



رمین شناسی ساختاری ایسران

دانشکاه بیر جند

۲۲ آذر ۱۳۹۵

تحلیل دگرشکلی پیشرونده در شکلگیری چینهای مرتبط با سیستمهای ترافشارشی با استفاده از مدلسازی عددی و آنالوگ

\$\$\$\$

حسین هرمزی مقدم'، چنور حسینی'، مهدی بهیاری^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد تکتونیک، گروه زمینشناسی، دانشگاه ارومیه، ایران st_h.hormozi@urmia.ac.ir ۲دکتری تکتونیک، استادیار گروه زمینشناسی، دانشگاه ارومیه، ایران m.behyari@urmia.ac.ir

چکیدہ:

همگرایی مایل صفحه عربی و اوراسیا، باعث شکل گیری سامانه ترافشارشی در برخی از مناطق کمربند چینخوردگی-راندگی زاگرس شده، که زاویه این همگرایی در قسمتهای مختلف، متفاوت است. در این مطالعه با استفاده از مدلسازی آنالوگ و عددی تأثیر زاویه همگرایی بر نوع چین خوردگی و انحنای محور چین، با دو زاویه ۱۵ و ۳۰ درجه مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده از هر دو مدل آنالوگ و عددی نشان دهنده این موضوع می باشد که نخستین تغییر شکل و چین خوردگی در پیشانی جهبه بر خورد به وجود می آید، که نشان از انطباق قابل قبول مدل عددی و آنالوگ با یکدیگر دارد. مقایسه نمودارهای جابه جایی بر حسب زمان در دو مدل عددی نشان می دهد که اختلاف زمان جابه جایی قائم بین دماغه شمالی و جنوبی، در همگرایی ۳۰ درجه بیشتر از همگرایی ۱۵ درجه می باشد. به عبارتی می توان نتیجه گرفت که هرچه زاویه همگرایی بیشتر باشد، زمان انتقال دگر شکلی از دماغه شمالی به سمت دماغه جنوبی بیشتر بوده و انحنای محور چین نیز بیشتر خواهد بود.

کلیدواژهها: سامانه ترافشارشی، کمربند چینخوردگی-راندگی زاگرس، مدلسازی آنالوگ وعددی.

\$\$\$\$

Analysis of progressive deformation in folds propagate in the transpressional setting insight to: Analogue and numerical modeling

\$\$\$\$\$

Hossein Hormozi Moghadam¹, Chnoor Hosseini¹, Mahdi Behyari²

¹Msc student in Tectonics, Geosciences Department, Urmia University, Iran. st_h.hormozi@urmia.ac.ir ²Ph.D in Tectonics, Assistant Professor of Geosciences Department, Urmia University, Iran. m.behyari@urmia.ac.ir

\$\$\$\$





فانشكاه بيرجند

Abstract:

Oblique convergence of the Arabian plate to the Eurasia has caused propagation of a transpression system in the Zagros fold-thrust belt. In this study, we performed two analogue and numerical models with different angular oblique convergences in 15 and 30 degrees to reveal the influence of different angular oblique convergence to the fold axis rotation and the type of folding. The results reveal the first deformation appears in the northern segment (further part of backstop) of both 15 and 30 degrees analogue and numerical models. Displacement-Time curves reveals transportation of deformation and uplift, along the fold axis, is not equal in 15 and 30 degrees models. Time of this transportation in 30 degrees model is more than 15 degrees. In fact, it can be concluded, increasing in angle of convergence is caused of increasing in the fold axis rotation and transportation of deformation.

Keywords: transpressional system, Zagros fold-thrust belt, analogue and numerical modeling.

مقدمه :

