

فرایندهای زمین‌ساخت - رسوب‌گذاری در البرز خاوری - ارتفاعات بینالود

محسن خادمی^۱، فرزین قائمی^۲، سید کیوان حسینی^۳ و فرخ قائمی^۴

^۱ کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد؛ سرپرست کارگاه ابزار دقیق، کارگاه سد هیروی، پاوه، ایران

^۲ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۳ استادیار، مرکز تحقیقات زمین‌لرزه، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۴ مربی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۲/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۳۱

چکیده

در این پژوهش بازخورد فرایندهای زمین‌ساختی و سطحی بر یکدیگر، در ارتفاعات بینالود و دشت نیشابور مورد بررسی قرار گرفته است. برای دستیابی به این مهم از داده‌های توپوگرافی، داده‌های ثبت شده زمین‌لرزه‌ها، مربوط به مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران (مرکز مشهد) و اطلاعات به دست آمده از مشاهدات میدانی استفاده شده است. فرایندهای سطحی بر پیشروی گوه‌های زمین‌ساختی رانده شده در کمرندهای کوهزایی تأثیرگذار هستند. در مناطقی که فرایندهای زمین‌ساختی سبب تشکیل بلندی‌ها و افزایش شیب سطح زمین شده‌اند، فرایندهای سطحی سبب تعدیل ارتفاعات و مسطح کردن شیب‌ها می‌شوند و حجم زیادی از رسوبات آواری را به وجود می‌آورند که در پیشانی کمرند کوهزایی نهشته خواهند شد. این رسوبات به علت حجم و وزن زیاد به صورت مانعی از پیشروی گوه‌های رانده‌گی به سوی جلو، جلوگیری می‌کنند و سبب افزایش نرخ تجمع تنش در آنجا می‌شوند. همچنین افزایش زاویه گسل‌ها در گوه‌های کوهزایی، لغزش به روی این گسل‌ها را سخت و گاه غیر ممکن می‌سازد. تشکیل گسل‌های بیرون از توالی و رانده‌گی‌های برگشته را می‌توان نتیجه آزاد شدن چنین تنش‌های تجمع یافته‌ای در نظر گرفت. رانده‌گی شمال نیشابور یک رانده‌گی ثانویه است و به دلیل قطع کردن یال‌های چین‌ها و صفحه‌های رانده‌گی دیگر، می‌توان آن را به عنوان یک رانده‌گی بیرون از توالی در نظر گرفت. نتایج مطالعات به ما نشان می‌دهد که حجم زیاد رسوبات پالئوژن و نوژن در حوضه پیشانی رانده‌گی نیشابور مانع از پیشروی رشته کوه بینالود به عنوان گوه کوهزایی به سوی جلو (جنوب باختر) شده و رهایی نیروهای تجمع یافته حاصل از آن، گسل بیرون از توالی شمال نیشابور و رانده‌گی‌های برگشته را ایجاد کرده است.

کلیدواژه‌ها: زمین‌ساخت، رسوب‌گذاری، سازوکار برگشتی، رانده‌گی بیرون از توالی، بینالود، نیشابور.

*نویسنده مسئول: محسن خادمی

E-mail: mohsenkhademi93@gmail.com

۱- پیش‌نوشتار

با اوراسیا در نظر گرفت که توسط سامانه گسلی مشهد در حاشیه شمال خاوری، سامانه گسلی فرهادان در بخش شمال باختری و سامانه گسلی نیشابور در حاشیه جنوب باختری آن در بر گرفته شده است (Shabanian et al., 2010) (شکل ۱- الف) و با یک شکست شیپی به دشت نیشابور متصل می‌شود. رانده‌گی شمال نیشابور که در محل شکست شیپی قرار دارد، یک رانده‌گی بیرون از توالی، با صفحه گسلی S شکل (Miyakawa et al., 2010) (شیب متغیر ۶۰ تا ۸۰ درجه و در برخی جاها ۱۰ تا ۲۰ درجه به سوی شمال خاور) و روند شمال باختر- جنوب خاور، از جمله گسل‌های مهم منطقه است. وجود رانده‌گی‌های برگشته با شیب به سوی جنوب باختر و سوی حرکت به سوی شمال خاور، از ساختارهایی است که در پیرامون رانده‌گی شمال نیشابور دیده می‌شود (شکل ۵). دشت نیشابور یک حوضه پیشانی رانده‌گی است که محیط مناسبی را برای نهشته شدن رسوبات حاصل از فرسایش ارتفاعات بینالود تشکیل می‌دهد. حجم زیاد رسوبات آواری پالئوژن و نوژن در این حوضه نهشته شده است که بیشترین حجم رسوبات وارد شده به حوضه پیشانی رانده‌گی نیشابور (در جنوب باختری ارتفاعات بینالود) مربوط به نوژن است (رحیمی، ۱۳۷۱).

در این پژوهش در ابتدا به بررسی ویژگی‌های ریخت‌شناختی منطقه بینالود و دشت نیشابور پرداخته و شاخص‌های لازم برای رسیدن به مدل زمین‌ساخت- رسوب‌شناسی معرفی می‌شود. در ادامه ساختارهای گسلی پیرامون رانده‌گی شمال نیشابور و ویژگی‌های رسوب‌شناسی نهشته‌های دشت نیشابور مورد بررسی قرار می‌گیرد و در پایان همه این شواهد برای اثبات مدل زمین‌ساخت- رسوب‌شناسی در کنار هم قرار داده می‌شود. همچنین برای روشن شدن بیشتر مسئله از داده‌های لرزه‌ای ثبت شده توسط مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران- مرکز مشهد از سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ و داده‌های لرزه‌ای مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران استفاده شده است.

در سه دهه گذشته، تلاش‌هایی برای مشخص کردن تغییرات سنوزویک شمال خاور ایران صورت گرفته است (Tchalenko, 1975; AfsharHarb, 1979; Alavi, 1991). مطالعات زیادی روی رابطه میان زمین‌ساخت و رسوب‌گذاری صورت گرفته است (Hardy et al., 1998; Masek & Duncan, 1998; Avouac & Burov, 1996; Dominguez et al., 2000; Mugnier et al., 1997; Willet & Brandon, 2002; Persson et al., 2004; Hilley et al., 2004; Konstantinovskaia & Malavieille, 2005; Graveleau & Dominguez, 2008) که همه آنها نشان‌دهنده وجود یک رابطه بازخوردی میان زمین‌ساخت و رسوب‌گذاری هستند. فعالیت‌های زمین‌ساختی فشارشی سبب ایجاد ارتفاعات شده و همراه با فرایندهای سطحی پدیده‌هایی از جمله طرح فرسایش، گسترش شبکه آبریز، رشد حوضه رسوب‌گذاری و آب‌وهوای محلی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Graveleau & Dominguez, 2008). در برابر آن، فرسایش سبب جابه‌جایی و انتقال حجم زیادی از مواد در ارتفاعات شده که این فرایندها سبب تعدیل توازن دینامیکی کمرند کوهزایی و فعال‌سازی سازوکارهای برگشتی (رانده‌گی‌های بیرون از توالی و ساختارهای دوپلکسی) می‌شود (Mugnier et al., 1997; Persson et al., 2004; Konstantinovskaia & Malavieille, 2005). حجم زیاد رسوبات در جلوی کمرند کوهزایی مانع از پیشروی کمرند کوهزایی می‌شود. افزایش شیب رانده‌گی‌ها یک امر معمول در سامانه‌های رانده‌گی است و فرسایش نیز این امر را تقویت می‌کند (Hilley et al., 2004). از سوی دیگر، افزایش شیب گسل‌ها سبب کاهش نرخ لغزش روی آنها می‌شود (Konstantinovskaia & Malavieille, 2005). این پژوهش به بررسی شیوه رهایی این نیروهای تجمع یافته می‌پردازد.

