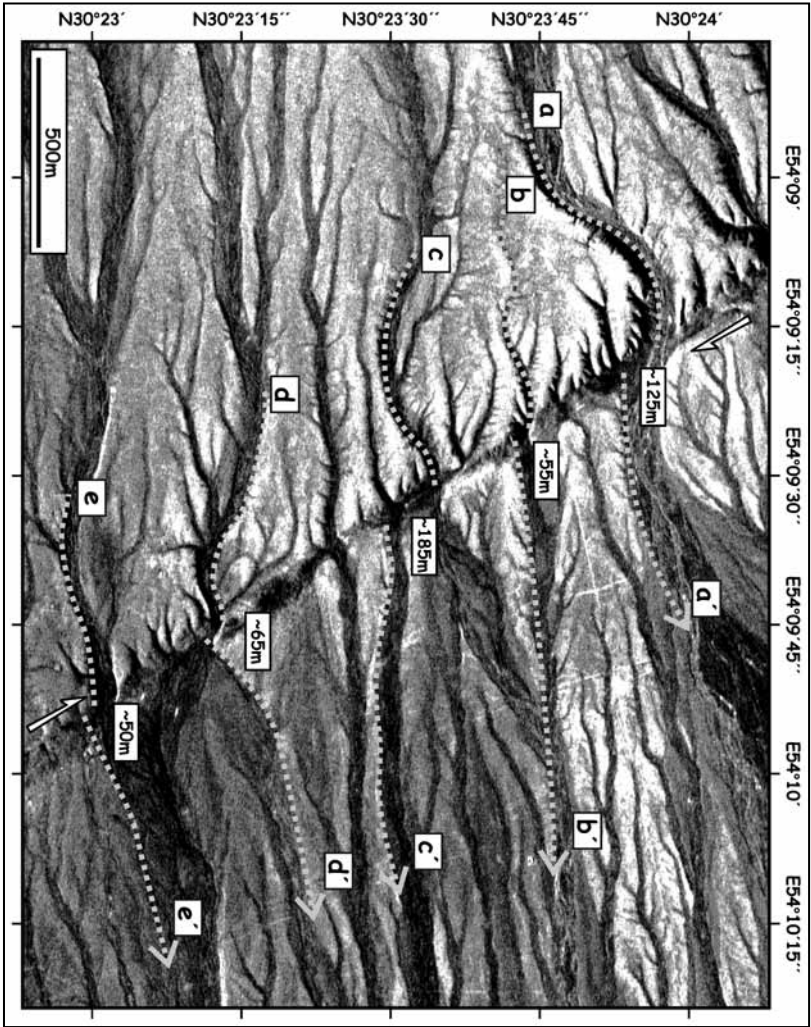




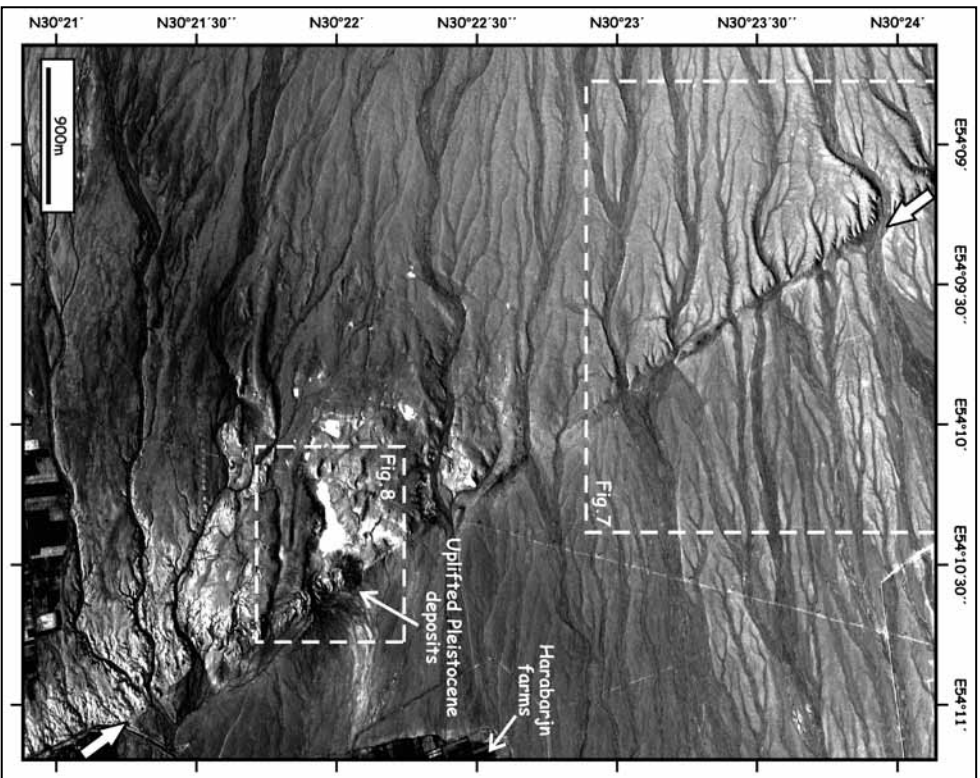
شکل ۴- توالی رسوبی - چینه‌ای نهشته‌های آبرفتی پلیستوسن پایانی در خاور گسل دهشیر. شاخه گسلی جوان‌تر از  $37.6 \pm 10.6$  ka بخش‌های بالایی رسوبات را تا سطح زمین بریده است. محل برداشت نمونه سن‌سنجی