1790 157 19

شناخت سازو کار دگرشکلی در تودههای سنگ در عمق زمین، تحلیل مکانیسم دگرشکلی و تحلیل فراوانی و پراکندگی آثار دگرشکلی، از جمله شکستگی گسل خوردگی و چین خوردگی در بسیاری از فعالیتهای صنعتی از جمله تولید نفت و گاز، تزریق و ذخیره سازی گاز دی اکسید کربن و تحلیل خصوصیات مخازن آب زیرزمینی بسیار حائز اهمیت می باشد (Aydin 2000, Ferrill, Sims et al. 2004, Annunziatellis, Beaubien et al. 2008). از روش های معمول و مورد استفاده در دستیابی به تحلیل کرنش و پیشگویی روند چین خوردگی و چینهای مرتبط با گسل خوردگی استفاده از مدل-های کینماتیکی – ژنودینامیکی است (Jamison 1987, Mitra 1990). سیستم تر افشارش ترکیبی از دو سیستم امتداد لغز و فشارشی است که به طور همزمان و عمود برهم عمل می کنند (Harland 1971). همچنین، کوهزاد زاگرس به عنوان قسمتی از کمربند کوهزایی آلپ –هیمالیا و نتیجه همگرایی مایل بین صفحه عربی و خرد قاره ایران مرکزی در طی بسته شدن اقیانوس نئوتتیس، باعث ایجاد سیستم ترافشارش شده است (Harland 1971)، همچنین، کوهزاد زاگرس به عنوان مامان این توتتیس، باعث ایجاد سیستم ترافشارش است (Jamison 1987, Mitra 1990). در طی بسته شدن و فشارشی است که به طور همزمان و عمود برهم عمل می کنند (Harland 1971)، همچنین، کوهزاد زاگرس به عنوان و نشارشی است که به طور همزمان و عمود برهم عمل می کنند (Jamison 1987, Mitra 1990)، در ایران مرکزی در طی بسته شدن و فشارشی است که به طور همزمان و عمود برهم عمل می کنند (Jamison 1971)، همچنین، کوهزاد زاگرس به عنوان و نشارشی است که به طور همزمان و عمود برهم عمل می کنند (Jamison 1973)، همچنین، کوهزاد زاگرس به عنوان موند تقریبی شمالی –جویی در حال پیشروی می باشد (Jamison 1973)، مر ایران مرکزی در طی بسته شدن روند تقریبی شمالی حبوبی در حال پیشروی می باشد (Jamison 1973)، می و خرد قاره ایران مرکزی در طی بسته شران موند تقریبی شمالی –جنوبی در حال پیشروی می به علین از مروزه با سرعت تقریبی ۲۰ میلیم بر در مال و دارای روند تقریبی شمالی –جنوبی در حال پیشروی می باشد (Japar) و عددی مده است. مناسب، جهت نحوه رشد و تکامل چین های مرتبط با سیستمهای ترافشارشی و نمایش تأثیر زاویه همگرایی در مناطق رافشارشی بر روی تکامل چین خوردگی، اقدام به تهیه مدل آنالو گو و عددی شده است.

\$\$\$\$



مر و مین ا چهارمین همایشش ما اختو

زمین شناسی س**اختاری ایسران**

فانشكاه بيرجند

۲۳ آذر ۱۳۹۵

Ĩ

روش تحقيق:

به منظور دستیابی به اهداف مطالعه، دو مدل آنالوگ و دو مدل عددی به ابعاد ۲۱×۳۱ سانتی متر و با زوایای همگرایی ۱۵ و ۳۰ درجه طراحی و اجرا شده است. مواد مورد استفاده در هر دو مدل آنالوگ ، یکسان بوده و از پایین به بالا شامل ماسه آندزیتی به ضخامت 1.5cm، گل رس به ضخامت ۱cm، ماسه بادی به ضخامت 0.5cm، بلور پیرو کسن به ضخامت 0.5cm و یک لایه ماسه سبز رنگ برای مشاهده تغییرات سطحی، که به ضخامت ناچیز برروی سطح مدل پاشیده شده است، می باشد (شکل ۱). مدل عددی نیز برپایه مدل آنالوگ و با مقیاس مشابه، طراحی و اجرا شده است (شکل ۲). به منظور ساده سازی صورت مساله و تحلیل، ۲ لایه به ضخامت اصا، طراحی شده و در دستگاه Sand Box قرار داده شده است. به منظور شبیه سازی مواد مورد استفاده در مدل آنالوگ، از مواد با خاصیت الاستیک و پلاستیک مشخص، که تابع قانون موهر – کلمب می باشد (2012) می ای Smart, Ferrill et al. 2012)، استور در یک تحلیل دینامیک – اکسپلیسیت اجرا می شود.



شکل ۱. مدل های اولیه آنالوگ بدون اعمال دگرشکلی، دید از بالا و روبهرو.a. همگرایی ۳۰ درجه. b. همگرایی۱۵ درجه.