بلندی‌های بینالود که جزو انتهای خاوری ناحیه زمین‌ساختی البرز در شمال خاور ایران هستند را می‌توان به عنوان یکی از بخش‌های فعال ناشی از برخورد صفحه عربی

۲- ساختارهای زمین‌ساختی و رسوبی منطقه مورد مطالعه

مطالعات سه دهه پیش در شمال خاور ایران سبب تشخیص ساختارهای مختلف و ژئودینامیک در سنوزویک شده است (رحیمی، ۱۳۷۱؛ خادمی، ۱۳۹۰؛ خادمی و همکاران، ۱۳۹۳؛ Alavi, 1991 & 1992؛ AfsharHarb, 1979؛ Tchalenko, 1975؛ Lyberis et al., 1998؛ Lyberis & Manby, 1999؛ Hollingsworth et al., 2006 & 2008؛ Shabanian et al., 2009b & 2010). گوه کوهزایی بینالود یک گوه نامتقارن با دو دامنه با جهت‌های شیبی متفاوت است. دامنه شمال خاوری دارای شیب کمتر و عرض بیشتر و دامنه جنوب باختری دارای شیب بیشتر و عرض کمتر است. این ویژگی را می‌توان در شکل ۱-الف که یک تصویر دیجیتال توپوگرافی (SRTM) از ارتفاعات بینالود است دید. از دیگر ویژگی‌های این گوه تجمع گسل‌های درون توالی در دامنه جنوب باختری است (شکل ۱-ب). گوه بینالود از ورقه‌های بسیاری تشکیل شده است که این ورقه‌ها توسط رانندگی‌های درون توالی از یکدیگر جدا شده‌اند. ولی ورقه‌های بوژان و دیزباد در جنوب باختر به وسیله رانندگی بیرون از توالی جدا شده‌اند (شکل ۱-ج). دامنه جنوب باختری دارای شیب بیشتر و تمرکز بیشتر گسل‌های درون توالی است و این امر در تفسیر زمین‌ساختی منطقه اهمیت دارد. دامنه جنوب باختری گوه کوهزایی بینالود با یک شکست شیبی به دشت نیشابور متصل می‌شود (شکل‌های ۲ و ۳-الف). باید توجه داشت که بیشترین شکست شیبی و بیشترین شیب دامنه جنوب باختری در بخش‌های مرکزی گوه کوهزایی بینالود (مقطع ۲ از شکل ۲) دیده می‌شود. حجم زیادی رسوبات از این ارتفاعات در حوضه پیشانی رانندگی بینالود به صورت مخروط‌افکنه‌های ستیژی که تا عهد حاضر نیز رسوب‌گذاری در آنها ادامه دارد، نهشته شده است (شکل ۳-ب). این امر نشان‌دهنده این است که بیشترین تأثیر متقابل میان زمین‌ساخت و رسوب‌گذاری در بخش‌های مرکزی رخ داده و به همین دلیل مطالعات متمرکز به این منطقه شده است. از نکته‌های قابل تأمل در این منطقه، وجود رانندگی بیرون از توالی شمال نیشابور در محل شکست شیبی است (شکل ۳-الف). از جمله ویژگی‌های رانندگی‌های بیرون از توالی می‌توان به قطع هر دو یال چین خوردگی‌های اولیه و خطوط اتصال پیچیده (complex link line) (Moreley, 1988) اشاره کرد. رانندگی شمال نیشابور در نزدیکی شهر درود هر دو یال یک چین خوابیده مایل (تک شیب) را قطع کرده است (شکل ۴-ب). لایه‌های برگشته یال جنوبی را می‌توان از روی وجود فلوت‌کست‌هایی که در سطح بالایی لایه‌ها دیده می‌شود تشخیص داد (شکل ۴-ب). از دیگر ویژگی‌هایی نشان‌دهنده بیرون از توالی بودن رانندگی شمال نیشابور این است که در پیرامون روستای چناران، رانندگی‌های درون توالی را قطع کرده است (شکل ۴-ت). این رانندگی همچنین سبب قطع صفحه‌های دیزباد و بوژان در طول امتداد خود شده است (شکل ۱-ب).

از دیگر ویژگی‌های این منطقه می‌توان رانندگی‌های برگشته را نام برد. این رانندگی‌ها دارای شیبی به سوی جنوب باختر هستند و سوی حرکت در آنها به سوی شمال خاور است. از این نوع رانندگی‌های برگشته را می‌توان در پیرامون روستای چناران و شهر خرو دید (شکل ۵). رانندگی‌های برگشته پیرامون روستای چناران، رسوبات پالئوزویک را روی رسوبات سنوزویک رانده است. بر پایه نقشه‌های زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه مورد مطالعه (قائمی و همکاران، ۱۳۷۸ و پورلطیفی، ۱۳۷۶) حجم زیاد رسوبات در جلوی گوه کوهزایی بینالود، از اوایل پالئوژن شروع به نهشته شدن کرده است. ستبرای این رسوبات از پالئوسن تا میوسن پسین به ۱۰۵۰ تا ۱۹۵۰ متر می‌رسد (قائمی و همکاران، ۱۳۷۸ و پورلطیفی، ۱۳۷۶). این رسوبات نیز به نوبه خود دچار چین خوردگی، گسلش و بالاآمدگی شده‌اند (شکل ۶) و ناپیوستگی‌هایی که میان توالی‌های رسوبی وجود دارد دلیلی بر این مدعا و نشان‌دهنده دوره‌های فعالیت زمین‌ساختی گوه کوهزایی بینالود است (شکل ۶-د). چین‌هایی که در کمربند چین‌خورده- رانندگی دیده می‌شود را می‌توان مرتبط با رانندگی‌های

موجود در پوسته دانست (Davis, 1983; Namson & Davis, 1988; Stein & King, 1984; Yeats, 1986; Stein & Yeats, 1989; Medwedeff, 1992; Gurrola & Keller, 1997) و بنابراین بروز برخی از زمین‌لرزه‌های رخ داده در این منطقه را شاید بتوان به فعالیت این گونه گسل‌ها نسبت داد. زمین‌لرزه‌های رخ داده در بخش‌های مرکزی ارتفاعات بینالود را می‌توان به دو ناحیه ۱ و ۲ بخش‌بندی کرد (شکل ۷). برای رسیدن به نتیجه بهتر برای ناحیه‌بندی از زمین‌لرزه‌های با بزرگی بیشتر از ۲ Mw استفاده شده است.