به روش لومینسانس نوری در حدود ۹۰ سانتی‌متری زیر سطح زمین (شامل رسوبات ماسه‌ای ریزدانه و سیلت) است. جایگاه این توالی، در شکل ۳ با کادر خط‌چین نمایش داده شده است.



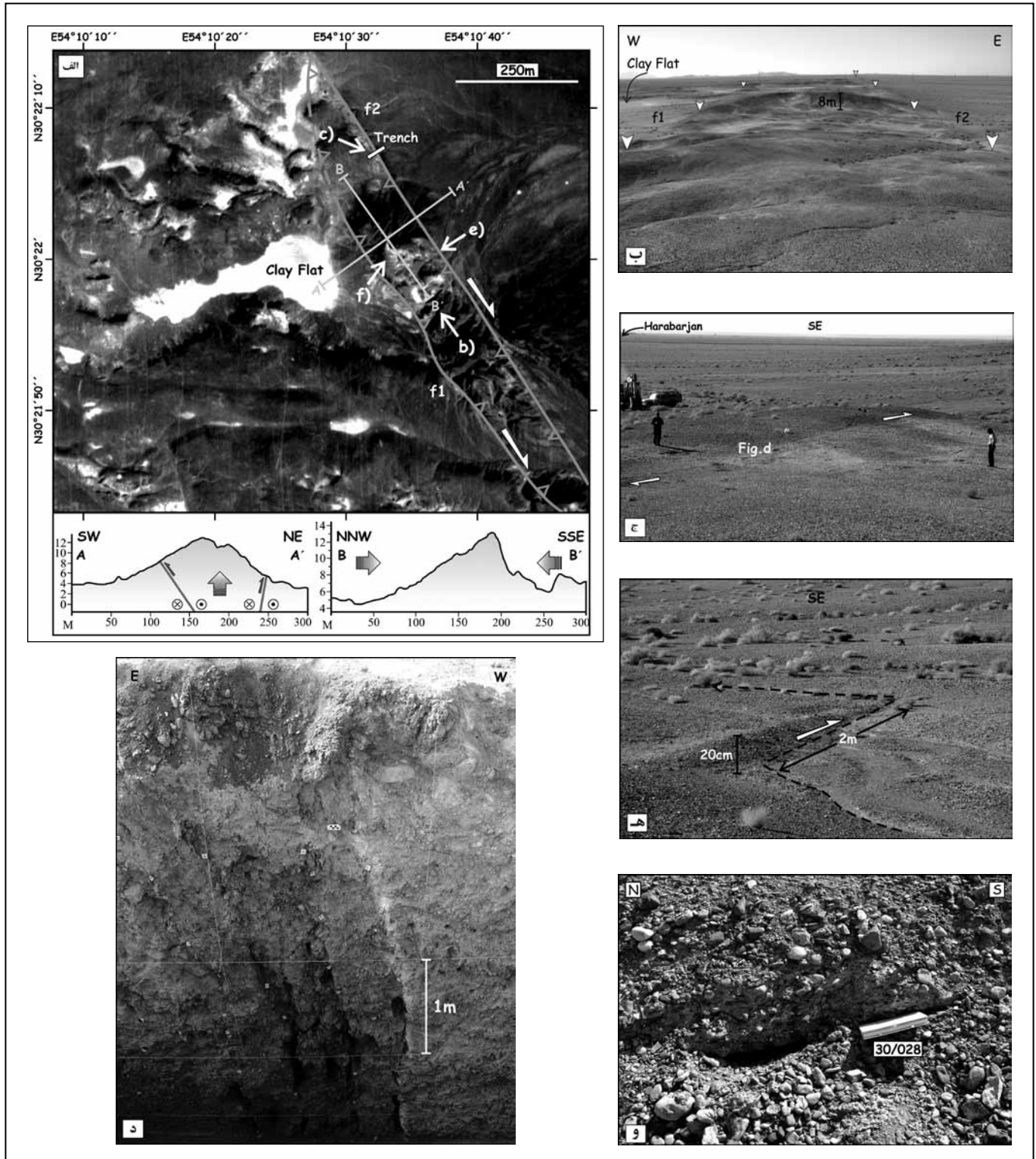
شکل ۵- الف) جابه‌جایی راست‌برشته آبرفتی، توسط دو شاخه گسلی؛ ب) مدل ارتفاعی رقمی