

مدلسازی عددی تاثیر فاصله‌داری و زاویه‌داری درزه Y شکل نزدیک بار کششی میل مهار بر رشد ترک

وهاب سرفرازی^۱، محمدرضا عجم زاده^۲

۱- استادیار، گروه مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی همدان

۲- کارشناسی ارشد استخراج معدن، گروه مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی همدان

(دریافت ۱۳۹۷/۰۳/۲۹، پذیرش ۱۳۹۷/۰۶/۱۴)

چکیده

ابعاد حفریات زیرزمینی یکی از پارمترهای کلیدی در پایداری آن است. در توده‌سنگ‌های ضعیف، حفریات بزرگ زمان پایداری کمی دارند بطوری که این زمان از زمان نصب نگهداری کمتر است. راک‌بولت‌ها به عنوان یکی از سیستم‌های نگهداری در پایدارسازی پروژه‌های مهندسی سنگ کاربرد دارند. نقش اصلی راک‌بولت‌ها، افزایش مقاومت زمین است. عملکرد راک‌بولت‌ها به کیفیت نصب آن‌ها بستگی دارد. با استفاده از روش‌های کشش راک-بولت و تست گشتاور می‌توان از کیفیت نصب راک‌بولت مطلع شد. شبیه‌سازی‌های عددی از دیگر روش‌هایی است که برای مطالعه رفتار راک‌بولت کاربرد دارند. در این روش‌ها می‌توان رفتار پیچیده راک‌بولت را که با مطالعه آزمایشگاهی امکان‌پذیر نیست، مطالعه کرد. در این مقاله سعی شده است که با استفاده از نرم‌افزار $franc 2d$ تاثیر نیروی وارده از طرف راک‌بولت بر روی درزه Y شکل مدلسازی شود. زاویه درزه بزرگ نسبت به افق (β) صفر، ۴۵ و ۹۰ درجه است. زاویه درزه کوچک نسبت به درزه بزرگ (α)، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰ و ۱۶۰ درجه است. فاصله درزه از مرکز محل اعمال نیرو $2a$ ، $3a$ و $4a$ است که a طول درزه بزرگ است. در این پژوهش ۵۲ مدل مورد بررسی قرار گرفت. در حالتی که درزه افقی باشد بیشترین و در حالت قائم کمترین رشد درزه دیده می‌شود. بیشترین تعداد رشد درزه نیز در حالتی است که زاویه درزه بزرگ نسبت به افق ۴۵ درجه باشد. بیشترین گسترش رشد شاخه کوچک در حالت افقی و بیشترین تعداد رشد شاخه کوچک درزه نیز در زاویه ۴۵ درجه نسبت به افق اتفاق افتاده است.

کلمات کلیدی

راک‌بولت، $franc 2d$ ، درزه Y شکل، رشد درزه، زاویه‌داری، فاصله‌داری.

۱- مقدمه

در اثر پدیده‌های مختلف زمین‌شناسی درزه‌ها به اشکال گوناگون در طبیعت ظاهر می‌شوند که یکی از این اشکال درزه Y شکل است که از برخورد دو درزه ناممتد با شیب‌های متفاوت ایجاد می‌شود. ابعاد حفریات زیرزمینی یکی از پارامترهای کلیدی در پایداری آن است. در توده‌سنگ‌های ضعیف، حفریات بزرگ مقیاس، زمان پایداری کمی دارند، بطوریکه این زمان از زمان نصب نگهداری کمتر است، بنابراین نیاز به طراحی یک سیستم نگهداری سریع‌الاجراست تا به پایداری سنگ کمک کند. در طی سال‌های اخیر استفاده از راک‌بولت‌ها مرسوم شده است. راک‌بولت‌ها به عنوان یکی از سیستم‌های نگهداری در پایداری‌سازی پروژه‌های مهندسی سنگ کاربرد دارند [۱]. طی چند دهه گذشته کاربرد پیچ‌سنگ‌ها در اهداف استحکام بخشیدن به شیب‌ها، دیوارها، تونل‌ها به ویژه در تونل‌های معدن و راه روزافزون بوده است. در حال حاضر کاربرد پیچ‌سنگ یکی از ابتدایی‌ترین تکنیک‌های مستحکم کردن سقف و دیواره‌های تونل‌ها است. در هر نقطه‌ای بنا به ضرورت به صورت موضعی و کلی می‌توان از پیچ‌سنگ‌ها استفاده کرد. کاربرد پیچ‌سنگ‌ها تا حد زیادی از خطرات ریزش قطعه سنگ‌ها جلوگیری می‌کند و مقطع مفیدی در تونل‌ها ایجاد می‌کند در صورتی که استفاده از نگهداری چوبی و آرک‌های فولادی مقطع مفید تونل‌ها را تا حد قابل توجهی کاهش می‌دهد ولی مشکلاتی در مسایل مهندسی ترابری در معادن ایجاد می‌کند. در نگهداری به صورت مرکب از پیچ‌سنگ، بتن‌پاشی و توری فلزی (مش) به صورت یک سیستم ادغامی استفاده می‌شود که جایگزین بسیار خوبی برای آرک‌های فولادی به شمار می‌آید [۲].

