

چین خوردگی جدایشی در گستره میانه - ماه‌نشان: اندرکنش بین رسوب‌گذاری در حوضه سازند سرخ بالایی و کوتاه‌شدگی

مجید باقرنژاد^{۱*}، محمد رضا قاسمی^۲ و بهنام اویسی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

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

^۳ دکتر، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۳/۲۰

چکیده

در پانه‌های (wedge) چین و راندگی که به صورت نازک پوست دگرریخت می‌شوند چگونگی دگرریختی ارتباط نزدیکی با مقاومت در برابر لغزش در راستای سطح‌های فُرَکَنش (decollement) و حضور طبقات کم ژرفا و ژرف فَرَکَنش دارد. در گستره چین خورده میانه-ماه‌نشان، طبقات شکل‌پذیر در ترازهای پایینی (سازند سرخ بالایی) نقش به‌سزایی در هندسه و جنبش‌شناسی دگرریختی گستره بازی می‌کنند. به‌منظور شناسایی هندسه چین خوردگی، تفکیک سازوکارهای چین خوردگی و تعیین ژرفای فَرَکَنش، اقدام به جمع‌آوری اطلاعات و عملیات صحرایی در گستره میان میانه و ماه‌نشان شد. وضعیت چین خوردگی‌ها و ساختارهای این گستره به‌گونه‌ای ویژه از دیگر ساختارهای گستره و حتی نواحی همسایه مانند البرز متمایز است و جنبش‌کننده‌های تبخیری و شکل‌پذیر بودن مارن‌های سازند سرخ بالایی پیچیدگی زیادی را به الگوی چین خوردگی داده است. برای تحلیل پدیده‌های ساختاری همزمان با رسوب‌گذاری، افزون بر برداشت‌های ساختاری دقیق، از ویژگی‌های رسوب‌شناختی و محیط رسوبی در راستای تفسیر و تاریخ گذشته گستره، مطالعه سنگ‌های رسوبی، ارائه داده‌هایی از محیط‌های رسوب‌گذاری آنها و جغرافیای دیرینه نیز استفاده شد. یکی از دستاوردهای این پژوهش، تحلیل ساختارهای رشدی (growth structures) همزمان با چین خوردگی در گستره میانه-ماه‌نشان بود. شش برش ساختاری AA'، BB'، CC'، DD'، EE'، FF' در عرض ساختارهای چین خورده پیچیده گستره پیمایش و رسم شد. میزان کوتاه‌شدگی به‌دست آمده از دو برش AA' و DD' به ترتیب ۴۶/۶۵ و ۳۸/۰۵ درصد به‌دست آمد که میانگین آنها ۴۲/۳ درصد است. در مقایسه با این مقدار، میزان کوتاه‌شدگی در بخش‌های گوناگون استان‌های زمین‌ساختی البرز و زاگرس از ۱۶ تا ۳۰ درصد متغیر است. ما بر این باوریم که علت این اختلاف در آن است که کوتاه‌شدگی در این گستره به‌صورت محلی روی داده است و تحت تأثیر عواملی مانند شیب حوضه و گسل‌های ژرف و لایه‌های کم‌قوام موجود در سطح فَرَکَنش گستره قرار دارد. با بررسی‌هایی که انجام گرفت سازوکار اصلی چین خوردگی نهشته‌های این گستره از نوع جدایشی (detachment) و چین‌پشروی گسل یا چین خم گسل (fault propagation fold or fault bend fold) است، مواد تبخیری موجود در توالی (گچ و نمک) نقش مهمی در این چین خوردگی‌ها دارند.

کلیدواژه‌ها: چین خوردگی، میانه، ماه‌نشان، ژرفای فَرَکَنش، سازند سرخ بالایی

***نویسنده مسئول:** مجید باقرنژاد

E-mail: baghernejhad.majid@gmail.com

۱- پیش‌نوشتار

چین‌های گستره ماه‌نشان در نهشته‌های سازنده‌های سرخ‌زیرین، قم و سرخ بالایی با کوتاه‌شدگی در گستره میان پهنه‌های البرز و سهند-سیرجان شکل گرفته‌اند. بررسی اولیه گستره نشان می‌دهد این چین‌ها به‌احتمال از نوع چین‌های جدایشی (detachment fold) هستند و دارای یک سطح فَرَکَنش (decollement) تبخیری در زیر سازند سرخ بالایی هستند. افزون بر آن، ساختارهای رسوبی همزمان با چین خوردگی نشان می‌دهد این چین‌ها همزمان با نهشتگی سازند سرخ بالایی نیز فعال بوده‌اند. در طی این پژوهش با انجام برداشت‌های میدانی از چین‌های گستره ماه‌نشان و ترکیب آنها با بررسی‌های دورسنجی، تلاش شده است هندسه و جنبش‌شناسی این چین‌ها و وجود یک سطح فَرَکَنش تبخیری در زیر چین‌ها را مورد واکاوی قرار داده و تأثیر آن بر ویژگی‌های چین خوردگی شناسایی شود. افزون بر آن تلاش شده است اندرکنش دی‌پایرسم مواد تبخیری با چین خوردگی بررسی شده و دگرریختی‌های همزمان با رسوب‌گذاری نهشته‌های سنوزویک مورد واکاوی قرار گیرد. هدف‌های این پژوهش، بررسی ساختارهای چین خورده پهنه البرز باختری-آذربایجان، شناسایی هندسه و جنبش‌شناسی (kinematics) عمومی و موضعی چین‌های موجود در نهشته‌های نیوژن و بررسی سازوکار چین خوردگی در این نهشته‌ها است.

برای انجام این پژوهش ابتدا مطالعات دورسنجی برای شناسایی ساختارهای عمومی گستره انجام شد و مسیرهای کلیدی برای برداشت‌های صحرایی تعیین شد. برداشت‌های صحرایی به مدت ۲ ماه در ایستگاه‌هایی که از قبل برنامه‌ریزی شده بود، انجام گرفت که در طی آن وضعیت لایه‌بندی، ساختارهای رسوبی و گسل‌ها برداشت

شد. با کمک داده‌های میدانی، برش‌های عرضی از ساختارهای گستره تهیه و ترازمند (balanced) شد و مدلی عمومی برای چین خوردگی گستره تهیه شد.

گستره مورد مطالعه میانه-ماه‌نشان در شمال باختری کشور در میان چهار ورقه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ میانه، هشت‌رود، ماه‌نشان و تخت‌سلیمان قرار گرفته است که نهشته‌های سنوزویک در این گستره به‌طور عمده از لایه‌های رسوبی آواری سازند سرخ بالایی شکل گرفته‌اند (آق‌ناباتی، ۱۳۸۳) که در نیوژن پسین و کواترنری با چین خوردگی، گسلش و دی‌پایرسم دچار کوتاه‌شدگی و دگرریختی شده‌اند (شکل ۱). گستره میانه شامل دشت‌های جنوبی رشته کوه البرز است، وضعیت چین خوردگی‌ها و ساختارهای این گستره به‌نحو خاصی متمایز از دیگر ساختارهای ناحیه و حتی دیگر نواحی البرز بوده و به‌علت بالآمدگی گنبدی‌های نمکی و شکل‌پذیر بودن مارن‌های سازند سرخ بالایی پیچیدگی زیادی را به الگوی چین خوردگی داده است. برای تحلیل پیچیدگی الگوی ساختارها از مشخصات رسوب‌شناختی و محیط رسوبی، تحلیل واحدهای رسوبی و ساختارهای رشدی تشکیل شده در گستره و رسم برش‌های ساختاری (AA'، BB'، CC'، DD'، EE'، FF') استفاده شده است. دو برش از برش‌های ساختاری رسم شده ترازمند هستند و به‌روش باسک رسم شده است که برای محاسبه میزان درصد کوتاه‌شدگی گستره مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲- ویژگی‌های رسوب‌شناختی و محیط رسوبی گستره

در راستای تفسیر و تاریخ گذشته این گستره، از مطالعه سنگ‌های رسوبی، ارائه

و به دلیل موجود بودن اطلاعات ساختاری کافی در این دو برش، برای رسم آنها از روش باسک (Busk)، استفاده شده است و بقیه برش های ساختاری شماتیک هستند. برش های ترازمند AA' و DD' مورد بازسازی قرار گرفته اند و از آنها برای محاسبه درصد کوتاه شدگی استفاده شده است.

۳-۱. برش ساختاری AA'

برش AA' دارای طول حدود ۴/۳۶ کیلومتر با آزمون N061 است. مختصات نقاط ابتدایی و انتهایی آن بر حسب سیستم تصویر جهانی مرکاتور (UTM) و بیضوی WGS-84 به ترتیب (A: 745474E-4100211N) و (A': 741714E-4097986N) است (شکل ۷). در طول این برش چین ها از سوی جنوب باختری به سوی شمال خاوری عبارتند از (شکل ۸):

ناودیس SH2 که واحد M1ms در هسته آن قرار گرفته است. روند محور ناودیس، شمال باختری- جنوب خاوری است و پیرامون ۳۲ درجه به سوی ۳۳۰ میل دارد. راستا و شیب متوسط یال شمال خاوری این ناودیس 172/62SW و راستا و شیب متوسط یال جنوب باختری آن پیرامون 302/48NE است. ناودیس مورد نظر از نظر هندسی، ناودیس نامتقارن و جزو چین های استوانه ای است و زاویه میان یالی آن پیرامون ۷۰ درجه است، در رده بندی چین ها بر پایه بین یالی (رده بندی فلوئی، ۱۹۶۴)، این ناودیس در رده چین های بسته جای می گیرد. وضعیت صفحه محوری این ناودیس 150/83NE است که در رده چین های ایستاده با میل متوسط قرار می گیرد.