زمین‌لرزه‌های رخ داده در ناحیه ۱ در محدوده گسل رانندگی شمال نیشابور رخ داده است (به این معنی نیست که این زمین‌لرزه‌ها بر اثر فعالیت رانندگی شمال نیشابور به وجود آمده‌اند) ولی زمین‌لرزه‌های ناحیه ۲ در محدوده دشت نیشابور رخ داده‌اند و می‌توان این زمین‌لرزه‌ها را در ارتباط با گسل‌ها و چین خوردگی‌های این منطقه دانست. این ناحیه‌بندی خود نشان‌دهنده محدوده‌هایی است که انرژی‌های تجمع یافته بیشتر در این دو ناحیه تخلیه می‌شود. از ژرفای زمین‌لرزه‌های رخ داده در این منطقه می‌توان دریافت که سطح دکلمان در ژرفای ۱۸ تا ۲۰ کیلومتری قرار دارد. بر پایه مشاهدات میدانی و همچنین اطلاعات موجود در نقشه‌های زمین‌شناسی و مطالعات رحیمی (۱۳۷۱) این نتیجه به دست می‌آید که رسوبات سنوزویک نهشته شده در حوضه پیشانی رانندگی نیشابور شامل ۳ بخش اساسی هستند:

۱) رسوبات آواری- قاره‌ای پالئوسن (کنگولمر، ماسه‌سنگ و شیل)؛ ۲) رسوبات بیشتر دریایی (دریایی کم‌ژرفا) انوسن؛ ۳) رسوبات آواری- قاره‌ای الیگوسن و نوژن. از جمله ویژگی‌های این گوه می‌توان برای کنگولمرهای منطقه بیان کرد، نداشتن جورشدگی، گردشدگی کم، وجود ماتریکس (Matrix) رسی در میان ذرات دانه‌درشت کنگولمرها، رنگ سرخ رسوبات و نبود فسیل است.

رسوبات سنوزویک در نزدیکی رانندگی شمال نیشابور دارای توالی کنگولمرها- ماسه-سیلت و شیل هستند ولی این توالی با فاصله گرفتن از رانندگی شمال نیشابور به ماسه-سیلت و شیل تبدیل می‌شود (شکل ۸) و این نشان‌دهنده توالی مخروط افکنه‌ای است. از جمله نکات قابل توجه در این رسوبات سرعت زیاد رسوب‌گذاری در زمان میوسن بوده که مانع از هوازگی قطعات رسوبی شده است (بلوکی، ۱۳۹۰).

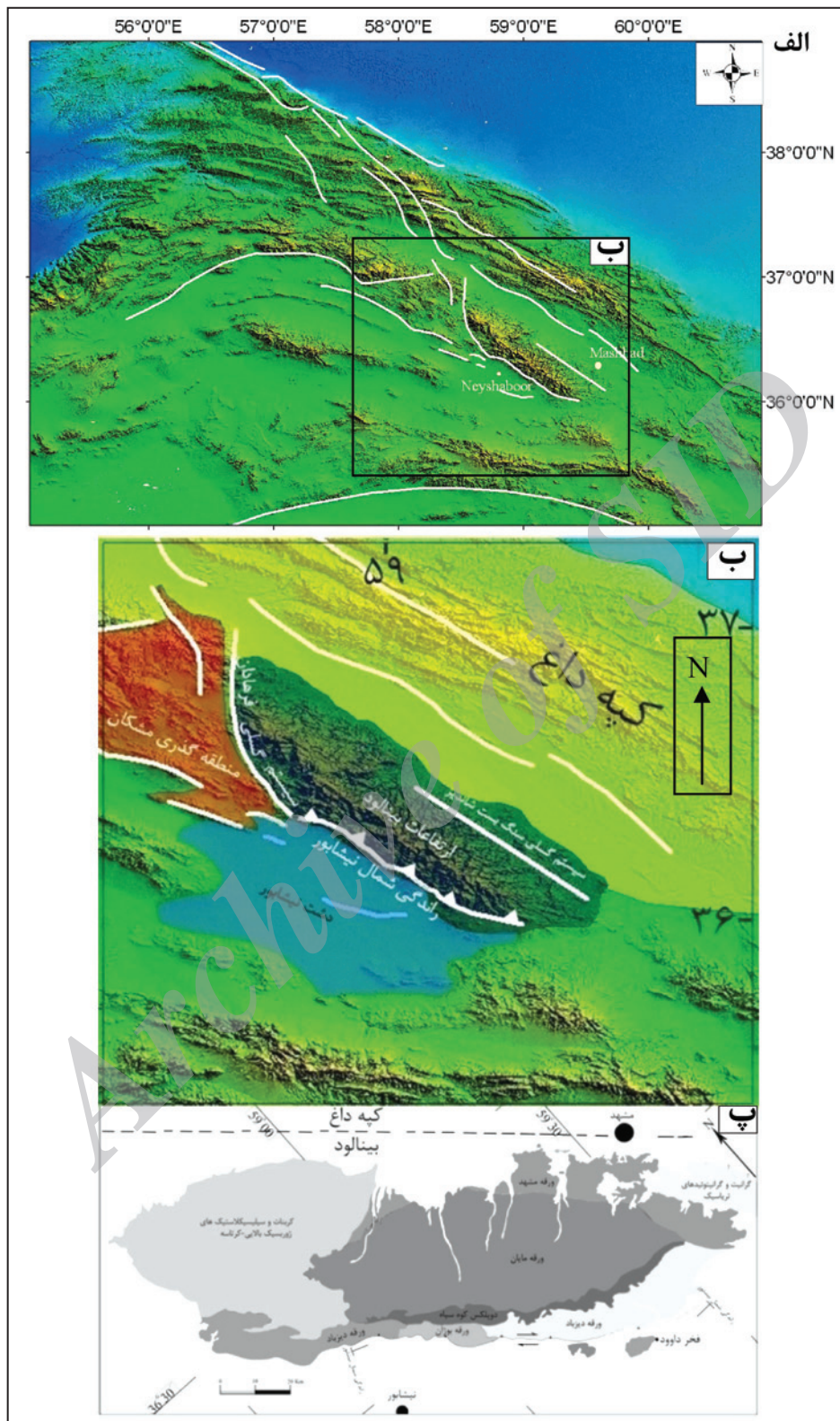
۳- رابطه میان زمین‌ساخت و رسوب‌گذاری

نتایج حاصل از مدل‌سازی‌های عددی (Konstantinovskaia & Malavieille, 2005؛ Miyakawa et al., 2010) و مدل‌سازی‌های تجربی (Lohrmann et al., 2003)، نشان می‌دهد که گسل‌هایی که در ابتدا در بخش جلویی گوه کوهزایی به وجود می‌آیند شیب کمی دارند و با پیشروی گوه به سوی جلو، شیب آنها افزایش می‌یابد، می‌چرخند و در پایان به رانندگی‌های برگشته تبدیل می‌شوند (شکل ۹). در نتیجه تشکیل گسل جدید در حوضه پیشانی رانندگی، پهنای کمربند کوهزایی افزایش و از این راه، تنش وارد شده بر آن کاهش می‌یابد و در برابر آن، تغییر شکل‌های درونی با افزایش شیب سبب افزایش ستبرای کمربند کوهزایی می‌شود. (Miyakawa et al., 2010) نشان می‌دهند که در نتیجه تنش وارد شده در مراحل آخر پیشروی گوه، بیشترین کوتاه‌شدگی، به وسیله تغییر شکل‌های درونی اعمال می‌شود و تنش کمتری توسط تشکیل گسل‌های جدید در حوضه پیشانی رانندگی رهایی می‌یابد. در این زمان بیشتر حرکت در بخش‌های هینترلندی به صورت قائم بوده و این در حالی است که بیشتر حرکت در بخش‌های فورلندی به صورت افقی است (شکل ۹). همچنین در مدل‌هایی که سطح دکلمان آنها سخت‌تر است نسبت به مدل‌هایی که سطح دکلمان نرمی دارند، تغییر شکل‌های درونی بیشتر است؛ این در حالی است که تنش وارد شده بر هر دو مدل یکسان است و تغییر شکل‌های درونی در