حاصل از برداشت توپوگرافی توسط GPS Kinematics؛ ج) نقشه توپوگرافی بزرگ مقیاس حاصل از برداشت توپوگرافی توسط GPS Kinematics در گستره شکل ۴- ب. جابه‌جایی پشته آبرفتی توسط شاخه‌های گسلی F1 و F2 به ترتیب برابر با  $14 \pm 0.5$  و  $20 \pm 1$  متر است.



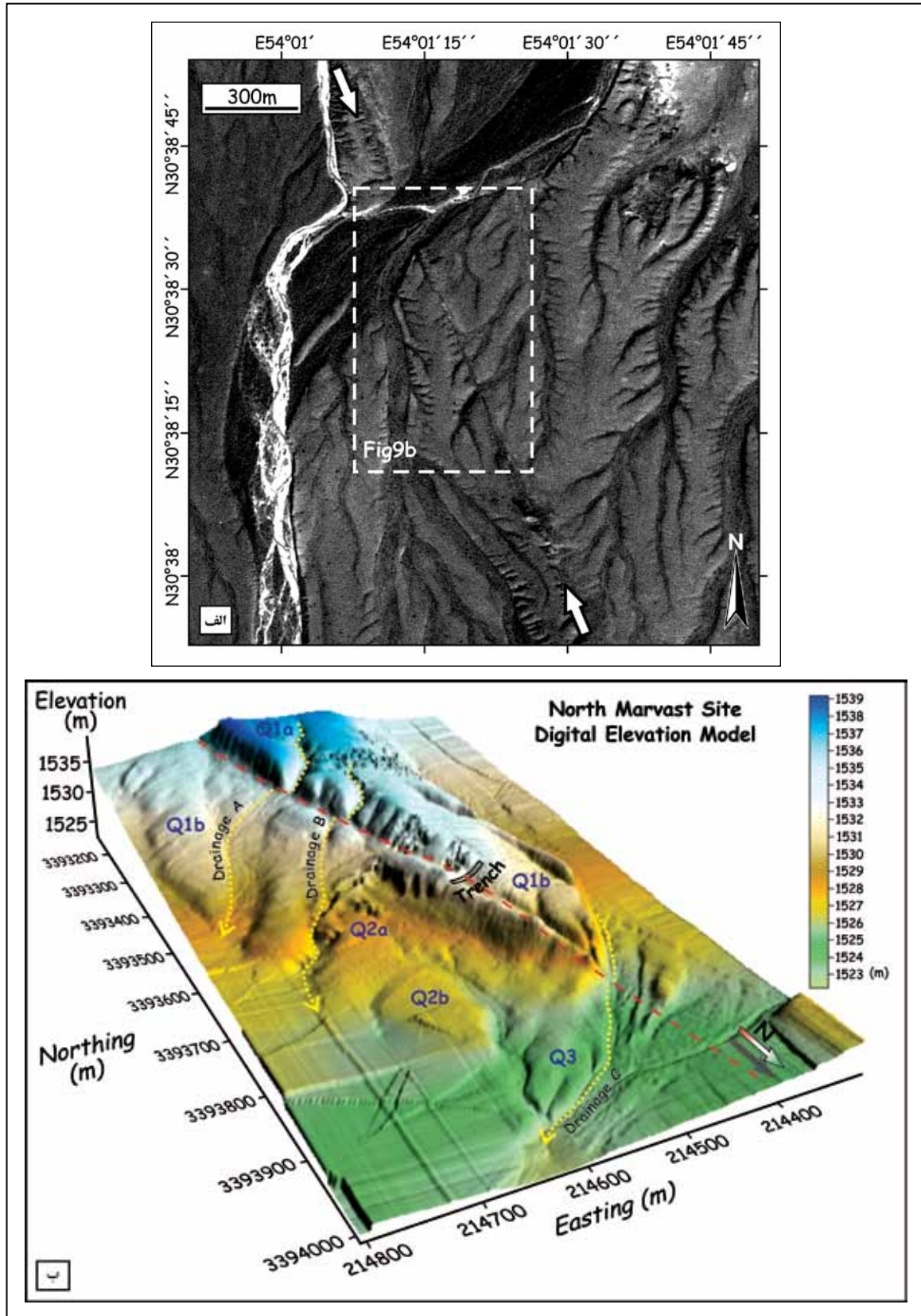