روی این ناودیس ۵۵ برداشت شیب و راستا صورت گرفت، پس از پیاده سازی این داده ها روی نرم افزار استریوگرافیک جی آر، محور این ناودیس ۳۳۰/۳۲ به دست آمد (شکل ۹). تاقدیس با یال شمال خاوری نزدیک به قائم و در برخی مناطق برگشته (شکل ۱۰) که واحد قدیمی تر M1gm در هسته این تاقدیس قرار گرفته است. عمده مواد رسوبی تشکیل دهنده این واحد قدیمی، لایه های تبخیری گچی- نمکی هستند که سطح فراکنش (decolment) گستره را تشکیل می دهند (شکل ۱۱).

ناودیس SH1 با یال جنوب باختری نزدیک به قائم و در برخی مناطق برگشته که واحد M1ms در مرکز آن قرار گرفته است. روند محور ناودیس، شمال باختری- جنوب خاوری است و پیرامون ۲۸ درجه به سوی ۱۵۳ میل دارد. راستا و شیب متوسط یال شمال خاوری این ناودیس 143/79SW و راستا و شیب متوسط یال جنوب باختری آن پیرامون 351/65NE و در حالت برگشته 154/80SW است. ناودیس مورد نظر از نظر هندسی، ناودیس نامتقارن و جزو چین های استوانه ای است و زاویه میان یالی آن پیرامون ۳۶ درجه است، در رده بندی چین ها بر پایه میان یالی (Fleuty, 1964)، این ناودیس در رده چین های بسته جای می گیرد. صفحه محوری این ناودیس 154/88NE است که در گروه چین های ایستاده با میل ملایم قرار می گیرد. روی این ناودیس ۲۵ برداشت شیب و راستا صورت گرفت که پس از پیاده سازی این داده ها روی نرم افزار استریوگرافیک جی آر، محور این ناودیس ۱۵۳/۲۸ به دست آمد که با محور ناودیس SH1 موازی هم هستند.

برای محاسبه درصد کوتاه شدگی گستره، در برش AA' از روش باسک برای رسم نیم رخ استفاده شده است (شکل ۱۲). روش کمان یا روش باسک (Busk method) برای رسم نیم رخ توالی های چین خورده در مناطقی که دچار چین خوردگی لغزش خمشی (flexural slip) شده اند و ستبرای لایه ها در آنجا ثابت است (چین های موازی)، آرمانی است. پس از محاسبه طول تک تک منحنی ها و محاسبه طول میانگین شش منحنی، میانگین درصد کوتاه شدگی این برش محاسبه شد که ۴۶/۵۶ درصد به دست آمد.

۳-۲. برش ساختاری DD'

این برش دارای طول حدود ۱۳/۴۹ کیلومتر با آزمون N088 است. مختصات نقاط ابتدایی و انتهایی آن بر حسب سیستم تصویر جهانی مرکاتور (UTM) و بیضوی WGS-84 به ترتیب (D: 741962E-4110920N) و (D': 728485E-4110126N) است.

داده هایی از محیط های رسوب گذاری آنها و جغرافیای دیرینه استفاده شده است. محیط های رسوبی موجود در گستره شامل محیط دریاچه ای و رودخانه ای است که به ترتیب از جنوب خاور به سوی شمال باختر گسترش پیدا کرده است (شکل ۲). عبور از محیط دریاچه ای به محیط رودخانه ای به صورت گذار و تدریجی بوده در جنوب باختر گستره محیط دریاچه ای حکم فرما است، به سوی شمال باختر وارد محیط دریاچه ای پلایایی، رودخانه بریده بریده (گیسویی) و رودخانه ای متاندیری می شود. دو دوره رسوب گذاری مشخص در گستره مورد مطالعه قابل مشاهده است، در دوره اول (M1) شرایط دریاچه ای (دریاچه ای و دریاچه ای پلایایی) برقرار بوده و در دوره دوم (M2) محیط های رسوب گذاری رودخانه ای (رودخانه ای بریده بریده و متاندیری) حکم فرما شده است.

مجموعه دریاچه ای متشکل از دو رخساره مرتبط شامل (۱) سنگ گل (M) و (۲) سنگ ماسه با میان لایه های گلی (SM) است. محیط رسوبی پلایا شامل رخساره (۱) سنگ گل (M)، (۲) سنگ ماسه ریزدانه با میان لایه های سنگ گل (SM) و (۳) رخساره های تبخیری (E). نهشته های سامانه های بریده بریده (گیسویی) متشکل از چهار مجموعه رخساره ای است (۱) سنگ ماسه (S)، (۲) سنگ جوش (G)، (۳) سنگ ماسه ریزدانه و سنگ گل (SM)، (۴) تبخیری ها (E). نهشته های رودخانه متاندیری متشکل از دو مجموعه رخساره ای است (۱) سنگ ماسه (S) و (۲) سنگ ماسه های ریزدانه با میان لایه های گلی (SM).

بر اساس مطالعات صحرائی، آزمایشگاهی و تفسیر نتایج حاصل از این مطالعه و مقایسه آن با مدل های مختلف محیط های رسوب گذاری عهد حاضر و قدیمی (Elmore et al., 1981; Walker & Cant, 1984)، مدل رسوبی سازند سرخ بالایی در گستره میانه- ماه نشان- هشترود به صورت ترکیبی از محیط های دریاچه ای، دریاچه ای پلایایی، رودخانه بریده بریده (گیسویی) و رودخانه ای متاندیری در نظر گرفته شده است (شکل ۳) که در آن هر کدام از محیط های یاد شده به صورت کمربندهای کم و بیش موازی از ناحیه کوهستان به سوی زمین های پست و هموار در کنار هم قرار داشته اند. در توالی رسوبی کمربند چین خورده میانه افزون بر واحد نمکی به سن الیگو- میوسن که نقش عمده ای در مهار دگرریختی سطحی بازی می کند، لایه های گچ دار با میان لایه های رسی نیز این روند را آسان می کنند. از مهم ترین این واحدها می توان به واحد M1gm به سن میوسن زیرین اشاره کرد.

شناخت ساخت های رسوبی در بازسازی محیط رسوب گذاری اهمیت ویژه ای دارد (Catuneanu, 2006) و تحلیل دقیق آنها به شناخت جغرافیای دیرینه و محیط رسوب گذاری کمک فراوانی می کند. ساخت های رسوبی موجود در گستره مورد مطالعه در دو دسته قرار می گیرند، ساخت هایی که مشخص کننده سوی جریان هستند و ساخت هایی که بدون این مشخص هستند (شکل ۴). تحلیل شیب و آزمون برای ساخت های رسوبی موجود در گستره پس از اعمال تصحیحات زمین شناسی ساختمانی، نشانگر جریان یک جهتی با پراکندگی بیشتر با سوی شمال خاور- جنوب باختر است (شکل ۵).

۳- ساختارهای گستره

به منظور تحلیل ساختاری ناحیه میانه، شش پیمایش ساختاری AA'، BB'، CC'، DD'، EE'، FF' انجام شد (شکل ۶). برداشت های سطحی صورت گرفته در گستره مورد مطالعه به طور عمده از بخش های قابل دسترسی بوده و در بخش های غیر قابل دسترسی از اطلاعات نقشه های زمین شناسی موجود، تصاویر ماهواره ای و مدل ارتفاعی گستره کمک گرفته شده است. در این ناحیه با توجه به ستبرای زیاد سازند سرخ بالایی و نقش کاهندگی این سازند در سرعت امواج بازتابی اطلاعات مناسبی از برش های لرزه ای در دسترس نیست و رسم برش های ساختاری تنها بر اساس وضعیت لایه ها در سطح صورت گرفته است. برش های AA' و DD' ترازمند هستند

سنگ‌جوش میو- پلیوسن که با ناپیوستگی روی واحدهای میوسن نهشته شده نیز چین خورده است و نوع چین خوردگی و هندسه آن به مقدار زیادی از چین خوردگی‌ای که پیش‌تر توضیح داده شد متفاوت است، به‌طوری‌که چین‌ها ملایم (gentle) تا باز (open) همراه با طول موجی برابر با ۱۰ تا ۲۵ کیلومتر دامنه (amplitude) کوچک‌تر از ۱ کیلومتر هستند. این چین خوردگی در گستره مورد مطالعه به صورت یک تاقدیس بزرگ با کوهانه‌ای (culmination) در بخش مرکزی قابل مشاهده است.

۳-۴. برش ساختاری CC'

این برش دارای طول حدود ۱۲/۲۲ کیلومتر با آزیموت N070 است. مختصات نقاط ابتدایی و انتهایی آن بر حسب سیستم تصویر جهانی مرکاتور (UTM) و بیضوی WGS-84 به ترتیب (C:742679-4107308N) و (C:731301E-4102828N) است (شکل ۱۵).