شکل ۲. مدلهای اولیه عددی طراحی شده براساس مدلهای آنالوگ به همراه نوع المانبندی.a. همگرایی ۳۰ درجه. b. همگرایی۱۵ درجه. ♦♦♦♦♦♦



چهارمین همایش ملسی زمین ساخت و

زمین شناسی س**اختاری ایسران**

فانشكاه بيرجند

۲۳ آذر ۱۳۹۵

بحث:

مدلسازی آنالوگ

در مدل آنالوگ اول، با زاویه همگرایی ۱۵ درجه، اولین تغییر شکل جزئی در لایه های مدل، در کوتاه شدگی حدود 2cm و در پیشانی جبهه برخورد (دماغه شمالی) ، به وجود می آید. با ادامه روند دگر شکلی، لایه های زیرین برونزد پیدا کرده و اولین شکستگی ها که به صورت موازی با محور چین هستند، تشکیل می شوند (شکل ۵.۳). با ادامه روند دگر شکلی و در کوتاه شدگی حدود m80، شکستگی های محوری بازتر شده و به دلیل ترافشار ش بودن سیستم و جهت چرخش محور چین، حالت ۶ شکل به خود می گیرند (شکل b.۳). در انتهای فرایند دگر شکلی، در کوتاه شدگی حدود m30 تکامل و رشد چین کامل شده و همچنین شکستگی های برشی به دلیل سیستم ترافشار ش بودن سیستم و جهت چرخش محور نقاط چین کامل شده و همچنین شکستگی های برشی به دلیل سیستم ترافشار ش و اختلاف در سرعت دگر شکلی در برخی و با ادامه روند دگر شکلی، یال سمت دیواره متحرک، بر گشته و تشکیل یک چین خوایده با شیب یال های نامساوی را می دهد.



شکل ۳. مدل آنالوگ با زاویه همگرایی ۱۵ درجه. a. کوتاهشدگی b.4cm. کوتاهشدگی c.8cm. 2. کوتاهشدگی 13cm و تکامل چین-خوردگی به همراه شکستگیهای محوری و برشی و انحنای محور چین.

در مرحله بعد، در مدل آنالوگ با همگرایی ۳۰ درجه نیز اولین تغییر شکل در لایههای مدل، در کوتاه شدگی حدود lcm و درمحل پیشانی جبهه برخورد ظاهر می شود. همانند مرحله قبل، اولین شکستگی هایی که در سطح مدل ایجاد می شوند، دارای روندی موازی با محور چین هستند که با ادامه روند دگر شکلی، شکستگی ها بزرگتر می شود (شکل ۴). لازم به ذکراست که در این مدل، انحنای محور چین بیشتر از مدل قبل بوده و شکستگی های برشی که در محل انحنای محور چین



تشکیل شدهاند، دارای تعداد بیشتری هستند. روند تکامل چین خورد گی با همگرایی ۳۰ درجه در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴. روند تکامل چینخوردگی با همگرایی ۳۰ درجه. ۵. کوتاهشدگی حدود b. 3cm. کوتاهشدگی حدود 8cm و شکل گیری اولین شکستگیهای محوری. c. کوتاهشدگی حدود 13cm و تکامل نهایی چینخوردگی به همراه شکستگیهای محوری و برشی ناشی از انحنای محور چین.

مدلسازی عددی

در این مطالعه مدلهای عددی نیز با زوایای همگرایی ۱۵ و ۳۰ درجه برپایه مدلهای آنالوگ از نقطه نظر مقیاس و مواد مورد استفاده در مدل، طراحی و اجرا شده است که تطابق قابل قبولی را با مدلهای آنالوگ، از نظر مورفولوژی و نتایج، در پی داشته است. سعی شده است که مراحل و تصاویر انتخاب شده برای مدلهای عددی و آنالوگ، در مراحل یکسان از دگر شکلی و کوتاه شدگی باشد تا مقایسه بین این دو راحت تر صورت گیرد. شکل ۵ روند تکامل چین خوردگی را در مدل عددی، با زاویه همگرایی ۱۵درجه نشان می دهد. مقادیر مثبت نشان دهنده تنش فشارشی و مقادیر منفی نشان دهنده تنش کششی است. در ابتدای شروع دگر شکلی، ابتدا تمام سطح لایه تاحدی فشرده شده که این مرحله حد الاستیک نام دارد (شکل ۵۵). در مراحل بعد با رشد چین، قسمت لولایی چین متحمل کشش شده که این مرحله ایجاد تر کها و شکستگیهای محوری مدلهای آنالوگ همخوانی دارد (شکل ۵۵). مدل عددی نشان می دهد که یالهای چین، بعد از کامل شدن مکانیسم چین خوردگی همچنان تحت تنش فشارش می باشد و مقدار این تنش در قسمتهای انحنایی چین و محور آن بیشتر از سایر نقاط است که بخشی از این تنش نیز در سیستم ترافشارشی به صورت تش برشی ظهور پیدا می کند (شکل ۵۵).