شکل ۷- تصویر ماهواره SPOT5 با قدرت تفکیک مکانی ۲/۵ متر (کادر خط سفید رنگ در شکل ۱۶) بر حسب سن شکل گیری، آبراهه‌های ۱۸۵-۵۰ متری، به صورت راست‌بر توسط گسل دهشیر جابه‌جا شده‌اند.



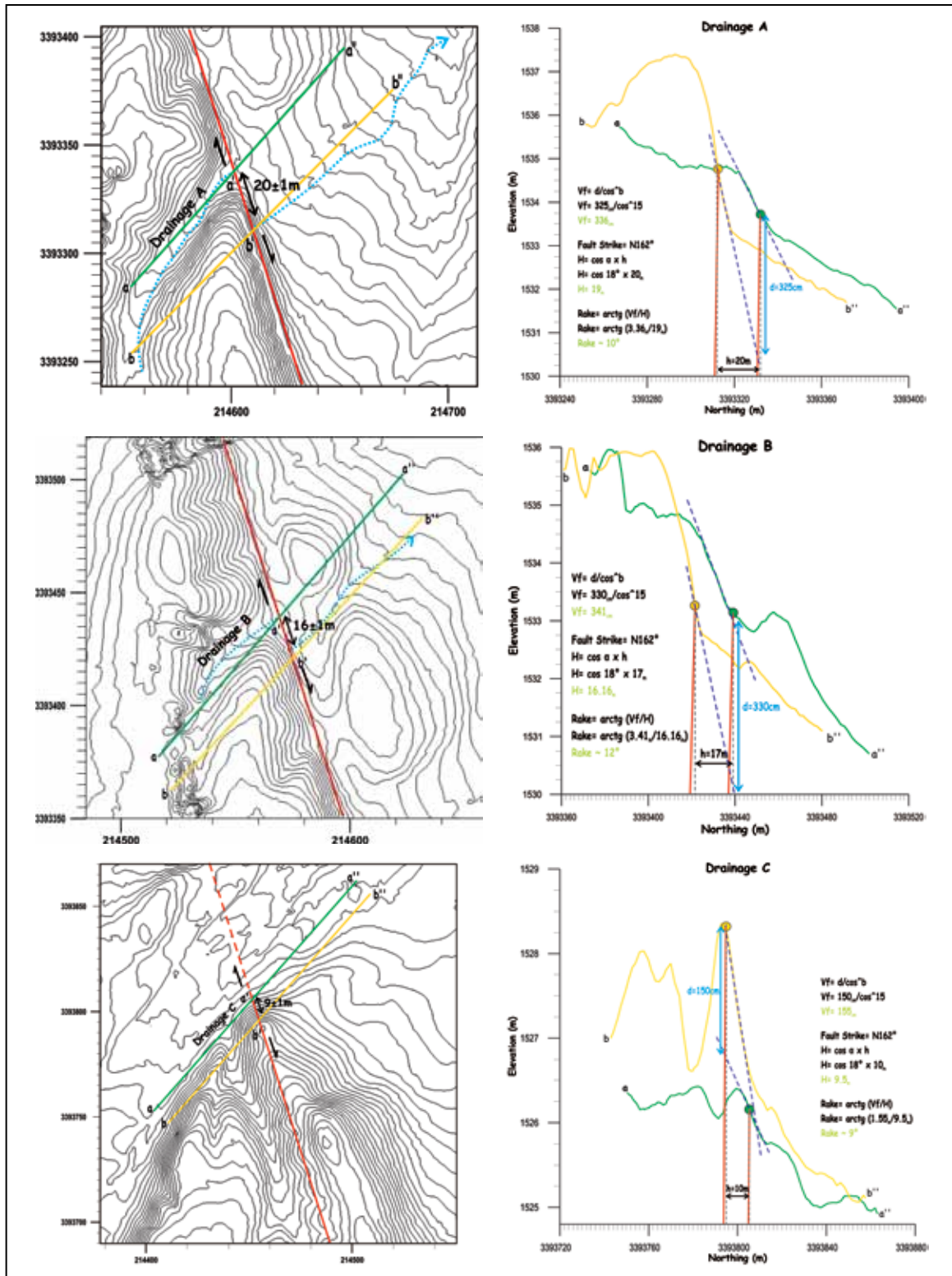
شکل ۸- تصویر ماهواره SPOT5 با قدرت تفکیک مکانی ۲/۵ متر، نشان از جابه‌جایی بادبزین‌های آبرفتی و آبراهه‌های جوان‌تر، به صورت راست‌بر توسط گسل دهشیر در شمال-باختر دهستان هرابرجان دارد. همچنین در نتیجه کارکرد مؤلفه شیب‌افزایی به صورت رانندگی دو شاخه گسلی با جهت شیب به سوی بکتیگر، پشته بالا آمده‌ای در رسوبات کنگلومرای پلیستوسن شکل گرفته است.