مصون ماندن نهشته‌های بستر ناودیس در برابر فرسایش موجب تشکیل ساختاری می‌شود که در زبان فرانسه به آن سنکلینال پرشه (Synclinal Preshe) گفته می‌شود. در منابع فارسی برای ناودیس پرشه از معادل‌هایی مانند ناودیس معلق، ناودیس آویخته، ناودیس هوایی و ناودیس ارتفاع یافته استفاده شده است. تشکیل این ساختار به این صورت است که در یک ساختار ناودیزی هنگامی که مقاومت نهشته‌ها در برابر فرسایش یکسان نباشد، تداوم فرسایش سبب از میان رفتن تمام یا بخشی از نهشته‌های تشکیل دهنده یال‌ها شده و به این ترتیب در مرکز ناودیس چاله‌ای فرسایشی تشکیل می‌شود. تحول این پدیده در فرایند زمان موجب می‌شود مرکز ناودیس حالت ارتفاع یافته پیدا کرده و به شکل کوه دیده شود که به آن ناودیس آویخته (معلق) گفته می‌شود. در گستره مورد مطالعه نیز نمونه‌های از ساختار ناودیس آویخته مشاهده می‌شود (شکل ۱۷).

۳-۵. برش ساختاری EE'

این برش دارای طول حدود ۹/۸۹ کیلومتر با آزیموت N178 است. مختصات نقاط ابتدایی و انتهایی آن بر حسب سیستم تصویر جهانی مرکاتور (UTM) و بیضوی WGS-84 به ترتیب (E: 722870-4121478N) و (E: 723339E-4111590N) است (شکل ۱۵). این برش تمامی واحدهای رسوبی سازند سرخ بالایی را از قدیم به جدید در بر می‌گیرد (M1gm-M1sm-M1ms-V-M2). در طول این برش، واحد رسوبی M1ms به صورت همبری به واحد آتشفشانی که از نظر زمانی هم‌ارز هم هستند تبدیل می‌شود.

۳-۶. برش ساختاری FF'

این برش دارای طول حدود ۱۰/۸۸ کیلومتر با آزیموت N050 است. مختصات نقاط ابتدایی و انتهایی آن بر حسب سیستم تصویر جهانی مرکاتور (UTM) و بیضوی WGS-84 به ترتیب (F:709497-4122382N) و (F:701304E-4115220N) است (شکل ۱۵). مهم‌ترین پدیده ساختاری همزمان با رسوب‌گذاری که در طول این برش دیده می‌شود، لایه‌های رشدی فشارشی هستند. لایه‌های رشدی مشابهی در طول گذار از واحد M1ms به M2 در کمربند چین خورده میوسن و حداقل در دو نقطه دیگر نیز مشاهده شد که نشان‌دهنده کوتاه‌شدگی (انقباضی) گسترده در گستره مورد مطالعه در آن زمان است.

ناودیس ساختار رشدی (شکل ۱۹) واحد رسوبی M2 یک چین استوانه‌ای دارای میل با روند شمال باختر- جنوب خاور است. بیشترین ارتفاع ناودیس روی سازند سرخ بالایی، در بخش خاوری ۱۷۶۶ متر است. نقاط GPS و همچنین سوی شیب و زاویه شیب لایه‌ها و میل محور چین روی تصویر Google Earth نمایش داده شده است (شکل ۱۸). برداشت‌های صحرایی نشان می‌دهند که شیب یال شمالی ناودیس متغیر بوده و موقعیت این پهلوی در بخش خاوری برابر (سوی شیب / شیب) ۴۵/۳۰ و در بخش میانی برابر ۸۵/۴۴ و در بخش باختری ۵۰/۲۸۰ است. در بخش شمال خاوری

در این برش چین خوردگی‌ها از سوی باختری به سوی خاوری گستره عبارتند از (شکل ۱۳):

- ناودیس AJ3 که واحد M1ms در هسته آن قرار گرفته است. یال خاوری این ناودیس برگشته بوده و هر دو یال شیبی به سوی خاور دارند. شواهد رسوبی موجود در گستره نیز این امر را اثبات می‌کند. روند محور ناودیس، شمالی- جنوبی است و راستا و شیب متوسط یال باختری این ناودیس 320/55NE و راستا و شیب متوسط یال خاوری آن پیرامون 346/53NE است. ناودیس مورد نظر از نظر هندسی، ناودیس نامتقارن و جزو چین‌های استوانه‌ای است.

- تاقدیس با یال باختری برگشته که واحدهای قدیمی M1gm در هسته تاقدیس قرار گرفته‌اند که بیشتر از واحدهای رسوبی تبخیری تشکیل شده‌اند. نفوذ گنبد‌های نمکی در هسته این تاقدیس سبب ایجاد قوسی در یال خاوری این تاقدیس شده است. روند محور تاقدیس، شمال باختری - جنوب خاوری است.

- ناودیس متقارن AJ2 که واحدهای رسوبی M1ms در هسته این ناودیس قرار گرفته و در دید سه بعدی دارای سه محور چین خوردگی است که علت ایجاد این حالت، نفوذ تبخیری‌ها و گنبد‌های نمکی در هسته چین‌های تاقدیس دو سوی آن است (شکل ۱۴).

- تاقدیس با یال خاوری برگشته که واحدهای قدیمی M1gm در هسته تاقدیس قرار گرفته‌اند که بیشتر از واحدهای رسوبی تبخیری تشکیل شده‌اند. نفوذ گنبد‌های نمکی در هسته این تاقدیس سبب ایجاد قوسی در یال باختری این تاقدیس شده است. روند محور تاقدیس، شمال باختری - جنوب خاوری است. به منظور تعیین برگشته بودن یال خاوری این تاقدیس توجه به سوی شیب لایه‌ها و ساخت‌های رسوبی موجود در گستره ضرورت می‌نماید.

- ناودیس AJ1 که واحد M1ms در هسته آن قرار گرفته است. یال باختری این ناودیس برگشته بوده و هر دو یال شیبی به سوی باختر دارند. شواهد رسوبی موجود در گستره نیز این امر را اثبات می‌کند. روند محور ناودیس، شمال باختری - جنوب خاوری است و راستا و شیب متوسط یال باختری این ناودیس 150/65SW و راستا و شیب متوسط یال خاوری آن پیرامون 110/48SW است. ناودیس مورد نظر از نظر هندسی، ناودیس نامتقارن و جزو چین‌های استوانه‌ای است. در این برش نیز مشابه برش AA' از روش باسک برای رسم نیمرخ و محاسبه درصد کوتاه‌شدگی گستره استفاده شده است. پس از محاسبه طول تک تک منحنی‌ها و محاسبه طول میانگین شش منحنی، میانگین درصد کوتاه‌شدگی این برش محاسبه شد که ۳۸/۰۵ درصد به دست آمد.

۳-۳. برش ساختاری BB'

این برش دارای طول حدود ۱۸/۲۵ کیلومتر با آزیموت N050 است. مختصات نقاط ابتدایی و انتهایی آن بر حسب سیستم تصویر جهانی مرکاتور (UTM) و بیضوی WGS-84 به ترتیب (B:743868E-4105042N) و (B:730145E-4092997N) است (شکل ۱۵).

این برش از مجموعه‌ای از ناودیس‌ها و تاقدیس‌هایی تشکیل شده است که دارای طول موجی از ۲ تا ۴ کیلومتر و دامنه‌ای تا ۱ کیلومتر هستند. در اثر اختلاف مقاومت و گرانروی میان مواد تبخیری (ژپس و نمک) با واحدهای رسوبی پیرامون (M1sm)، در بخش SW برش، چین جعبه‌ای تشکیل شده است (شکل ۱۶). چین جعبه‌ای (box fold) در یک افق جدایش (detachment) کم ژرفا گسترش پیدا کرده است (ژرفای تقریبی ۱-۲ کیلومتر) و یک دسته از لایه‌های با قوام پایین را تحت تأثیر قرار داده است. در بخش NE برش، تاقدیس با یال شمال خاوری برگشته تشکیل شده است که در هسته این تاقدیس گسل راندگی دیده می‌شود. گسل سبب شکل‌گیری چین‌های رده‌ی دوم شده است. این نوع چین خوردگی از نوع چین پیشروی گسل (fault propagation fold) است که در هسته خود گسل آشکار دارد.

N110E تا N-S متغیر است. این مشاهدات نشان می‌دهند که نیروهای فشارشی ایجاد کننده چین‌ها و گسل‌های اصلی گستره مورد مطالعه سازوکار یکسانی داشته‌اند و سبب کوتاه‌شدگی پوسته در سوی شمال خاوری- جنوب باختری شده‌اند. گستره مورد بررسی مانند بسیاری از بخش‌های دیگر صفحه ایران همچنان زیر تأثیر گامه‌های آلپ پایانی قرار دارد و در یک گستره فعال زمین‌ساختی قرار گرفته است. جایگیری تبخیری‌های موجود در گستره مورد مطالعه ارتباط بسیار نزدیکی با زمین‌ساخت فشارشی گستره داشته است، همچنین حضور این مواد تبخیری در پایه سازند سرخ بالایی به شکل سطوح جدایشی اثراتی روی چگونگی دگرریختی رسوب‌های موجود در حوضه‌های تبخیری گستره داشته است. تبخیری‌های موجود در گستره مورد پژوهش، بیشتر در ارتباط با چین‌ها و گسل‌ها جایگیری کرده‌اند. چین خوردگی با ایجاد اختلاف توپوگرافی و در نهایت ایجاد اختلاف بارگذاری روی لایه‌های تبخیری سبب کوچ این مواد به سوی هسته تاقدیس‌های گستره شده است به همین علت این مواد در هسته تاقدیس‌ها ستر شده و در زیر ناودیس‌ها نازک می‌شوند. سازوکار اصلی چین خوردگی نهشته‌های این گستره از نوع جدایشی (detachment) و چین پیشروی گسل یا چین خم گسل (fault propagation fold or fault bend fold) است و مواد تبخیری موجود در توالی (گچ و نمک) و گسل‌های گستره نقش مهمی در این چین خوردگی‌ها دارند.