نقش اصلی راک‌بولت‌ها، افزایش مقاومت زمین است. عملکرد راک‌بولت‌ها به کیفیت نصب آن‌ها بستگی دارد. با استفاده از روش‌های کشش راک‌بولت [۳] و تست گشتاور [۴] می‌توان از کیفیت نصب راک‌بولت مطلع شد. در واقع عملیات راک‌بولت‌گذاری از یک طرف گوه‌های لغزش را ثابت نگه می‌دارد و از طرف دیگر با اعمال نیرو به لایه‌های سنگ باعث گیرداری لایه‌ها به یکدیگر می‌شود [۵]. تاثیر راک‌بولت بر سنگ مجاور توسط محققان متعددی ارایه شده است [۶-۹]. راک بولت نه تنها باعث پایداری گوه‌ها و یا گیرداری لایه‌ها می‌شوند بلکه سختی سنگ را نیز افزایش می‌دهند [۱۰]. راک‌بولت‌ها فعالیتشان را با مکانیزم‌های متعددی انجام می‌دهند. در اولین گام باعث افزایش تنش و مقاومت اصطکاکی در عرض صفحه

درزه ناپایدار می‌شوند که منجر به افزایش پایداری صفحه درزه می‌شود [۱۱]. در دومین گام انبساط راک‌بولت‌ها (راک بولت‌های انبساطی) می‌تواند باعث تراکم درزه‌های پیرامونی و افزایش مقاومت سنگ شود.

روش معمول برای بررسی عملکرد راک‌بولت استفاده از آزمایش کشش راک‌بولت است. از اوایل دهه ۱۹۸۰، مطالعات متعددی در مورد نصب راک‌بولت در تست‌های مختلف انجام شده است [۱۲-۱۴]. فریمن^۱ روند بارگذاری راک‌بولت و توزیع تنش‌های برشی در امتداد راک‌بولت را بررسی کرد و مفاهیمی همانند نقطه خنثی و طول موثر را ارایه داد [۱۲]. مطابق این مفاهیم زمانی که نیروی محوری در راک‌بولت ماکزیمم است، جابه‌جایی توده‌سنگ و راک‌بولت در نقطه خنثی یکسان است. ایندراواتنا^۲ یک مدل ریاضی برای طراحی راک‌بولت‌های دوغابی مطابق معیار الاستوپلاستیک ارایه کرد [۱۵]. جیانگ و همکاران^۳ [۱۶] معیار ریاضی دیگری در رابطه با اتساع توده‌سنگ تحت اثر راک‌بولت ارایه کردند. مطالعات دیگر نشان دادند زمانی که لغزش اتفاق می‌افتد، نقطه خنثی مفهوم ندارد [۱۷-۲۰]. مطالعه اندرکنش بین راک‌بولت و سنگ اطراف با استفاده از تئوری بار-فیبر قابل ارزیابی است. این تئوری بر اساس تئوری الاستیک برقرار است [۲۱]. ویتل^۴ مدلی بر اساس تئوری الاستیک ارایه داد که بر اساس آن می‌توان رفتار کشش راک‌بولت را مطالعه کرد [۲۲].