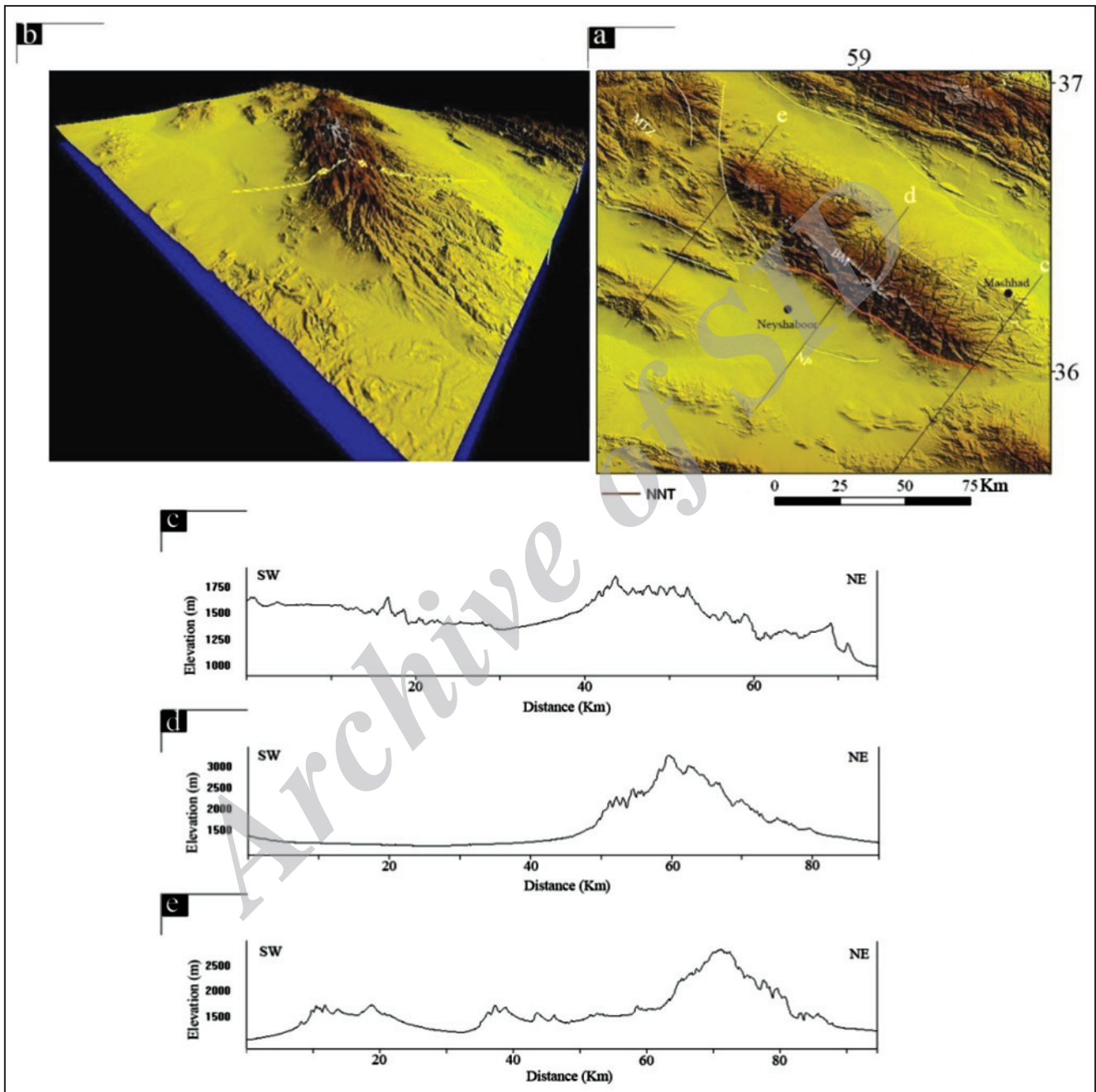
۴- نتیجه گیری

راندگی شمال نیشابور به دلیل قطع و جابه‌جایی فرازمین‌ها (هورست‌ها)، راندگی‌های درون توالی و قطع هر دو یال چین‌ها، یک راندگی بیرون از توالی است. رژیم زمین‌ساختی آلپی از اواخر کرتاسه شروع شده است و تا عهد حاضر نیز ادامه دارد و سبب تشکیل راندگی‌هایی با سوی حرکت به سوی جنوب باختر و چین خوردگی‌های مرتبط با راندگی می‌شود. در طی این دوره، صفحه‌های مشهد، مایان، دوپلکس کوه سیاه و دیزباد به وجود آمده و به سوی حوضه پیشانی راندگی حرکت کرده‌اند. از اواخر کرتاسه با شروع دوباره فشارش ناشی از برخورد میان صفحه عربی و صفحه ایران، تشکیل راندگی‌ها در شمال خاور ادامه یافته و صفحه بوژان نیز تشکیل می‌شود و در نتیجه افزایش شیب گوه میزان فرسایش نیز افزایش یافته است. با افزایش فرسایش، شیب گسل‌ها افزایش می‌یابد و یک گوه باریک به وجود می‌آید. باریک شدن گسل‌ها سبب می‌شود تا تغییر شکل در یک منطقه باریک متمرکز شود و این سبب شدیدتر شدن تغییر شکل‌ها و افزایش سرعت چرخش گسل‌ها می‌شود. چرخش گسل‌ها سبب بالاآمدگی بیشتر منطقه و افزایش انتقال حجم رسوبات به حوضه پیشانی راندگی می‌شود. رسوب‌گذاری در جلوی گوه سبب افزایش شیب دکلمان کف و سبب شدن گوه می‌شود (افزایش شیب گوه). با افزایش شیب گسل‌ها، این گسل‌ها برای دوباره فعال شدن نامناسب می‌شوند و تنش لازم برای فعالیت دوباره گسل‌ها افزایش می‌یابد. بنابراین نتایج این مطالعه نشان‌دهنده تأثیر دو عامل مهم در تجمع تنش در گوه کوهزایی بینالود است که عبارتند از: ۱) چرخش گسل‌ها در هنگام پیشروی گوه کوهزایی؛ ۲) حجم بالای رسوبات در حوضه پیشانی راندگی بینالود. تجمع نیروهای مؤثر وارد شده بر گوه سبب تغییراتی مانند پیشرفت چین خوردگی، گسلش، زمین‌لرزه و بالاآمدگی دشت در منطقه نیشابور می‌شود. بنابراین برگشته شدن گسل‌های اولیه و بریده شدن واحدهای راندگی اولیه توسط ایجاد گسل‌های بیرون از توالی ثانویه را می‌توان حاصل تمرکز نیروها معرفی کرد.