سازند سرخ بالایی در گستره ماه‌نشان- میانه همانند گستره جنوب البرز (مانند ایوانکی) در حوضه پیش‌بوم جنوبی البرز نهشته شده است. گذار این سازند از محیط رسوبی دریاچه‌ای- پلایایی در جنوب خاور به محیط رودخانه‌ای در شمال باختر گستره با توجه به فاصله این دو بخش نسبت به پیشانی کوهستان در ماه‌نشان و میانه به ترتیب نشان دهنده بخش‌های دور از منشأ (distal) و نزدیک به منشأ (proximal) حوضه پیش‌بوم است. این تغییر ویژگی‌های محیط رسوبی با تغییرات ویژگی‌های مکانیکی سازند یادشده نیز همراه است؛ واحدهای رودخانه‌ای دارای قوام (competence) بیشتری هستند و چین‌های موجود در بخش شمال باختری گستره نسبت به چین‌های موجود در واحدهای دریاچه‌ای- پلایایی (در جنوب خاور) دارای طول موج بلندتری هستند.

از آنجا که شناسایی نهشته‌های موجود در پیش‌بوم کوهزادها نقش مهمی در تعیین تاریخچه جنبش ورقه‌های راندگی موجود در کوهزاد دارد (قاسمی، ۱۳۸۷)، برای ادامه پژوهش در گستره مورد بررسی پیشنهاد می‌شود ترکیب رسوب‌شناسی واحدهای سازند سرخ بالایی و توالی پلیوسن گستره از دیدگاه منشأ مورد بررسی قرار گیرد و به کمک آنها تاریخچه فعالیت‌های زمین‌ساختی این بخش از فلات ایران آشکار شود.

سپاسگزاری

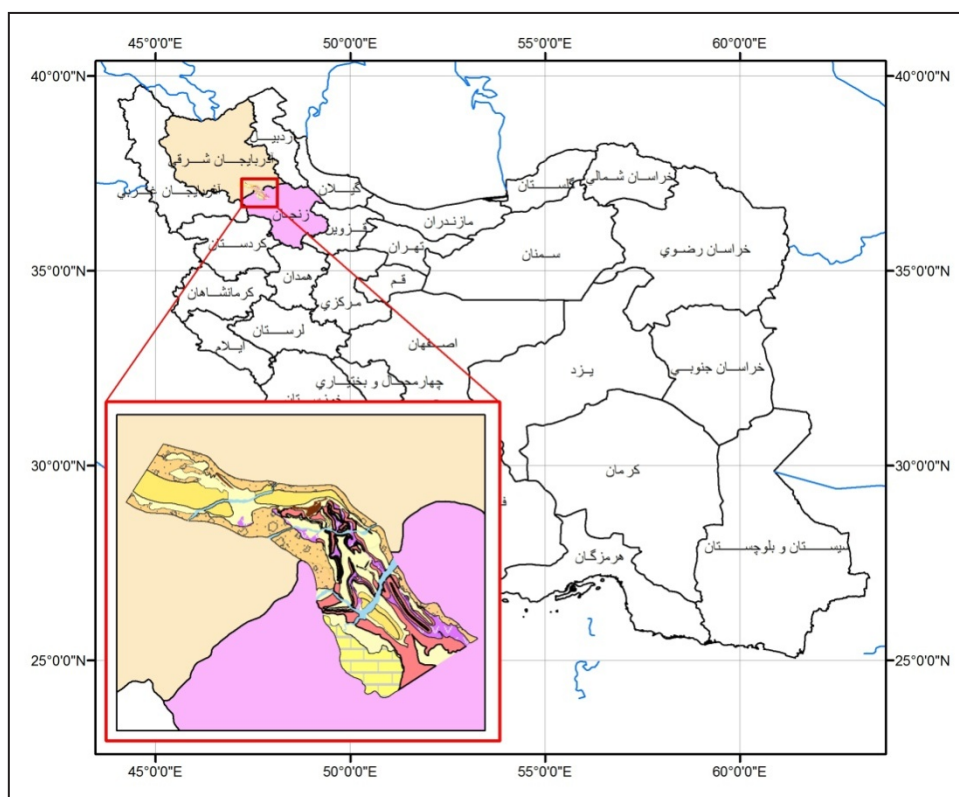
به این وسیله از همکاری و راهنمایی‌های میدانی و دفتری ارزشمند آقای دکتر پائولو بالاتو، استاد دانشگاه پتردام آلمان و آقایان مهندس قاسم حیدرزاده و حمیدرضا جواد، مدیر و کارشناس محترم گروه زمین‌ساخت سازمان زمین‌شناسی کشور سپاسگزاری می‌شود. نظرات ارزشمند دو داور محترم این مقاله در بهبود مقاله بسیار سودمند بود. این پژوهش با استفاده از حمایت پژوهشکده علوم زمین در چهارچوب طرح پژوهشی شماره ۱۱۳- ط- پ ۹۱ تهیه شده است.

ناودیس یک گسل راندگی با شیب به سوی شمال- شمال خاور به طول بیش از ۷ کیلومتر وجود دارد. این گسل با شیب ۴۴ درجه به سوی شمال خاور در مسیر پیمایش برداشت شده است. احتمالاً یک گسل با مؤلفه معکوس است. این راندگی درون نادیس رخ داده و در ارتباط با چین خوردگی است. نیروهایی که سبب چین خوردگی گستره شده است (نیروهای فشارشی) دلیل تشکیل این راندگی شده است. بر مبنای وضعیت لایه‌بندی‌ها در پال‌های شمالی و جنوبی ناودیس در مسیرهای مختلف روی استریونت مشخص شد، ناودیس یادشده یک ناودیس نامتقارن است و با توجه به زاویه میان یالی به دست آمده، ناودیس مزبور در محدوده چین‌های باز قرار دارد. پس از محاسبه نرم‌افزار محور این ناودیس ۳۲۵/۴۳ به دست آمد.

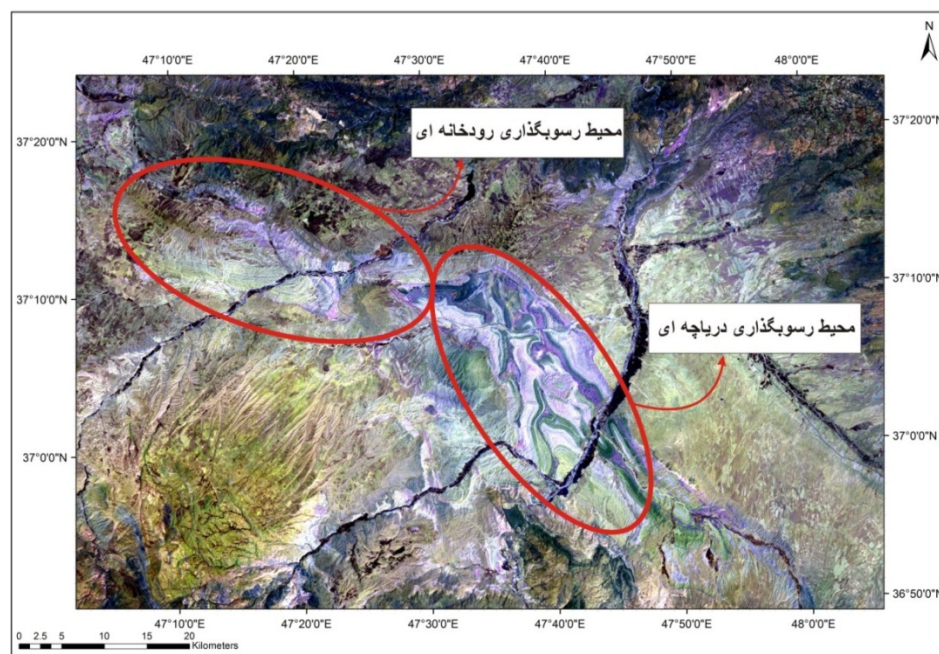
پس از بررسی هندسه و کینماتیک چین خوردگی‌ها به بررسی راستای بیشینه تنش‌های به وجود آورنده آنها پرداخته می‌شود. برآورد میدان تنش در گستره مورد مطالعه، از طریق بررسی وضعیت ساختارهای اصلی منطقه (چین‌ها و گسل‌ها) صورت گرفته است. بررسی هندسه بیشتر چین‌های محدوده مورد پژوهش نشان می‌دهد که روند محور این ساختارها عموماً از N110E تا N-S متغیر است. منحنی‌های تراز چین‌های گستره مورد مطالعه، این مطلب را به خوبی نشان می‌دهند. بررسی نمودار گل سرخی راستای محورهای چین خوردگی گستره (شکل ۲۰) بیانگر آن است که این ساختارها نیز راستای چیره N142E دارند. مطالب بیان شده به وضوح نشان می‌دهند که نیروهای فشارشی ایجاد کننده چین‌ها و گسل‌های اصلی گستره مورد مطالعه ساز و کار یکسانی داشته و سبب کوتاه‌شدگی پوسته در سوی شمال خاوری- جنوب باختری شده است. در این گستره سه محور اصلی چین خوردگی وجود دارد. راستای اصلی محور این چین خوردگی‌ها و همچنین راستای راندگی‌ها شمال باختری- جنوب خاوری است. با توجه به این که راستای تنش اصلی بیشینه، عمود بر محور چین و همچنین عمود بر راستای گسل‌های راندگی قرار می‌گیرد، تمامی ساختارهای اصلی این گستره نشان دهنده این مطلب هستند که راستای اصلی تنش بیشینه به تقرب شمال خاوری- جنوب باختری است. رفتار اصلی نهشته‌های این گستره در برابر تنش‌های وارده بیشتر از نوع رفتار نرم (ductile) است که سبب تشکیل چین خوردگی می‌شود.