تاریخ استفاده از راک‌بولت‌ها مربوط به سال ۱۹۱۳ است [۲۳]. هر چند استفاده از راک‌بولت‌ها از سال ۱۹۴۰ در معادن آمریکا رایج شد.

اولین مطالعه تحقیقاتی که مربوط به درک مکانیک راک‌بولت‌گذاری و مشاهده رفتار راک‌بولت تحت بار است، مربوط به تحقیقات اندرسبی^۵ است [۲۴]. در اروپا اولین استفاده از راک‌بولت‌ها زمان اجرای تونل NATM است. در طی سال‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰، تحقیقات متعددی برای رفتارنگاری راک‌بولت‌های نصب شده، انجام شد [۳۳-۳۵]. در سال ۱۹۹۰، لوناردی^۶ [۳۴-۳۷] نشان داد که اجرای راک‌بولت قبل از اجرای تونل، می‌تواند منجر به افزایش مقاومت سنگ شود و حفاری تونل را ایمن‌تر کند.

نحوه طبقه‌بندی راک‌بولت‌ها متفاوت است. یکی از این طبقه‌بندی‌ها بر اساس روش نصب است که می‌توان به راک‌بولت‌های اصطکاکی، مکانیکی و دوغابی اشاره کرد [۱۱]، [۳۸-۴۰] یا در تقسیم‌بندی دیگری، به راک‌بولت‌های فعال و

انجام دادند. در این مقاله تأثیر کشش راکبالت بر روی درزه Y شکل به وسیله نرم‌افزار FRANC2D بررسی می‌شود. دلیل انتخاب درزه Y شکل نوآوری در تحقیق است. این درزه Y شکل که تعداد آن ۱ عدد است، در سنگ قرار دارد.

۲- مدلسازی

در این مقاله، مدلسازی با نرم‌افزار franc 2d انجام گرفت. ابتدا شبکه‌بندی در فضای نرم‌افزار Casca انجام و فایل به وجود آمده وارد نرم‌افزار franc 2d شد، سپس شرایط مرزی و مشخصات ماده مورد نظر اعمال شد (جدول ۱).

در ابتدا مدلی با ابعاد 100×80 متر ساخته شد. ابعاد مدل به صورتی انتخاب شده که مرزهای مدل به اندازه کافی از درزه Y شکل فاصله داشته باشد. مرزهای سمت چپ و راست مدل در جهت X و Y بسته شده و مرز افقی بالایی مدل در جهت X گیردار شده است. در این شبیه‌سازی از الزام‌های چهار گره‌ای استفاده شده است. در این تحقیق وابستگی جواب به سائز مش بررسی نشده است. چسبندگی و زاویه اصطکاک در مرز مش‌ها لحاظ شده است که مقدار آن به ترتیب ۳ مگاپاسکال و ۳۲ درجه است، سپس مقدار تنش کششی ۱۰ مگاپاسکال در مرکز وجه پایین نمونه اعمال شد که نشان‌دهنده یک راکبالت در این محل است. این هندسه بارگذاری ممکن است نماینده یک تست برجا باشد که به دلیل محدودیت‌های آزمایشگاهی امکان اثبات برجای آن موجود نیست. در این تحقیق به ویژگی‌های راکبالت نیاز نیست زیرا اثر تنش راکبالت به محل یاد شده اعمال شده است. شکل ۱ نحوه توزیع تنش را قبل از ایجاد ترک نمایش می‌دهد.

پس از اعمال تنش، در نمونه ترک Y شکلی ایجاد می‌شود. فاصله مرکز ترک تا وجه پایین مدل با H که برابر با $2a$ ، $3a$ و $4a$ است، نمایش داده شده است. a طول ترک را نشان می‌دهد. مشخصات ترک در شکل ۲ نشان داده شده است.