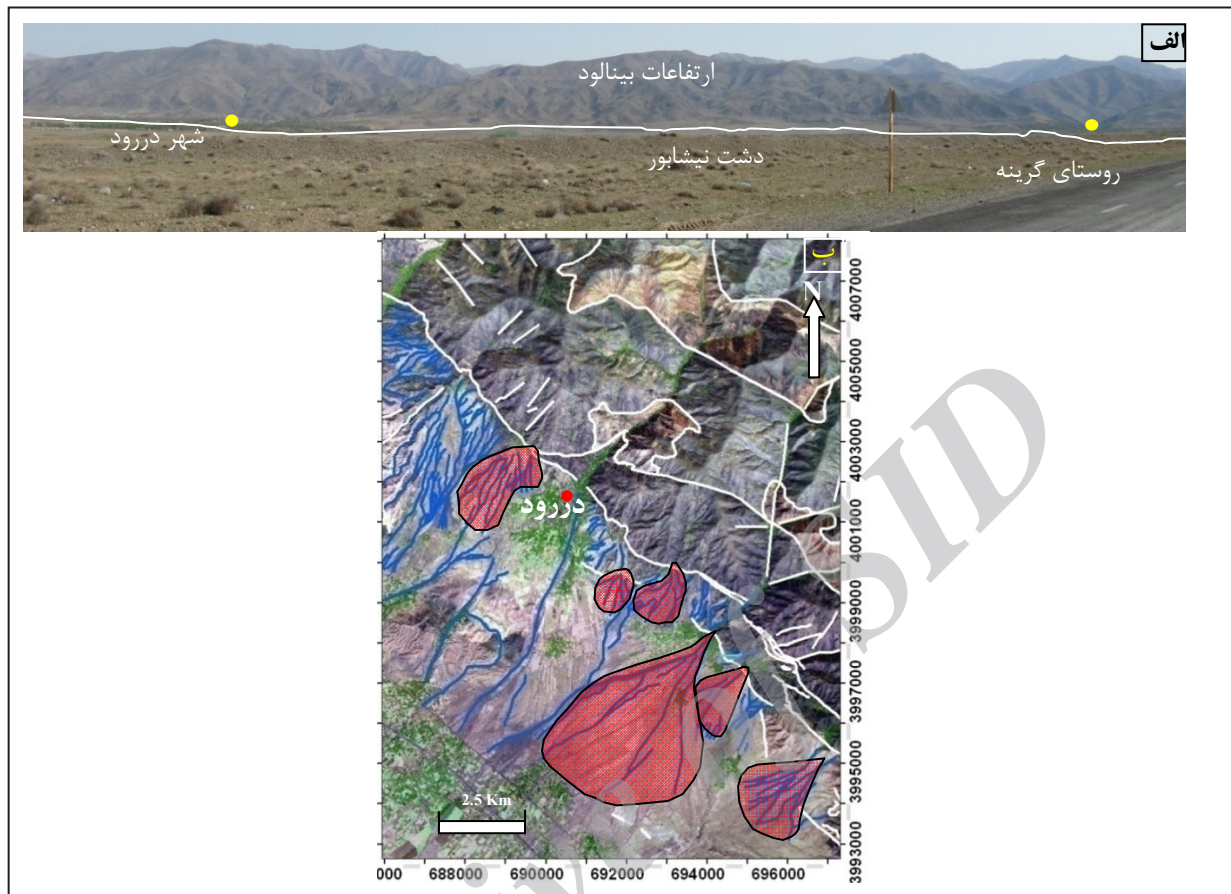
کمرندهای کوهزایی با سطح دکلمان سخت سبب افزایش بیشتر شیب آنها نسبت به کمرندهای کوهزایی با سطح دکلمان نرم می‌شود. با پیشروی گوه به سوی جلو، شیب گوه افزایش می‌یابد و افزایش شیب سبب افزایش فرسایش می‌شود. افزایش فرسایش در نتیجه افزایش شیب گسل‌ها، یک گوه باریک را به وجود می‌آورد (Hilley et al., 2004). فرسایش سبب حذف و جابه‌جایی مواد از گوه کوهزایی، تغییر در تعادل میان شیب و تغییر شکل‌ها، گسترش تغییر شکل‌ها درون کمر بند کوهزایی (Dahlen & Suppe, 1988; Dahlen & Barr, 1989)، تغییر شکل دوباره گوه و تشکیل راندگی‌های برگشته بزرگ و مهم در طول گوه خواهد شد (Mugnier et al., 1997). بر پایه نقشه مغناطیس ژئوفیزیک هوایی (۱:۲۵۰۰۰۰ برگه مشهد، Yousefi & Friedberg, 1978) پی‌سنگ در دشت نیشابور به صورت یک ناوشکل و پی‌سنگ در ارتفاعات بینالود به صورت یک ناق‌شکل نمایش داده شده است (تغییر ژرفای پی‌سنگی در محل راندگی شمال نیشابور رخ می‌دهد). دشت نیشابور می‌تواند به دو دلیل ناوشکل شده باشد (DeCelles & Gelest, 1996): ۱) فرونشست ناشی از بارگذاری رسوبات. هر دو این فرونشست‌ها سبب می‌شود تا حوضه پیشانی راندگی به صورت یک فروافتادگی در جلوی گوه کوهزایی به وجود آید. این فرایندها سبب می‌شود که رسوبات زیادی در حوضه پیشانی راندگی ته‌نشست یابد. با افزایش شیب گسل‌ها، این گسل‌ها برای دوباره فعال شدن نامناسب می‌شوند (Lohrmann et al., 2003; Konstantinovskaia & Malavieille, 2005); ۲) تنش لازم برای فعالیت دوباره گسل‌ها (Miyakawa et al., 2010) (شکل ۹) و تنش سبب تجمع تنش در دنباله گوه می‌شود (زیرا این چرخش در گسل‌ها و نامناسب شدن آنها برای حرکت در بخش دنباله گوه رخ می‌افتد). تنش افزایش یافته در بخش دنباله گوه می‌تواند به دو صورت آزاد شود (Lohrmann et al., 2003).



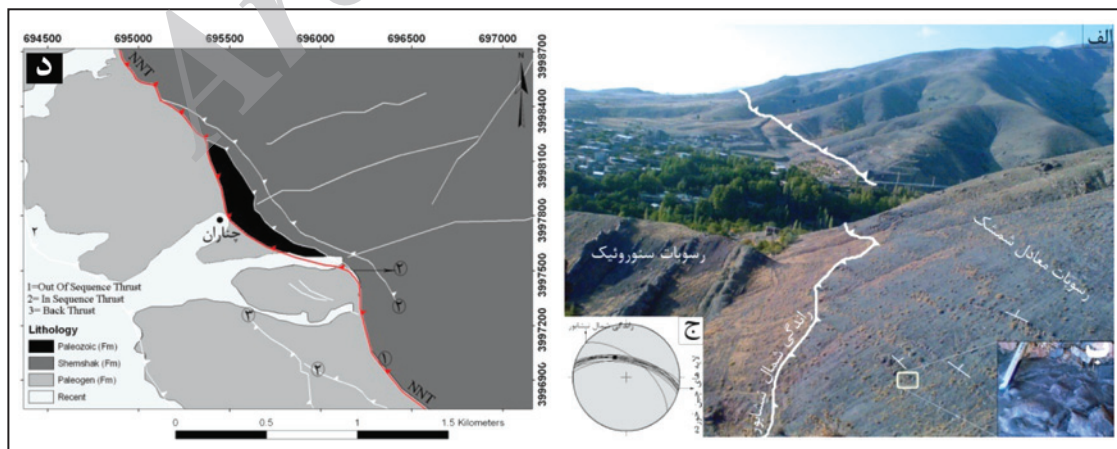
شکل ۱- الف) تصویر سایه داده شده SRTM از شمال خاور ایران؛ ب) تصویر سایه داده شده SRTM که واحدهای مختلف زمین‌ساختی و گسل‌های فعال شمال خاور ایران و همچنین محدوده دشت نیشابور به روی آن نشان داده شده است. سامانه گسلی سنگ بست شاندیز در شمال خاور، سامانه گسلی فرهادان در باختر و سامانه گسلی شمال نیشابور در جنوب باختر (راندگی شمال نیشابور جزئی از سامانه گسلی گسل شمال نیشابور است)؛ پ) نقشه ورقه‌های مختلف زمین‌ساختی موجود در ارتفاعات بینالود. این ورقه‌ها توسط راندگی‌های درون توالی از یکدیگر جدا شده‌اند. ولی ورقه‌های بوژان و دیزباد در جنوب باختر به وسیله راندگی خارج از توالی جدا شده‌اند.