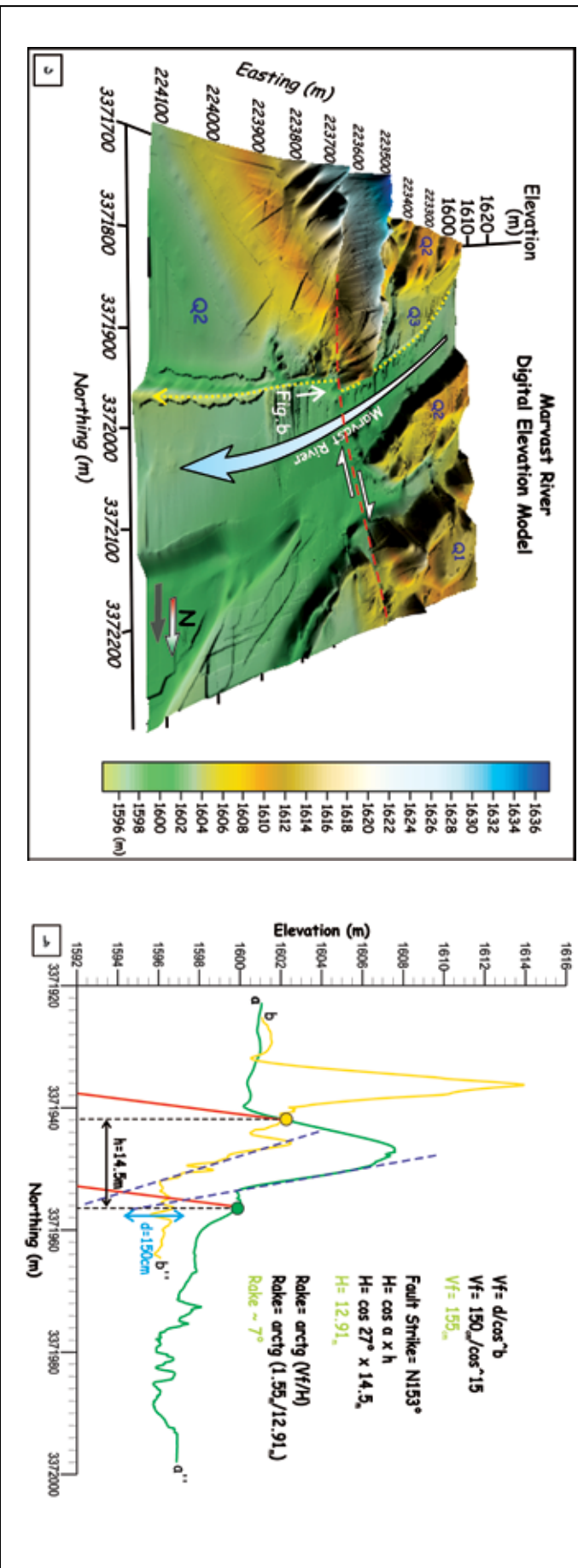
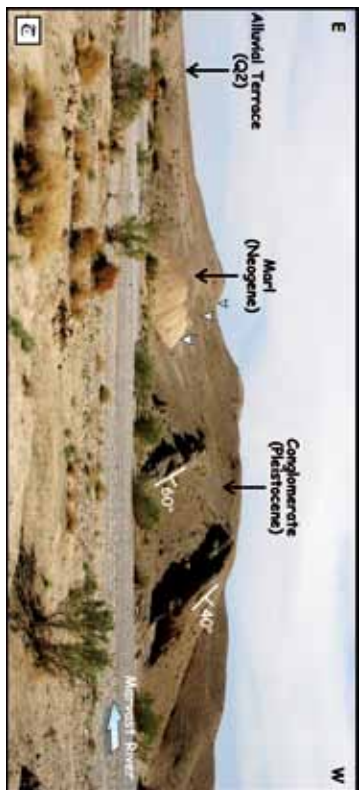
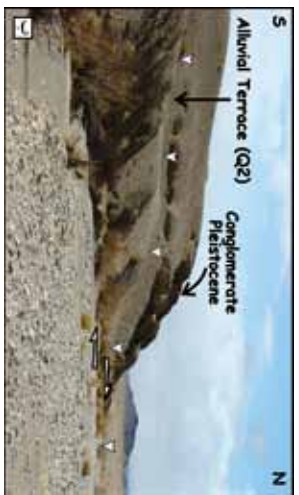
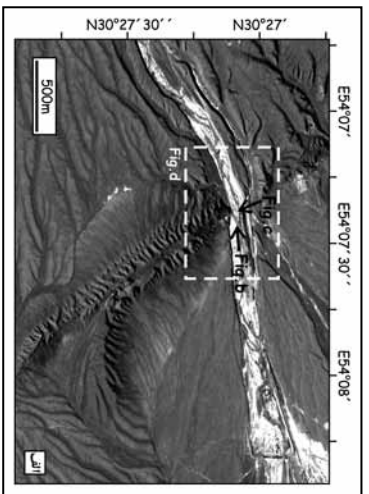
شکل ۸- الف) بالا: تصویر ماهواره SPOT5 نشان از فراخاست نهشته‌های پلیستوسن در نتیجه کارکرد مؤلفه شیب‌لغزی گسل های f1 و f2 با جهت شیب به سوی یکدیگر دارد. پایین: دو نیمرخ توپوگرافی به موازات و عمود بر راستای گسل‌ها بر اساس پیمایش GPS با دقت مکانی و ارتفاعی کمتر از ۱۰cm که بیانگر تغییرات بلندی ناشی از حرکت مؤلفه شیب‌لغزی گسل‌ها دارند. پیکان‌های صورتی در شکل‌های سمت راست و چپ به ترتیب جهت فشارش و فراخاست را نشان می‌دهند؛ ب) نمایی از اثر سطحی گسل های f1 و f2 که نهشته‌های پلیستوسن را بریده و پشته بالا آمده‌ای با بیشینه بلندی ۸ متر ایجاد کرده‌اند؛ ج) گسل f2 در همبری میان مارن‌های پلیوسن- پلیستوسن و بادبزنی پلیستوسن؛ د) صفحه‌های گسلی پرشیب با جهت شیب به سوی باختر و شکل‌گیری سنگ‌آرد گسل در پهنه اصلی گسلش در دیواره جنوبی ترانشه حفر شده در محل شکل ۸ - ج؛ ه) جابه‌جایی آبراهه کوچک به‌صورت راست‌بر توسط گسل f2 به میزان ۲ متر، در این مکان بلندی افزاز گسل حدود ۲۰cm است؛ و) کج‌شدگی کنگلومرای پلیستوسن به مقدار ۳۰ درجه به سوی شمال‌خاوری در اثر کارکرد گسل f1 با جهت شیب به سوی شمال‌خاوری.