۴- بحث و نتیجه گیری

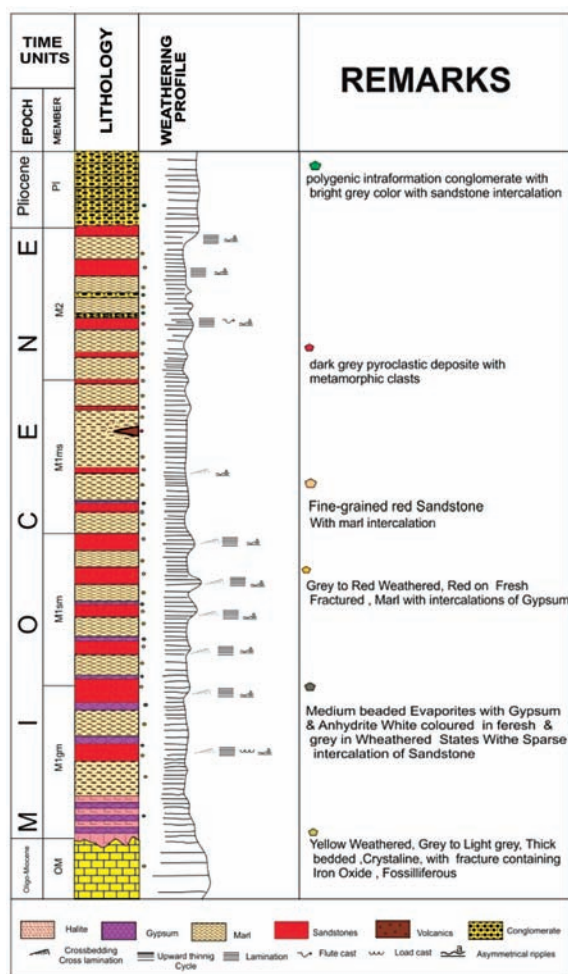
میزان کوتاه‌شدگی حاصل از دو برش AA' و DD' به ترتیب ۴۶/۶۵ و ۳۸/۰۵ درصد به دست آمد که به طور میانگین ۴۲/۳ درصد است، بیشینه این میزان در البرز و زاگرس به ترتیب عبارتند از ۳۰ و ۱۹ درصد (Allen et al., 2003; Verges et al., 2011). علت این اختلاف درصد کوتاه‌شدگی به این دلیل است که کوتاه‌شدگی در این گستره به صورت محلی بوده و تحت تأثیر عوامل مانند شیب حوضه و گسل‌های ژرفی و لایه‌های کم قوام تشکیل شده در سطح فراکنشی گستره است. چین‌ها بخش عمده‌ای از کوتاه‌شدگی گستره را جبران کرده‌اند و از نظر هندسی بیشتر نامتقارن هستند و تمایل سطح محوری آنها به طور عمده به سوی جنوب باختر است. محور بیشتر چین‌های گستره میل ملایمی به سوی جنوب خاور دارد. البته در این میان چین‌های با میل دو گانه و سه گانه هم دیده می‌شوند. چین‌های گستره مورد پژوهش از نظر زاویه میان یالی در رده چین‌های تنگ تا ملایم و باز قرار می‌گیرند. بررسی هندسه بیشتر چین‌های محدوده مورد پژوهش نشان می‌دهد که روند محور این ساختارها عموماً از



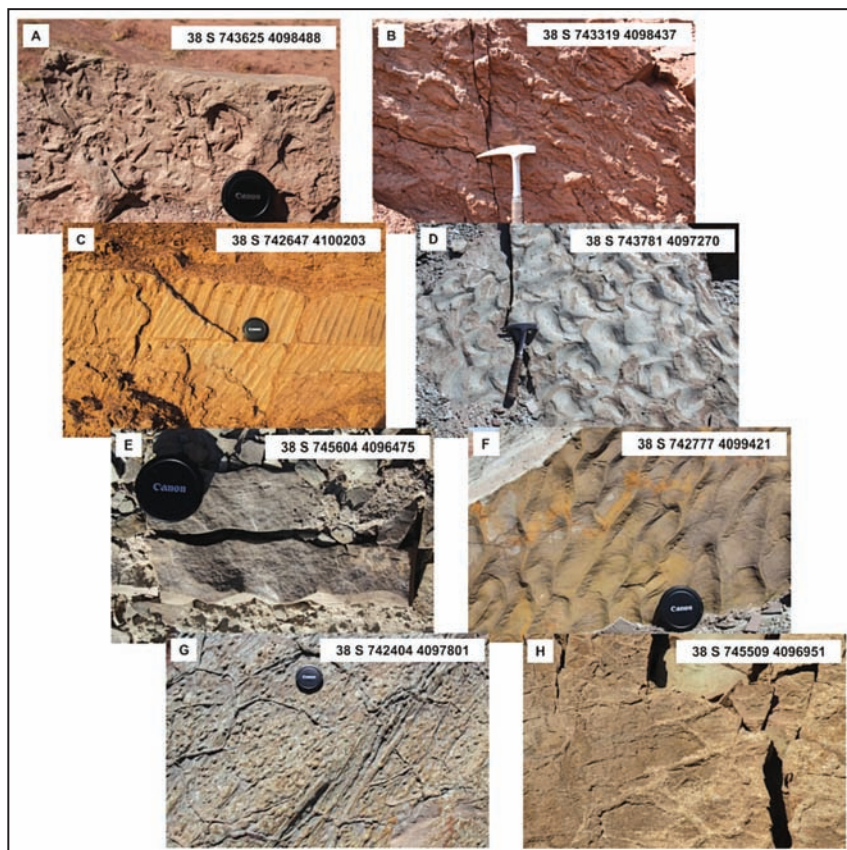
شکل ۱- جانمایی گستره مورد بررسی روی نقشه ایران.



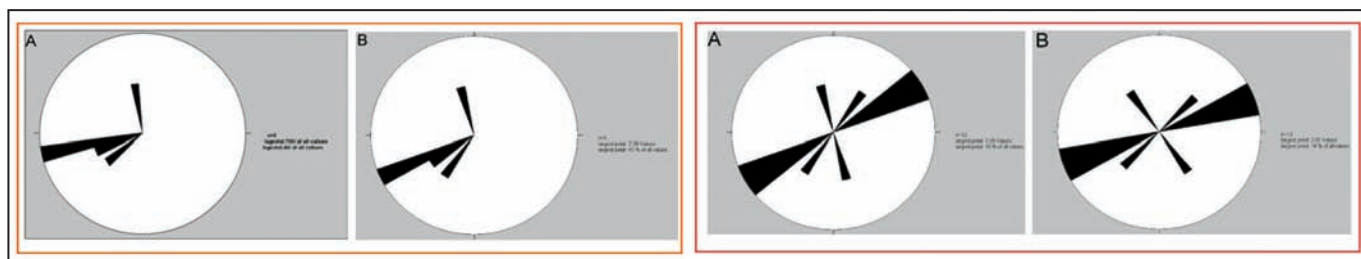
شکل ۲- تفکیک دو محیط رسوبگذاری رودخانه‌ای و دریاچه‌ای در گستره مورد بررسی بر پایه شناسایی رخساره‌های رسوبی در صحرا (تصویر ماهواره‌ای ETM⁺).



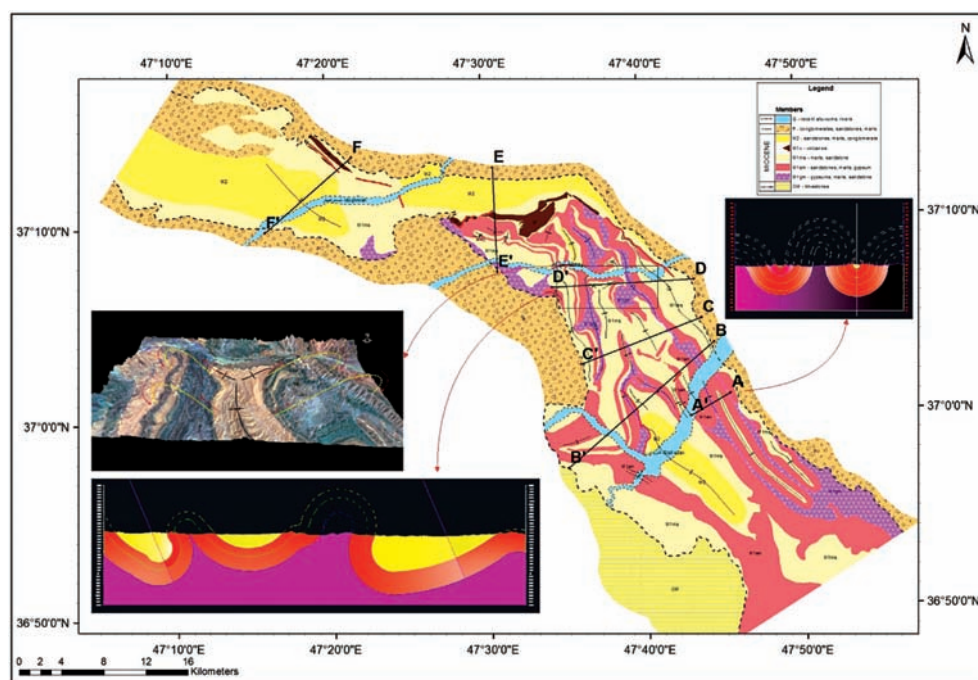
شکل ۳- ستون چینه شناسی گستره مورد بررسی که با استفاده از برداشت های میدانی این پژوهش تهیه شده است. دو دوره رسوب گذاری مشخص در این ستون قابل تفکیک است. دوره اول (M1) شرایط دریاچه ای (دریاچه ای و دریاچه ای- پلایایی) و دوره دوم (M2) محیط های رسوب گذاری رودخانه ای (رودخانه ای بریده بریده و مئاندری) را نشان می دهد.