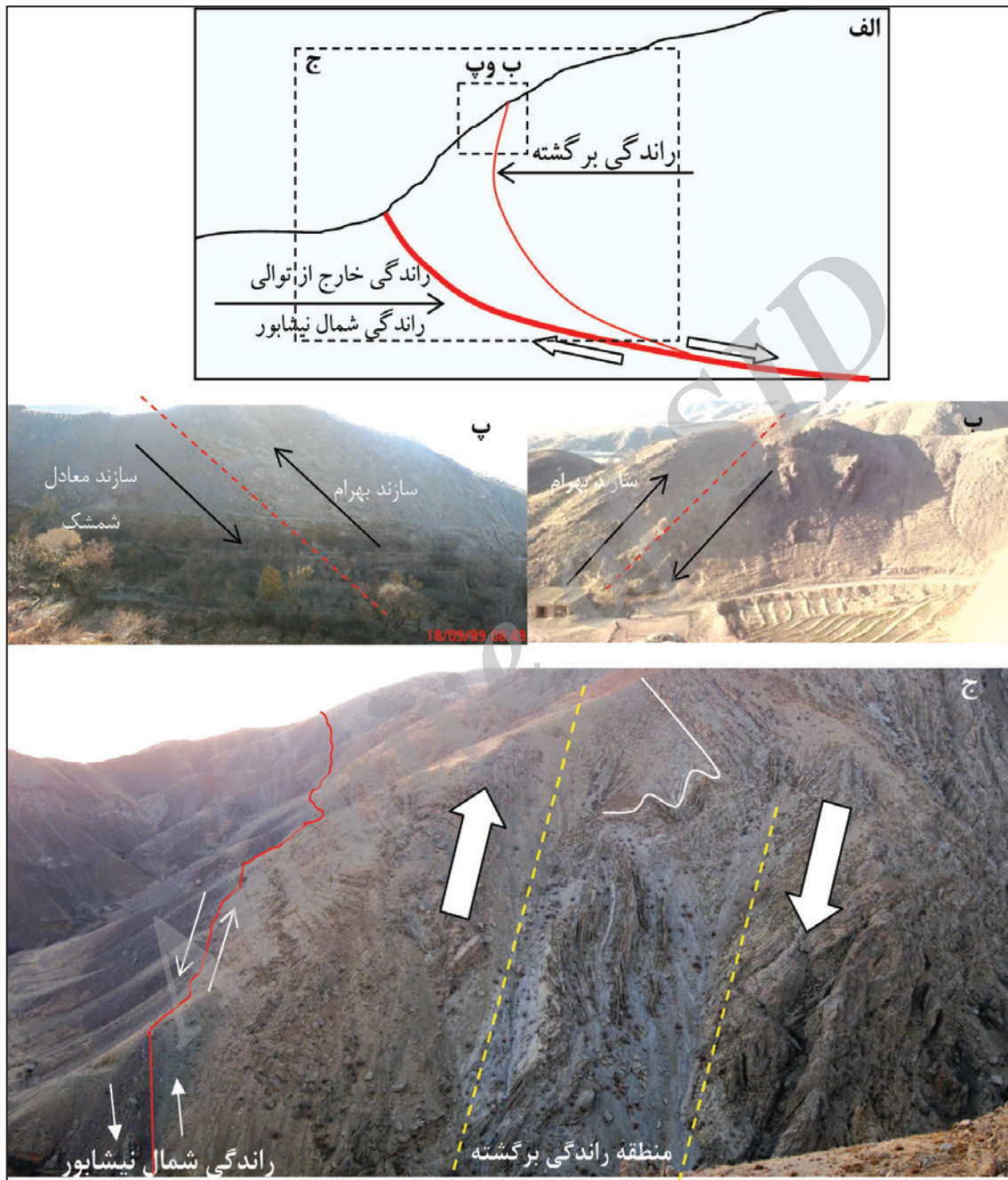
شکل ۲- (a) تصویر ارتفاعات SRTM بینالود؛ (b) تصویر سه‌بعدی از ارتفاعات بینالود. خطوط تیره نشان‌دهنده مسیرهای مقاطع توپوگرافی است (c، d و e). در مقاطع توپوگرافی b، شکست شیئی آشکاری در دامنه جنوب باختری ارتفاعات بینالود در محل خط گسلی شمال نیشابور دید می‌شود. خط سرخ نشان‌دهنده راندگی شمال نیشابور است.



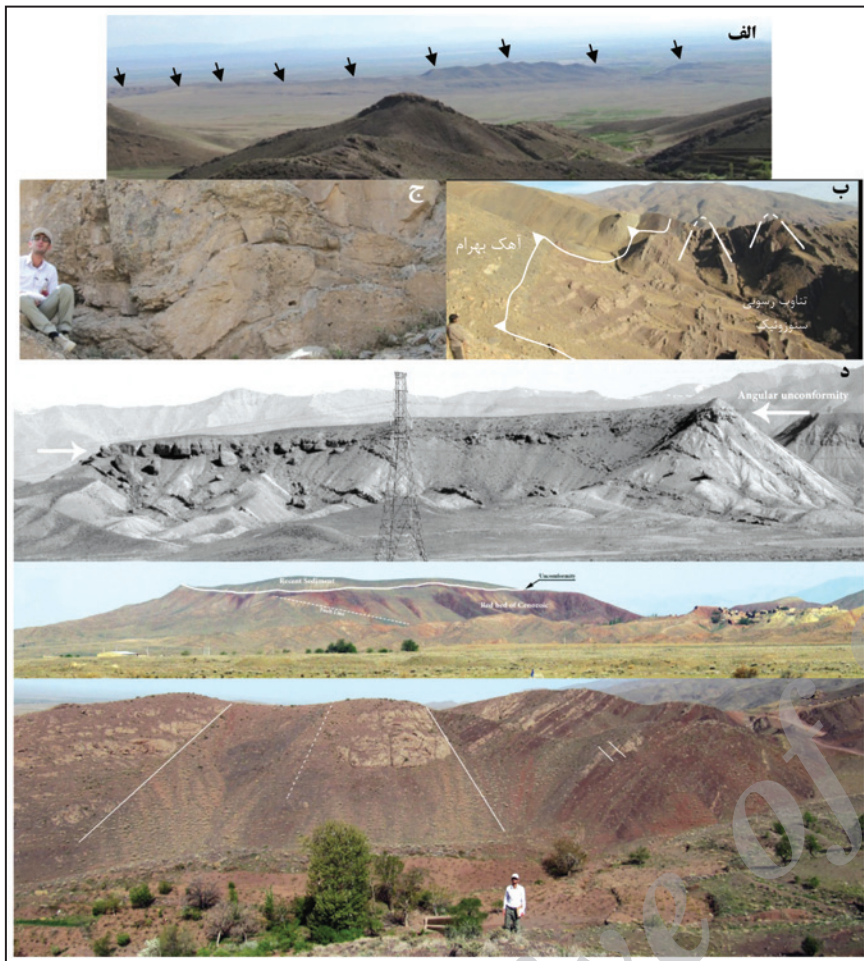
شکل ۳- الف) راندگی شمال نیشابور در محل شکست شیبی که با خط سفید مشخص شده است و مخروط افکنه‌های مرتبط، در حد فاصل کوهستان و دشت. محدوده میان روستای گرینه و شهر دررود. دید به سوی شمال خاور؛ ب) تصویر ماهواره‌ای از وضعیت مخروط افکنه‌ها در پیشانی فعال، در پیرامون شهر دررود.