شکل ۹- الف) گسترش پادگانه‌های آبرفتی و آبراهه‌های جابه‌جا شده توسط گسل دهشیر در گستره ترانشه شمال مروست بر روی تصویر ماهواره (SPOT5؛ ب) مدل ارتفاعی رقومی (DEM) بر اساس برداشت سطح توپوگرافی توسط GPS در گستره ترانشه شمال مروست، بیشینه اختلاف ارتفاع میان پادگانه‌های Q1 و Q2 در حدود ۱۰ متر و در حد فاصل Q2 و Q3 برابر با ۴ متر است. ترانشه شمال مروست بر روی سطح Q1b حفر شده است.



شکل ۱۰- ستون چپ: نقشه‌های توپوگرافی بزرگ مقیاس حاصل از مدل ارتفاعی رقومی و آبراهه‌های جابه‌جاشده به صورت راست بر توسط گسل دهشیر در گستره ترانشه شمال مروست؛ ستون راست: نیمرخ‌های توپوگرافی در درازای هر آبراهه در دو سوی گسل به همراه محاسبات عددی جابه‌جایی‌های شاقولی (Vf) و افقی (H) بر روی سطح گسل، شماره ریک محاسبه‌شده بر اساس هر یک از آبراهه‌ها در حدود ۱۰ درجه است. دواپر سبز و زرد رنگ، نشان‌دهنده جایگاه گسل بر روی نیمرخ توپوگرافی است. خط چین‌های بنفش به موازات نیمرخ توپوگرافی و در محل تلاقی با گسل رسم شده‌اند. d: جابه‌جایی شاقولی بر روی سطح زمین؛ زاویه b: زاویه حاده میان شیب صفحه گسل و صفحه شاقولی (شیب صفحه گسل - ۹۰)؛ زاویه  $\alpha$ : زاویه حاده بین راستای گسل و امتداد شمال جغرافیایی؛ h: جابه‌جایی افقی بر روی سطح زمین؛ H: جابه‌جایی افقی بر روی صفحه گسل؛ Vf: جابه‌جایی شاقولی بر روی صفحه گسل.