زمین شناسی س**اختاری ایسران**

فانشكاه بيرجند

0

1790 1577



شکل۵. روند تکاملی چین خوردگی و انحنای محور چین در مدل عددی با زاویه همگرایی ۱۵ درجه.

پاسخهای مدل عددی به صورت نمودارهای متنوعی قابل استخراج است که در این مطالعه با توجه به هدف تحقیق، نمودارهای جابهجایی بر حسب زمان استخراج شده است. شکل ۶، نمودار جابهجایی بر حسب زمان در همگرایی ۱۵ درجه را برای ۲ دماغه شمالی و جنوبی چین نشان می دهد. منحنی زرد رنگ، جابهجایی در محور X و در راستای عرضی مدل با نشان می دهد. منحنی قرمز رنگ، جابهجایی در محور Y و در راستای قائم مدل را نشان می دهد. منحنی آبی رنگ، جابهجایی در محور Z و در راستای طولی مدل را نشان می دهد. همانگونه که از نمودارها بر می آید، در دماغه شمالی در زمان تحلیل 0.001 ثانیه و کمی بعد از شروع دگر شکلی، جابهجایی در راستای قائم صورت می گیرد (شکل ۵.۶) ، این درحالی است که در دماغه جنوبی، زمان بیشتری لازم است تا جابهجایی قائم و چینخوردگی صورت گیرد واین زمان حدود 2000 ثانیه می باشد (شکل ۵.۶). همچنین با توجه به نمودارها، بیشترین جابهجایی در واحد زمان، مربوط به حرکت حدود 2000 ثانیه می باشد (شکل ۵.۶). همچنین با توجه به نمودارها، بیشترین جابهجایی در واحد زمان، مربوط به حرکت می می شد، به گونهای که مقدار آن در پایان فرایند دگر شکلی در دماغه شمالی حدود mm 8 می باشد، در این می می شد، در این در این بیشینه جابهجایی در راستای طولی مدل حدود mm 8 و در عرض مدل حدود mm 8 می باشد. در دماغه جنوبی بیشینه جابهجایی قائم حدود mm 8 می باشد. در دماغه جنوبی در محمور و در عرض مدل حدود mm 8 می باشد. در دماغه جنوبی بیشینه





شکل ۶.نمودارهای جابهجایی برحسب زمان در سه محور X,Y,Z در همگرایی ۱۵درجه. a. دماغه شمالی(محدوده پیشانی جهبه برخورد و قسمتی که اولین تغییر شکل در آن ایجاد میشود). b. نمودارهای جابهجایی برحسب زمان در دماغه جنوبی.

شکل ۷، نتایج مدلسازی عددی را برای همگرایی ۳۰ درجه نشان میدهد. در این مدل نیز لایهها بعد از عبور از حد الاستیک، وارد چینخوردگی شده و اولین تغییر شکل در پیشانی جبهه برخورد ظاهر می شود. با ادامه روند تحلیل، فرایند چین خوردگی کامل تر شده و انحنای محور چین مشخص تر می شود (شکلc.v).



شکل ۷. روند تکاملی چین خوردگی و انحنای محور چین در مدل عددی با زاویه همگرایی ۳۰ درجه.

نمودارهای بدست آمده از این تحلیل نیز حاکی از اختلاف زمان شروع دگرشکلی و چینخوردگی در دو سوی جبهه برخورد است. به گونهای که زمان شروع چینخوردگی در دماغه شمالی و پیشانی جبهه برخورد حدود 0.001 ثانیه بعد از شروع فرایند دگرشکلی میباشد و در دماغه جنوبی این مقدار به حدود 0.009 ثانیه میرسد (شکل ۸). بیشینه جابه جایی در دماغه شمالی و در راستای قائم حدود 2000، در راستای طولی مدل حدود 65mm و در عرض مدل نیز حدود 6mm میباشد، این درحالی است که در دماغه جنوبی، بیشینه جابه جایی قائم در حدود 80mm، در راستای طولی مدل حدود 65mm





شکل ۸ نمودارهای جابهجایی برحسب زمان در سه محور X,Y,Z در همگرایی ۳۰ درجه. a. دماغه شمالی(محدوده پیشانی جهبه برخورد و قسمتی که اولین تغییر شکل در آن ایجاد میشود). b. نمودارهای جابهجایی برحسب زمان در دماغه جنوبی.