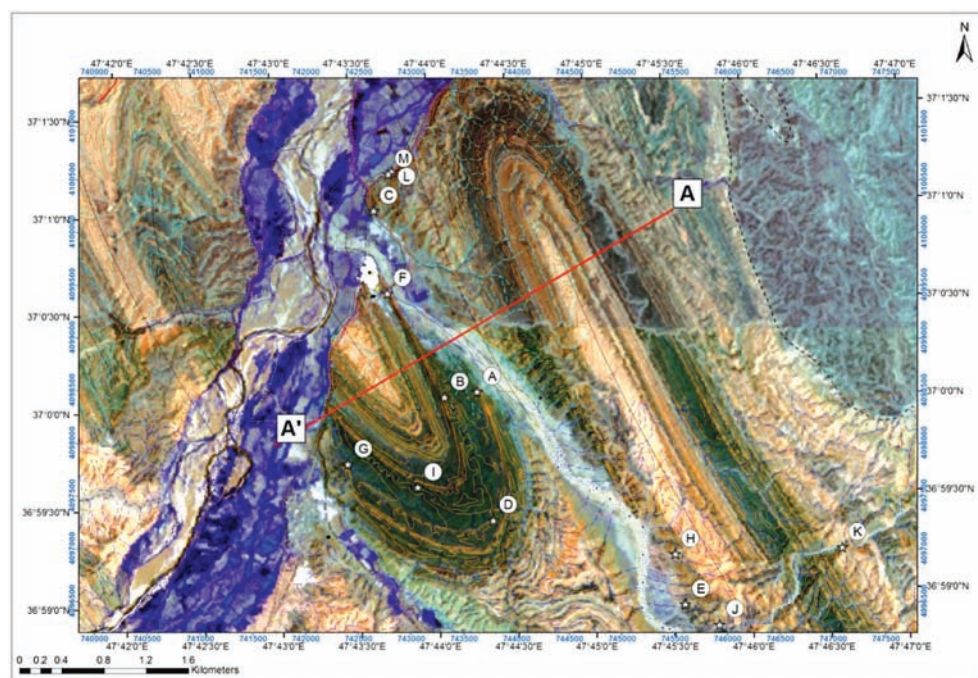
شکل ۴- ساخت های رسوبی موجود در گستره شامل: فلوت کست، موج نشان های جریانی، قالب های وزنی، قالب ترک های گلی، لایه بندی چلیپایی، ساخت فلاسر، ناپیوستگی فرسایشی و ساختمان جناغی.



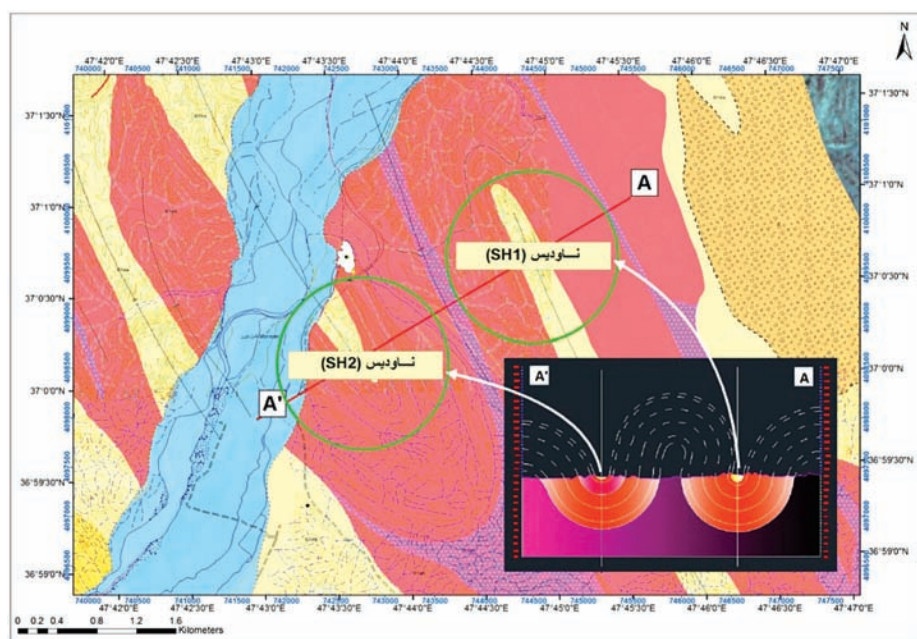
شکل ۵- نمودارهای گل سرخی حاصل از تجزیه و تحلیل ساخت‌های رسوبی گستره به ترتیب A قبل از چین خوردگی و B بعد از چین خوردگی (شکل‌های بالا ساخت‌های رسوبی دو جهتی (۲۰ برداشت) و شکل‌های پایین ساخت‌های رسوبی تک جهتی را نمایش می‌دهد (۱۸ برداشت)).



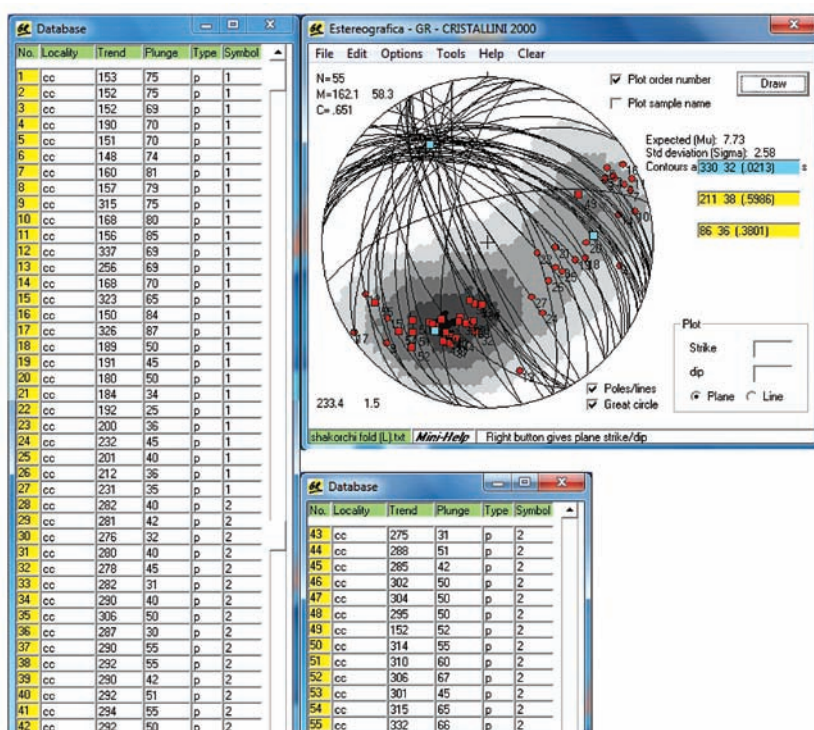
شکل ۶- محل برش های ساختاری رسم شده روی تصویر ماهواره ای و نقشه زمین شناسی ساختاری تهیه شده از گستره.



شکل ۷- محل برش ساختاری AA' رسم شده روی تصویر ماهواره‌ای ASTER در گستره مورد مطالعه.



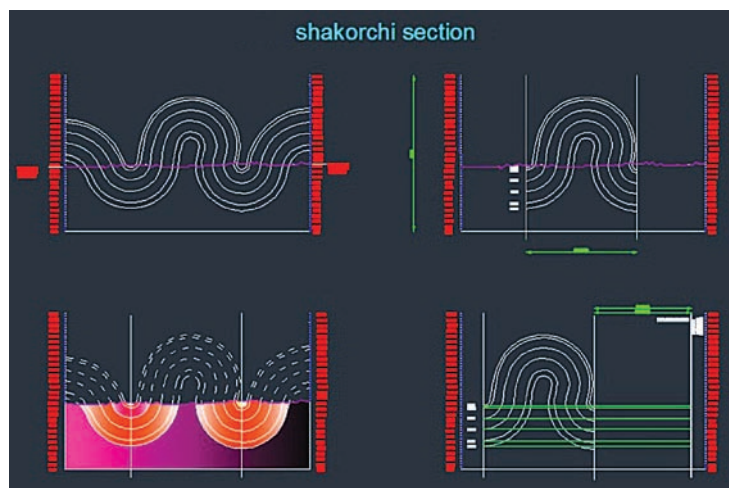
شکل ۸- چین های جدایشی موجود در برش AA'. مواد تبخیری که سطح جدایش اصلی این چین را تشکیل داده اند با رنگ صورتی نمایش داده شده است.