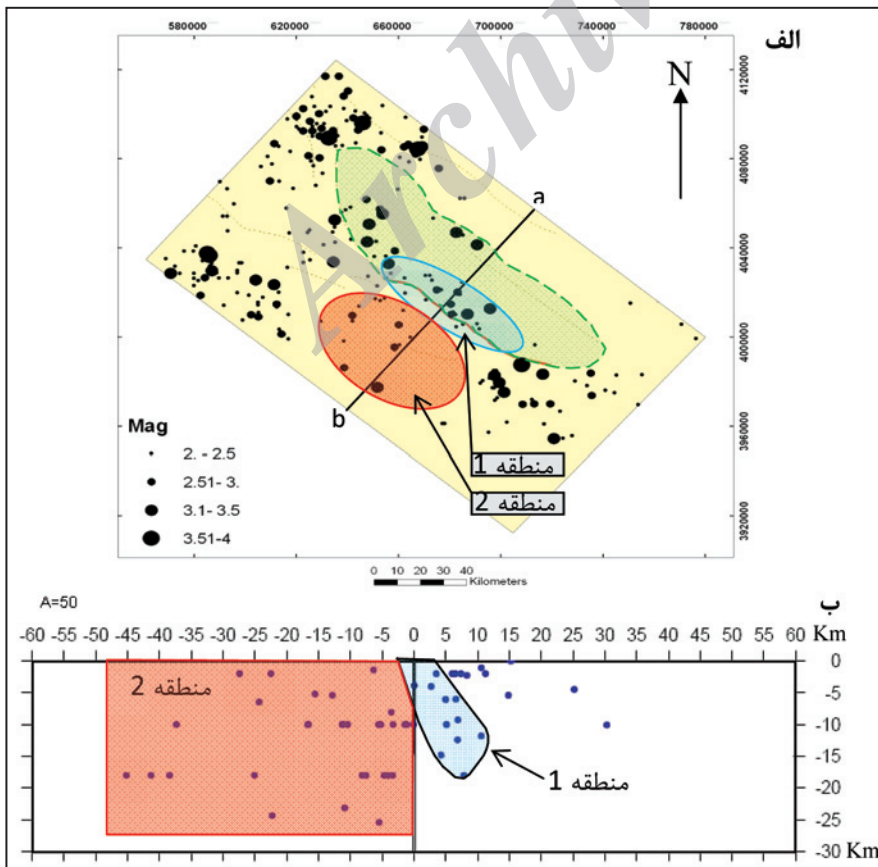
شکل ۴- راندگی بیرون از توالی شمال نیشابور. الف) راندگی شمال نیشابور در شمال شهر دررود. رسوبات سنوزویک در بخش فرودپاره و رسوبات معادل شمشک در فرادپاره. دید به سوی شمال باختر؛ ب) فلوت کست‌های موجود در بخش بالایی لایه برگشته یال جنوب باختری؛ ج) تصویر پایین استریونت لایه‌های چین خورده رسوبات معادل شمشک به همراه محور چین خوردگی؛ د) قطع راندگی‌های درون توالی توسط راندگی شمال نیشابور در پیرامون روستای چناران.



شکل ۵- گسل های برگشته در شمال باختر روستای چناران. الف) گسل برگشته میان آهک های بهرام (فرادیواره) و رسوبات معادل شمشک (فرودیواره). دید به سوی شمال باختر؛ ب) گسل برگشته میان آهک های بهرام (فرادیواره) و رسوبات معادل شمشک (فرودیواره). دید به سوی جنوب خاور؛ ج) راندگی شمال نیشابور به همراه گسل های وارون برگشته. آهک های دست راست، آهک های بهرام و رسوبات سرخ رنگ دست چپ، رسوبات قاره ای پالئوژن هستند. فلش های قطور سفید رنگ سوی حرکت روی منطقه راندگی برگشته را نشان می دهند. دید به سوی شمال باختر.



شکل ۶- تغییر شکل‌های اعمال شده در رسوبات سنوزوییک. الف) گسلش و بالا آمدگی، دید به سوی جنوب باختر. فلش‌های تیره، محل دگرشیبی را نشان می‌دهند؛ ب) رسوبات در نزدیکی راندگی شمال نیشابور، دید به سوی جنوب خاور؛ ج) رسوبات چین‌خورده. حرکت به سوی جنوب باختر. دید به سوی شمال باختر؛ د) ناپوستگی دگرشیبی و گسلش موجود در رسوبات حوضه پیشانی راندگی نیشابور. نزدیک روستای دیزباد.



شکل ۷- الف) مرکز زمین‌لرزه‌های با بزرگی بیشتر از ۲.۵ Mw. این محدوده در شکل ۱ مشخص شده است؛ ب) مقطع مسیر a به b. صفر مسیر روی راندگی شمال نیشابور قرار دارد. محدوده خط چین ارتفاعات بینالود را نشان می‌دهد.

شکل ۸- رسوبات پالئوژن. تناوب لایه‌های کنگلومرا، ماسه و شیل پالتوسن در فرودپواره راندگی شمال نیشابور. شمال شهر خرو. دید به سوی شمال باختر.



شکل ۹- مدل زمین‌ساخت- رسوب‌گذاری سنوزویک ارتفاعات بینالود و حوضه پیشانی راندگی نیشابور. الف) افزایش شیب راندگی‌ها همزمان با پیشروی گوه (گسل‌های شماره ۱، ۲ و ۳) و ب) حجم بالای رسوب‌گذاری در حوضه پیشانی راندگی سبب تشکیل راندگی بیرون از توالی (راندگی ۴) می‌شود. فلش‌های سفید: حرکات چیره در بخش‌های مختلف گوه؛ فلش‌های تیره: بارگذاری رسوبات در حوضه پیشانی راندگی نیشابور.

کتابکاری

- بلوکی، ط.، ۱۳۹۰- پترولوژی و چینه‌نگاری سکانسی رسوبات میوسن منطقه باغش گچ، شمال نیشابور، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.
 پورلطیفی، ع.، ۱۳۷۶- نقشه زمین‌شناسی ایران، ورقه طبقه، شماره ۷۸۶۲، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، تهران سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
 خادمی، م.، ۱۳۹۰- بررسی لرزه زمین‌ساخت راندگی شمال نیشابور (شمال شهر نیشابور)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.
 خادمی، م.، قائمی، ف.، حسینی، س.ک. و قائمی، ف.، ۱۳۹۳- اختلاف بین بردار سرعت GPS و میزان کوتاه‌شدگی به سمت خاور در شمال خاور ایران - ارتفاعات بینالود، سال بیست و چهارم، شماره ۹۴، صص. ۹۹ تا ۱۰۶.
 رحیمی، ب.، ۱۳۷۱- تحلیل ساختاری ارتفاعات بینالود در خاور و شمال خاور نیشابور (چهار گوش دررود)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران.
 قائمی، ف.، قائمی، ف. و حسینی، ک.ک.، ۱۳۷۸- نقشه زمین‌شناسی ایران، ورقه نیشابور، شماره ۷۷۶۶، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، تهران سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- AfsharHarb, A., 1979- The stratigraphy, tectonics and petroleum geology of the Kopehdagh region, northeastern Iran, Ph.D. thesis, Pet. Geol. Sect., R. Sch. of Mines, Imp. Coll. of Sci. and Technol., London.
 Alavi, M., 1991- Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran, Geological Society of America Bulletin, v. 103, p. 983-992.
 Alavi, M., 1992- Thrust tectonics of the Binaloud region, NE Iran, Tectonics 11 (2), 360-370.
 Avouac, J. P. & Burov, E. B., 1996- Erosion as a driving mechanism of intracontinental mountain growth, J. Geophys. Res., 101, 17,747-17,769.
 Dahlen, F. A. & Barr, T. D., 1989- Brittle frictional mountain building: 1. Deformation and mechanical energy budget, J. Geophys. Res., 94, 3906- 3922.
 Dahlen, F. A. & Suppe, J., 1988- Mechanics, growth, and erosion of mountain belts, Geol. Soc. Am. Spec. Pap., 218, 161-178.
 Davis, T. L., 1983- Late Cenozoic structure and tectonic history of the western "Big Bend" of the San Andreas fault and adjacent San Emigdio Mountains [Ph.D. thesis]: Santa Barbara, University of California, 508 p.