مقایسه نمودارهای جابهجایی برحسب زمان در دو مدل عددی نشان میدهد که اختلاف زمان شروع جابهجایی قائم در دو سوی جبهه برخورد، در همگرایی ۳۰ درجه بیشتر از همگرایی ۱۵ درجه میباشد. این اختلاف در همگرایی ۳۰ درجه معادل 0.008 ثانیه و در همگرایی ۱۵درجه معادل 0.004 ثانیه میباشد. به عبارتی میتوان نتیجه گرفت که هرچه زاویه همگرایی بیشتر باشد، زمان انتقال دگرشکلی از دماغه شمالی به سمت دماغه جنوبی بیشتر بوده و انحنای محور چین نیز بیشتر خواهد بود.

\$\$\$\$\$

نتيجه گيري:

نتایج بدست آمده از هر دو مدل آنالوگ و عددی نشان دهنده این موضوع می باشد که اولین تغییر شکل و چین خوردگی در پیشانی جهبه بر خورد به وجود می آید که نشان از انطباق قابل قبول مدل عددی و آنالوگ با یکدیگر دارد. مدل عددی نشان می دهد، در حالی که قسمت لولای چین تحت تنش کششی می باشد، یال های چین، بعد از کامل شدن مکانیسم چین خوردگی همچنان تحت تنش فشارش می باشد و مقدار این تنش در قسمت های انحنایی چین و محور آن بیشتر از سایر نقاط است که بخشی از این تنش نیز در سیستم ترافشارشی به صورت تنش برشی ظهور پیدا می کند. مقایسه نمودارهای جابه جایی بر حسب زمان در دو مدل عددی نشان می دهد که اختلاف زمان جابه جایی قائم در همگرایی ۳۰ در جه بیشتر از 0.004 همگرایی ۱۵ در جه می باشد. این اختلاف در همگرایی ۳۰ در جه معادل 2000 ثانیه و در همگرایی ۱۵ در جه معادل 0.004



ثانیه میباشد. به عبارتی میتوان نتیجه گرفت که هرچه زاویه همگرایی بیشتر باشد، زمان انتقال دگرشکلی از دماغه شمالی به سمت دماغه جنوبی بیشتر بوده و انحنای محور چین نیز بیشتر خواهد بود.

\$\$\$\$

References:

- Agard, P., et al. (2005). "Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation." <u>International journal of earth sciences</u>**94**(3): 401-419.
- Agard, P., et al. (2011). "Zagros orogeny: a subduction-dominated process ".<u>Geological</u> <u>magazine</u>148(5-6): 692-725.
- Alavi, M. (1994). "Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations." <u>Tectonophysics</u>229(3-4): 211-238.
- Annunziatellis, A., et al. (2008). "Gas migration along fault systems and through the vadose zone in the Latera caldera (central Italy): implications for CO2 geological storage." International Journal of Greenhouse Gas Control2(3): 353-372.
- Aydin, A. (2000). "Fractures, faults, and hydrocarbon entrapment, migration and flow." <u>Marine and petroleum geology</u>**17**(7): 797-814.
- Ferrill, D. A., et al. (2004). "Structural framework of the Edwards Aquifer recharge zone in south-central Texas." <u>Geological Society of America Bulletin</u>**116**(3-4): 407-418.
- Harland, W. (1971). "Tectonic transpression in caledonian Spitsbergen." <u>Geological</u> <u>magazine</u>**108**(01): 27-41.
- Jamison, W. R. (1987). "Geometric analysis of fold development in overthrust terranes." Journal of Structural Geology**9**(2): 207-219.
- Mitra, S. (1990). "Fault-propagation folds :geometry, kinematic evolution, and hydrocarbon Traps (1)." <u>AAPG Bulletin</u>74(6): 921-945.
- Mohajjel, M. and M. Behyari (2010). "Young transpressive positive flower structure along the Zagros collision zone, Nahavand area, west Iran." <u>New England Orogen 20:243-252.</u>
- Mohajjel, M. and A. Rasouli (2014). "Structural evidence for superposition of transtension on transpression in the Zagros collision zone: Main Recent Fault, Piranshahr area, NW Iran." Journal of Structural Geology62: 65-79.
- Smart, K. J ,.et al. (2012). "Geomechanical modeling of stress and strain evolution during contractional fault-related folding." <u>Tectonophysics</u>576: 171-196.