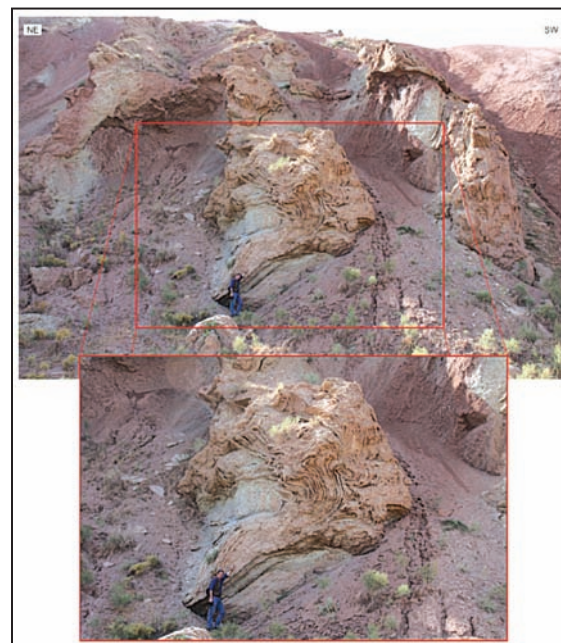
شکل ۹- وضعیت چین خوردگی در مسیر برش AA'. داده های برداشت میدانی در محیط نرم افزار استریوگرافیک جی آر مورد تحلیل قرار گرفته است. نرم افزار سه محور احتمالی چین را محاسبه می کند و محوری که به میانگین داده ها نزدیک تر است را با رنگ آبی نمایش می دهد.



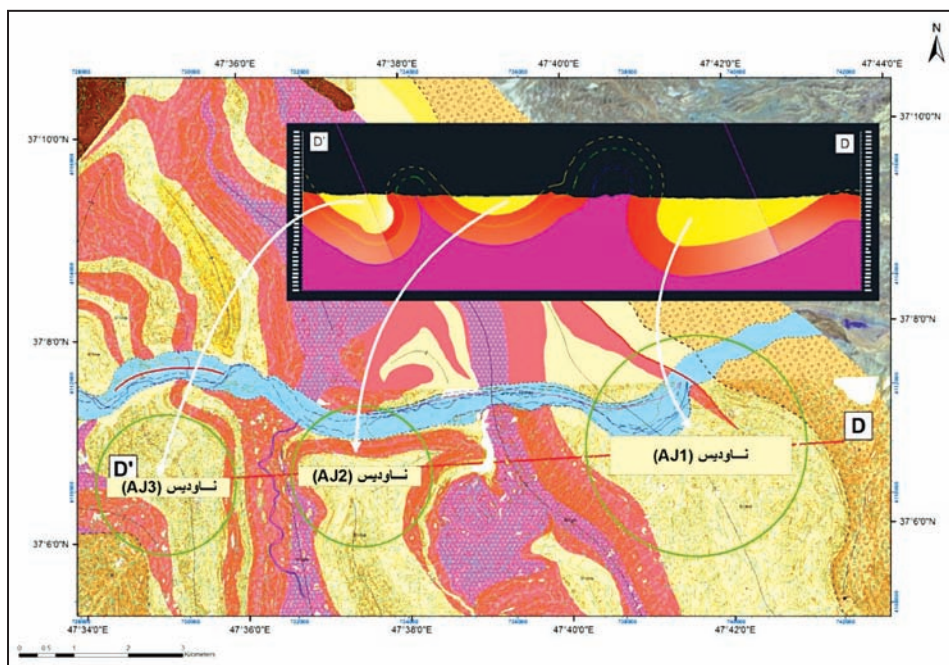
شکل ۱۰- یال شمال خاوری تاقدیس میان ناودیس های SH1 و SH2 که نزدیک به قائم است (محل استقرار دوربین در نقطه GPS ۴۰۹۶۲۸۱ - ۷۴۵۹۲۸ در زون ۳۸).



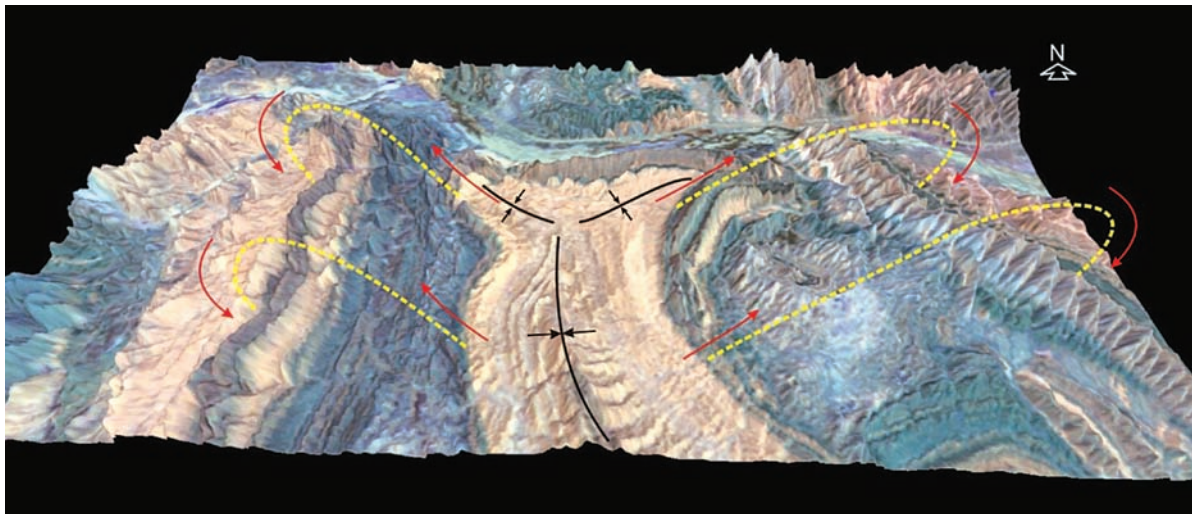
شکل ۱۲- برش AA' و چگونگی محاسبه مقدار کوتاه‌شدگی آن با بازسازی برش. بخش‌های گوناگون این شکل مراحل رسم برش، تعیین پین لاین‌ها و بازسازی برش را نشان می‌دهند.



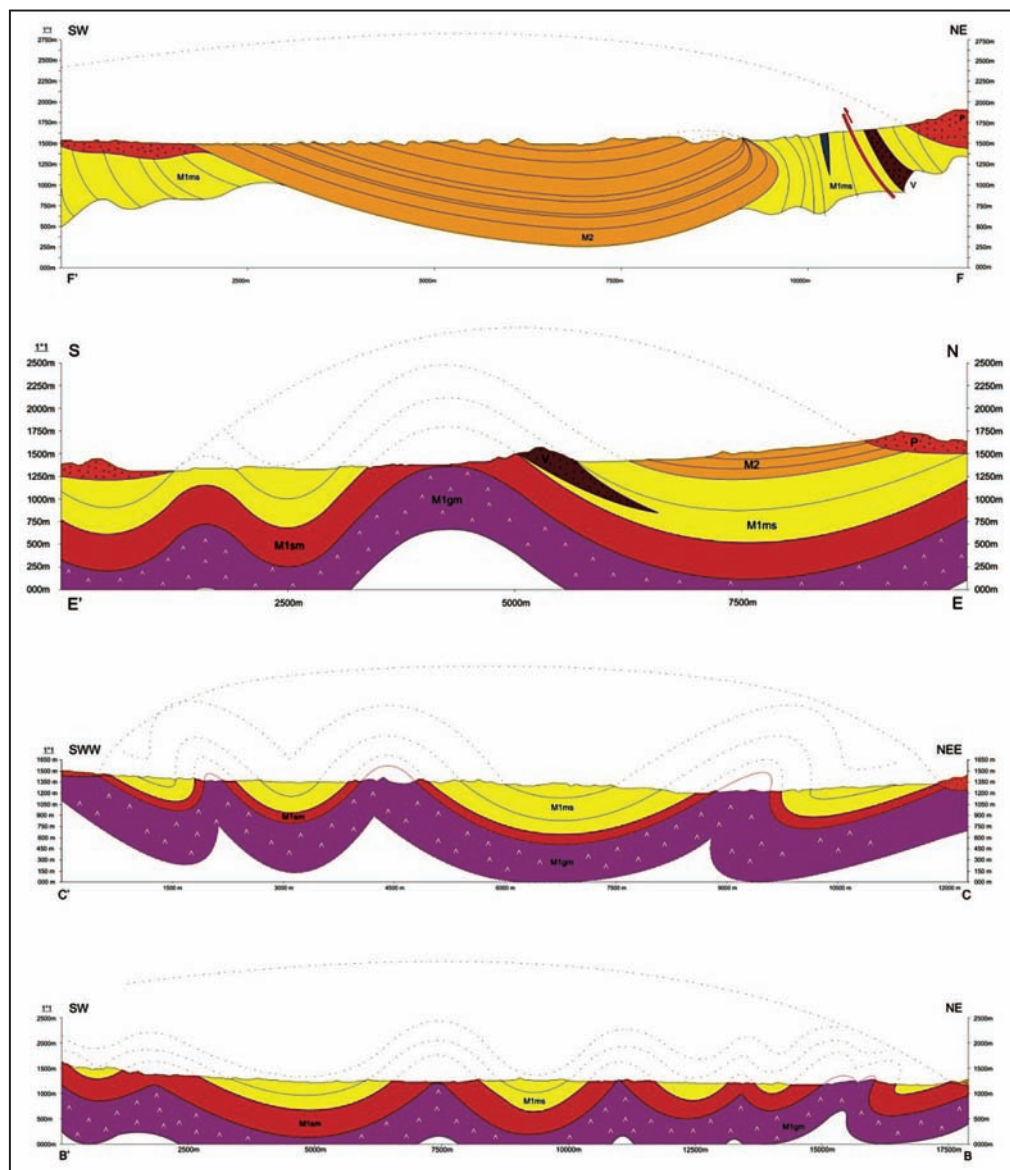
شکل ۱۱- لایه‌های تبخیری (گچی) گستره شکر بلاغی که چین‌های جناغی، جعبه‌ای و قارچی درون آن تشکیل شده است (محل استقرار دوربین در نقطه GPS ۴۱۰۰۵۷۵-۷۴۲۸۱۶ در زون ۳۸).