شکل ۱۱- الف) بریدگی راست بر رودخانه مروست با گسل دهشیر در فاصله ۹ کیلومتری باختر شهر مروست بر روی تصویر ماهواره SPOT5؛ ب) چپه‌جایی کرانه سمت راست رودخانه مروست به صورت راست بر (ج) مؤلفه راندگی حرکت بر روی صفحه گسل دهشیر با جهت شیب به سوی باختر سبب چپ شدنگی لایه‌های کنگلومرای پلیستوسن در حدود ۶۰ درجه به سوی باختر شده است که با فاصله از صفحه گسل میزان کج شدنگی نیز کاهش می‌یابد؛ د) مدل ارتفاعی رقمی حاصل از برداشت GPS نشان از حفظ چپه‌جایی راست بر در ساحل سمت راست رودخانه مروست و فرسایش آن در کرانه مخالف دارد. در این ساختار سه پادگاه آبرفتی Q1، Q2 و Q3 بر پایه اختلاف بلندی میان آن‌ها از یکدیگر قابل جداسازی است؛ ه) میزان چپه‌جایی‌های افقی و شاقولی بر روی سطح گسل برای کرانه سمت راست رودخانه به ترتیب در حدود ۱۳ و ۱۵ متر و ریگت گسل در حدود ۷ درجه اندازه‌گیری شده است (توصیف نشانه‌ها مانند شرح آمده در شکل ۱۰ است).

## کتابنگاری

فروتن، م.، ۱۳۸۷- پارینه لرزه شناسی و ریخت زمین ساخت گسل دهشیر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد؛ پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۵۵ صفحه.

فروتن، م.، نظری، ح.، میر، ب.، سبریر، م.، فتاحی، م.، لو دورتز، ک.، طالبیان، م.، قرشی، م. و حسامی، خ.، ۱۳۸۸- برآورد نرخ رسوب گذاری برای شناخت جنبایی لرزه‌ای گسل دهشیر در بازه زمانی پلیستوسن پایانی- هولوسن. چکیده مقالات بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین و سیزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۳۱۰ صفحه.

## References

- Allen, M., Jackson, J., and Walker, R., 2004- Late Cenozoic reorganization of the Arabia-Eurasia collision and the comparison of short-term and long-term deformation rates, *Tectonics*, **23**, TC2008, doi:10.1029/2003TC001530.
- Fattahi, M., Nazari, H., Bateman, M., Meyer, B., Sébrier, M., Talebian, M., Le Dortz, K., Foroutan, M., Ahmadi Givi, F., Ghorashi, M., 2010-Refining the OSL age of the last earthquake on the Deshir Fault, Central Iran., *Quaternary Geochronology*, doi:10.1016/j.quageo.2009.04.005.
- Hessami, Kh., Jamali, F., Tabassi, H., 2003- Major active faults of Iran, *International Institute of Earthquake Engineering and Seismology*.
- Meyer, B. and Le Doetz, K., 2007- Strike-slip kinematics in Central and Eastern Iran: Estimating fault slip-rates averaged over the Holocene, *Tectonics*, **26**, TC5009, doi:10.1029/2006TC002073.
- Meyer, B., Mouthereau, F., Lacombe, O. and Agard, P., 2006- Evidence of Quaternary activity along the Deshir fault: Implication for the Tertiary tectonics of Central Iran, *Geophys. J. Int.*, **164**, 192-201.
- Nazari, H., Fattahi, M., Meyer, B., Sébrier, M., Talebian, M., Foroutan, M., Le Dortz, K., Bateman, M.D. and Ghorashi, M., 2009- First evidence for large earthquakes on the Deshir Fault, Central Iran Plateau, *Terra Nova*, **21**, 417-426.
- Vernant, Ph., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abassi, M. R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, A., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, F. and Chery, J., 2004- Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and Northern Oman, *Geophys. J. Int.*, **157**, 381-398.
- Wells, D.L. and Coppersmith, K.J., 1994- New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **84**, 974-1002.