- DeCelles, P. G. & Gilest, K. A., 1996- Foreland basin systems, *Basin Research* (1996), 8, 105–123.
- Dominguez, S., Malavieille, J. & Lallemand, S. E., 2000- Deformation of accretionary wedges in response to seamount subduction: Insights from sandbox experiments, *Tectonics* 19 (1), 182–196.
- Graveleau, F. & Dominguez, S., 2008- Analogue modelling of the interaction between tectonics, erosion and sedimentation in foreland thrust belts, *C. R. Geoscience* 340, 324–333.
- Gurrola, L. D. & Keller, E. A., 1997- Tectonic geomorphology of the Santa Barbara fold belt, western Transverse Ranges, CA: *Geological Society of America Abstract with Programs*, v. 29, no. 6, p. A344.
- Hardy, S., Duncan, C., Masek, J. & Brown, J., 1998- Minimum work, fault activity and the growth of critical wedges in fold and thrust belts, *Basin Res.*, 10, 365–373.
- Hilley, G. E., Strecker, M. R. & Ramos, V. A., 2004- Growth and erosion of fold-and-thrust belts, with an application to the Aconcagua Fold-and-Thrust Belt, Argentina, *J. Geophys. Res.* 109 Page.
- Hollingsworth, J., Jackson, J., Walker, R. & Nazari, H., 2008- Extrusion tectonics and subduction in the eastern South Caspian region since 10 Ma, *Geology*, 36 (10), 763–766. doi:10.1130/G25008A.1.
- Hollingsworth, J., Jackson, J., Walker, R., Gheitanchi, M. R. & Bolourchi, M. J., 2006- Strike slip faulting, rotation and along-strike elongation in the KopehDagh Mountains, NE Iran, *Geophys. J. Int.* 166, 1161–1177. doi:10.1111/j.1365-246X.2006.02983.x.
- Konstantinovskaia, E. & Malavieille, J., 2005- Erosion and exhumation in accretionary orogens: Experimental and geological approaches, *Geochemistry Geophysics Geosystems*, Article, Volume 6, Number 2, Q02006, doi:10.1029/2004GC000794, ISSN: 1525-2027.
- Lohrmann, J., Kukowski, N., Adam, J. & Oncken, O., 2003- The impact of analogue material properties on the geometry, kinematics, and dynamics of convergent sand wedges, *Journal of Structural Geology*, 25, 1691–1711.
- Lyberis, N. & Manbay, G., 1999- Oblique to orthogonal convergence across the Turan block in the postMiocene, *AAPG Bull.*, 83(7), 1135 – 1160.
- Lyberis, N., Manbay, G., Poli, J. T., Kalougin, V., Yousouphocae, H. & Ashirov, T., 1998- Posy-Triassic evolution of the southern margin of the Turan plate. *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des Planètes / Earth & Planetary Sciences* 326, 137-143.
- Masek, J. G. & Duncan, C. C., 1998- Minimum-work mountain building, *J. Geophys. Res.*, 103, 907–917.
- Medwedeff, D. A., 1992- Geometry and kinematics of an active, laterally propagating wedge thrust, Wheeler Ridge, California, in Mitra, S., and Fisher, G. W., eds., *Structural geology of fold and thrust belts: Baltimore, Maryland*, Johns Hopkins University Press, 3–28.
- Miyakawa, A., Yamada, Y. & Matsuoka, T., 2010- Effect of increased shear stress along a plate boundary fault on the formation of an out-of-sequence thrust and a break in surface slope within an accretionary wedge, based on numerical simulations, *Tectonophysics*, 484, 127–138.
- Morley, C. K., 1988- Out-of-sequence thrusts, *Tectonics* 7 (3), 539–561.
- Mugnier, J. L., Baby, P., Colletta, B., Vinour, P., Bale, P. & Leturmy, P., 1997- Thrust geometry controlled by erosion and sedimentation: A view from analogue models, *Geology*; May 1997; v. 25; no. 5; p. 427–430.
- Namson, J. & Davis, T. L., 1988- Seismically active fold and thrust belt in the San Joaquin Valley, central California: *Geological Society of America Bulletin*, v. 100, p. 257–273.
- Persson, K. S., Garcia-Castellanos, D. & Sokoutis, D., 2004- River transport effects on compressional belts: First results from an integrated analogue-numerical model, *J. Geophys. Res.*, 109, B01409, doi:10.1029/2002JB002274.
- Shabani, E., Bellier, O., Abbassi, M. R., Siame, L. & Farbod, Y., 2009a- Plio-Quaternary stress states in NE Iran: KopehDagh and Allah Dagh- Binalud mountain ranges, *TECTO-124778*; Pages 25. doi:10.1016/j.tecto.2009.10.022.
- Shabani, E., Bellier, O., Abbassi, M. R., Siame, L., Leanni, L., Braucher, R., Farbod, Y. & Bourles, D. L., 2010- Active tectonics of the Binalud Mountains, a key puzzle segment to describe Quaternary deformations at the northeastern boundary of the Arabia-Eurasia collision. *Geophysical Research Abstracts Vol. 12, EGU2010-6820-1*, 2010.
- Shabani, E., Bellier, O., Siame, L., Arnaud, N., Abbassi, M. R. & Cochemé, J. J., 2009b- New tectonic configuration in NE Iran: active strike-slip faulting between the KopehDagh and Binalud mountains, *Tectonics* 28, TC5002. doi:10.1029/2008TC002444.
- Stein, R. S. & King, C. P., 1984- Seismic potential revealed by surface folding: 1983 Coalinga, California, earthquake: *Science*, v. 244, p. 869–872.
- Stein, R. S. & Yeats, R. S., 1989- Hidden earthquakes: *Scientific American*, v. 260, no. 6, p. 48–57.
- Tchalenko, J. S., 1975- Seismicity and structure of the KopehDagh (Iran, USSR), *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A*, 278, 1– 28, doi:10.1098/rsta.1975.0019.
- Willett, S. D. & Brandon, M. T., 2002- On steady states in mountain belts, *Geology*, 30, 175– 178.
- Yeats, R. S., 1986- Active faults related to folding, in Wallace, R. E., ed., *Active tectonics*: Washington, D.C., National Academy Press, p. 63–79.
- Yousefi, E. & Friedberg, J. L., 1978- Aeromagnetic map of the Mashhad Quadrangle, *Geol. Surv Iran*.