شکل ۱۳- جایگاه ناودیس‌ها روی نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از گستره.



شکل ۱۴- نمای سه بعدی از ناودیس AJ2 که سه محور چین خوردگی را نمایش می دهد.



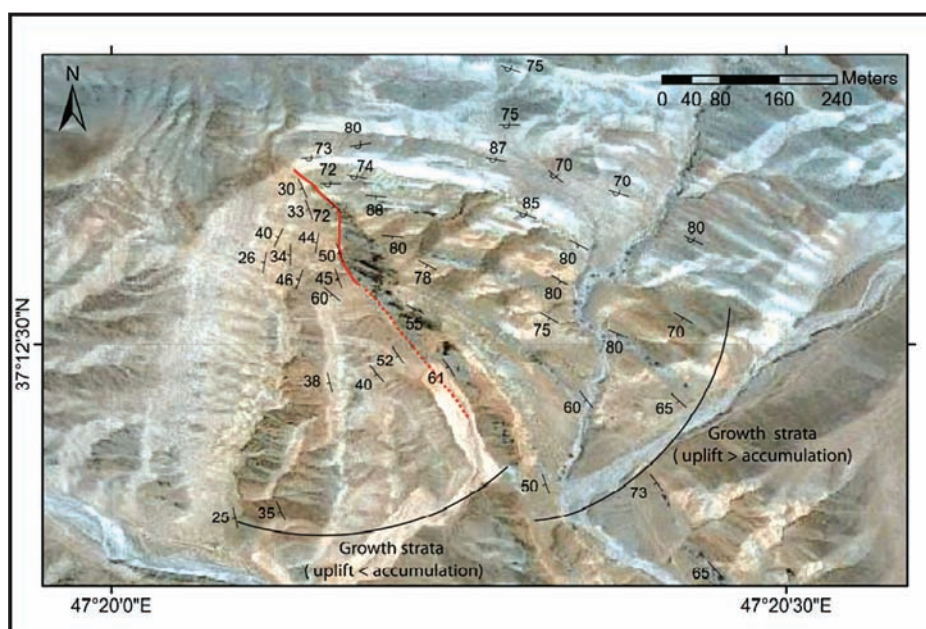
شکل ۱۵- برش های ساختاری نمادین از بخش های گوناگون گستره.



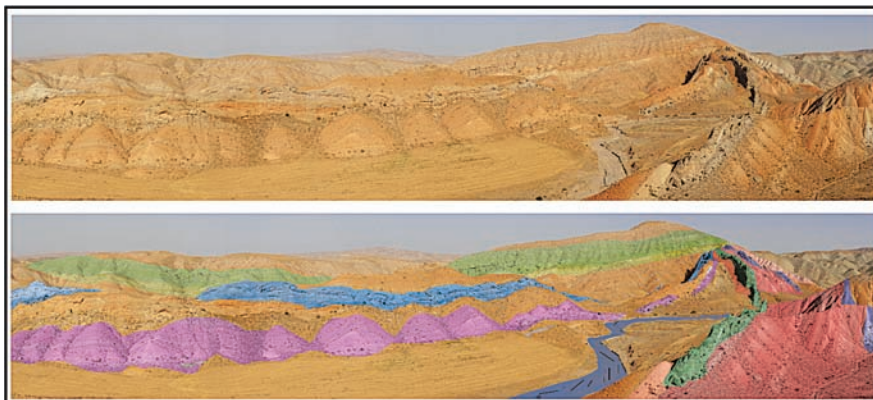
شکل ۱۶- نمایی از چین جعبه‌ای تشکیل شده در گستره هشتروند (روستای اورتاسو). نگاه به سوی شمال باختر.



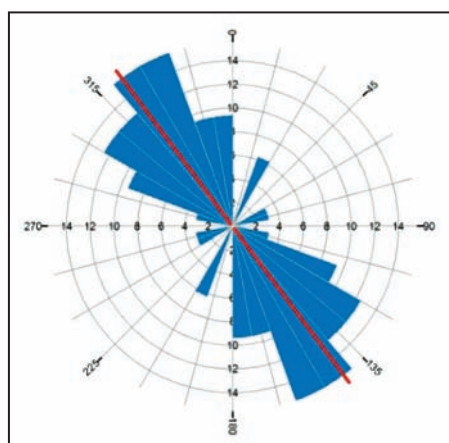
شکل ۱۷- نمایی از ناودیس آویخته شکل گرفته درون واحد M1gm (محل استقرار دوربین در نقطه GPS ۴۱۰۱۶۹۴ - ۷۴۳۵۸۶ - زون ۳۸).



شکل ۱۸- نمایش اجزای سازنده ساختار رشد همراه با تغییرات شیب و راستا لایه‌ها، خط سرخ نشان دهنده ناپیوستگی زاویه‌ای است.



شکل ۱۹- ساختار چین‌های رشد موجود در گستره هشت‌رود- ناودیس FF' در شمال بزرگراه تبریز زنجان- ۱۵ کیلومتری میانه که با رنگ‌های مختلف نشان داده شده است (دید به سوی شمال باختر) در شکل تغییرات رنگ نشان‌دهنده تغییرات جنس رسوب‌ها است که با دور شدن از مرکز ساخت رشدی بر سبزی رسوب‌ها افزوده می‌شود.



شکل ۲۰- نمودار گل‌سرخ راستای محور چین‌های گستره (زاویه میان درجه‌بندی‌ها ۱۵ درجه و خط سرخ نشانگر میانگین راستا محورهای چین خوردگی است).

کتابنگاری

آفانباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
قاسمی، م. ر.، ۱۳۸۷- پایه‌های زمین‌شناسی ساختمانی. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- Allen, M., Ghassemi, M. R., Shahrabi, M. & Qorashi, M., 2003- Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, northern Iran, J. Struct. Geol., v.25, p.659-672.
- Catuneanu, O., 2006- Principles of sequence Stratigraphy. (First edition), Amsterdam, Elsevier, 375p.
- Elmore, R. Douglas, W. & Farrand, R., 1981- Tar sands in synorogenic Mio-Pliocene molasses deposits, Zagros Mountains, Iran: AAGP Bull., v. 65, p. 1160-1165.
- Fleuty, M. J., 1964- The description of folds. Proceed- ing of Geological association of London, 75, 461-492.
- Verges, J., Saura, E., Casciello, E., Fernandez, M., Villasenor, A., Jimenez-Munt, I. & Garciacastellanos, D., 2011- Crustal-scale cross-sections across the NW Zagros belt: implications for the Arabian margin reconstruction. Geological Magazine v. 148, p. 739-61.
- Walker, R. G. & Cant D. J., 1984- Sandy fluvial systems. In: Walker, R. G (ed.), Facies Models. 2nd edition, Geoscience Canada Reprint Series 1, p. 71-89.

Detachment Folding in Mianeh-Mahnesan Area: Interaction Between Sedimentation in the Upper Red Formation Basin and Shortening

M. Baghernejhad ^{1*}, M.R. Ghassemi ² & B.Oveisi ³

¹ M. Sc. Student, Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

² Associate Professor, Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

³ Ph.D., Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

Received: 2014 January 11

Accepted: 2014 June 10

Abstract

There is a close relationship between resistance to slip along decollement surfaces and presence of deep and shallow decollement levels in thin-skinned fold and thrust wedges. Decollement units in lower (Upper Red Formation) stratigraphic levels in Mianeh-Mahnesan fold belt have an effective role on the geometry and kinematics of deformation of the area. In order to understand the fold geometry and folding mechanisms, and to explore depth-to-the-decollement surface, we carried out data collection and field study in an area between Mianeh and Mahnesan cities. Folded structures in the study area are different from other structures within the area, as well as from the structures in the neighboring Alborz Mountains. The rise of salt domes along with the plasticity of marls in the Upper Red Formation have resulted in extreme complexities in folding pattern. In order to analyze syn-sedimentary structural features and interpret the geological evolution of the area, we used detailed structural measurements, sedimentological and sedimentary environment features, sedimentary rock studies, and paleogeography. One of the results of this study was the interpretation of syn-sedimentary growth structures in the Mianeh-Mahnesan area, which helped us to construct six structural cross-sections (AA', BB', CC', DD', EE' and FF') across the folded structures. Measured shortening along two Sections AA' and DD' is 46.65% and 38.05%, respectively, with an average of 42.3%. These values are different from those estimated for the neighboring Alborz and Zagros Orogens, where shortening ranges between 16-30%. We attribute this difference to local intense shortening in the study area caused by several factors such as basin slope, deep faults and weak beds along decollement surfaces. This study indicates that dominant folding mechanisms in the study area are detachment folding, and fault-propagation or fault-bend folding. The presence of evaporitic material (gypsum and salt) within the succession has played a major role in the kinematics of folding.

Keywords: Folding, Mianeh, Mah-Neshan, Decollement Depth, Upper Red Formation

For Persian Version see pages 169 to 180

*Corresponding author: M. Baghernejhad; E-mail: baghernejhad.majid@gmail.com