در این مدلسازی اندازه زاویه β ، α ، 45° و 90° درجه تغییر می‌کند و اندازه زاویه α نیز 20° ، 40° ، 60° ، 80° ، 100° ، 120° و 140° و 160° درجه متغیر است. مشخصات نمونه‌های بررسی شده در جدول ۲ آورده شده است.

غیرفعال تقسیم می‌شوند. به طور کلی پیچ‌سنگ‌ها بر حسب نوع عملکرد و روش نصب، به دو نوع تقسیم می‌شوند:

۱- پیچ‌سنگ‌ها با مهار نقطه‌ای

۲- پیچ‌سنگ‌ها با مهار تمام‌طول یا تزریقی

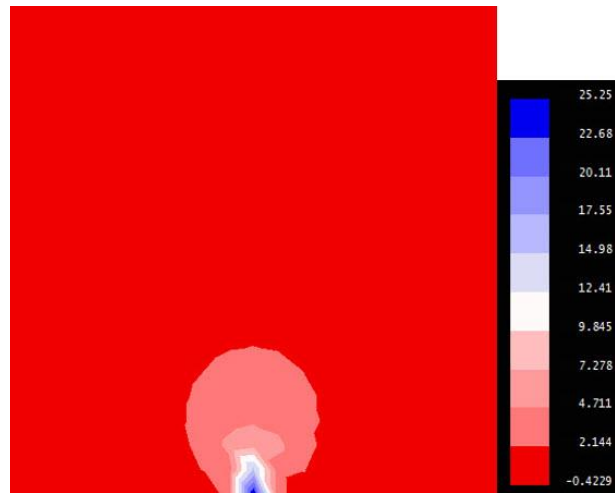
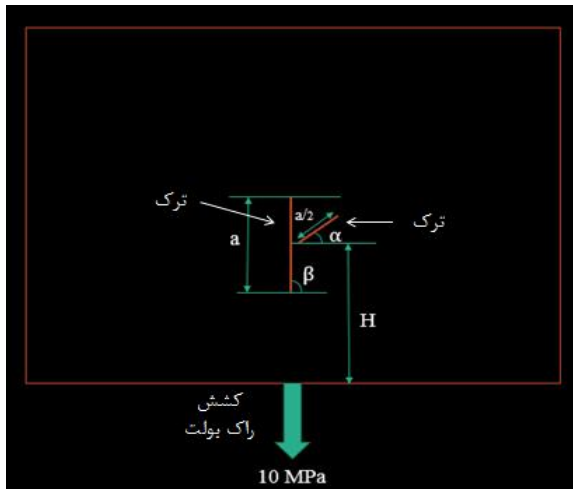
انواع دیگری از پیچ‌سنگ‌ها نیز امروزه مورد استفاده‌اند که برای شرایط خاصی طراحی می‌شوند. برای مثال می‌توان از پیچ‌سنگ‌های خاص، نوع تسلیمی را نام برد که در سنگ‌های ضعیف یا نرم کاربرد دارد [۲].

هر چند با مطالعات برجا می‌توان از عملکرد راکبالت و اندرکنش آن با سنگ اطلاعات مفیدی را کسب کرد ولی انجام این کار مشکل و پرهزینه است. شبیه‌سازی‌های عددی یکی دیگر از روش‌هایی است که برای مطالعه رفتار راکبالت کاربرد دارد. در این روش‌ها می‌توان رفتار پیچیده راکبالت را که با مطالعه آزمایشگاهی امکان‌پذیر نیست، مطالعه کرد.

بیرد و لاوی^۷ تست غیر مخرب راکبالت‌ها با امواج فراصوت هدایت‌شده را انجام دادند [۴۱]. گوان^۸ و همکاران [۴۲] تقویت راکبالت غیرفعال در تونل‌سازی معمولی را بررسی کردند. زو^۹ و همکاران [۴۳] اثرات فرکانس و طول دوغاب بر روی رفتار امواج فراصوت دوغاب در راکبالت را مورد بررسی قرار دادند. ایوانوویچ و دی نیلسون^{۱۰} [۴۴] تأثیر هندسه و خصوصیات موج بر روی لرزش محوری یک راکبالت را مورد توجه قرار دادند. چون لین لی^{۱۱} [۴۵] رفتار یک بولت برای نگهداری توده‌سنگ در منطقه با تنش بالا را بررسی کرد. دب و سی داس^{۱۲} [۴۶] مدلسازی راکبالت تمام دوغابی بر اساس روش الزام محدود توسعه یافته را انجام دادند. چن^{۱۳} [۴۷] بر روی آنالیز تنش راکبالت‌ها کار کرد. کائو^{۱۴} و همکاران [۴۸] روش تحلیلی برای انتخاب میلگرد بولت‌ها در جلوگیری از شکست راکبالت ارایه دادند. نمسیک^{۱۵} و همکاران [۴۹] مدلسازی عددی انتشار شکست در راکبالت‌های تمام دوغابی تحت بار کششی را به انجام رساندند. کریستجانسون^{۱۶} [۵۰] کتابی در مورد راکبالت‌گذاری و تست بیرون کشیدن بر روی میلگرد بولت‌ها نوشت. کانگ^{۱۷} و همکاران [۵۱] رفتار مکانیکی راکبالت را در جاده معادن زغال چین بررسی کردند. چانگینگ^{۱۸} و همکاران [۵۲] مدلسازی ترک دوغاب در سیستم راکبالت دوغابی را

جدول ۱: مشخصات ماده

نوع ماده	مدول یانگ (MPa)	ضخامت	چگالی (g/cm^3)	ضریب پواسون	چقرمگی شکست کششی
ایزومتریک	۶۰۰۰	۱	۲۸۰۰	۰٫۲	۱



شکل ۱: توزیع تنش قبل از ایجاد ترک

شکل ۲: نمای شماتیکی از محل قرارگیری درزه Y شکل، زاویه‌داری درزه Y شکل، طول یال‌های آن و محل اعمال تنش

جدول ۲: مشخصات نمونه‌ها

α°	β°	H	مدل	α°	β°	H	مدل
۲۰	۹۰	۲a	۲۷	۴۰	۰	۲a	۱
۴۰	۹۰	۲a	۲۸	۶۰	۰	۲a	۲
۶۰	۹۰	۲a	۲۹	۸۰	۰	۲a	۳
۸۰	۹۰	۲a	۳۰	۴۰	۴۵	۲a	۴
۱۰۰	۹۰	۲a	۳۱	۶۰	۴۵	۲a	۵
۱۲۰	۹۰	۲a	۳۲	۸۰	۴۵	۲a	۶
۱۴۰	۹۰	۲a	۳۳	۱۰۰	۴۵	۲a	۷
۱۶۰	۹۰	۲a	۳۴	۱۲۰	۴۵	۲a	۸
۴۰	۰	۴a	۳۵	۱۴۰	۴۵	۲a	۹
۶۰	۰	۴a	۳۶	۴۰	۹۰	۲a	۱۰
۸۰	۰	۴a	۳۷	۶۰	۹۰	۲a	۱۱
۴۰	۴۵	۴a	۳۸	۸۰	۹۰	۲a	۱۲
۶۰	۴۵	۴a	۳۹	۱۰۰	۹۰	۲a	۱۳
۸۰	۴۵	۴a	۴۰	۱۲۰	۹۰	۲a	۱۴
۱۰۰	۴۵	۴a	۴۱	۱۴۰	۹۰	۲a	۱۵
۱۲۰	۴۵	۴a	۴۲	۱۶۰	۹۰	۲a	۱۶
۱۴۰	۴۵	۴a	۴۳	۴۰	۰	۳a	۱۷
۱۶۰	۴۵	۴a	۴۴	۶۰	۰	۳a	۱۸
۲۰	۹۰	۴a	۴۵	۸۰	۰	۳a	۱۹
۴۰	۹۰	۴a	۴۶	۴۰	۴۵	۳a	۲۰
۶۰	۹۰	۴a	۴۷	۶۰	۴۵	۳a	۲۱
۸۰	۹۰	۴a	۴۸	۸۰	۴۵	۳a	۲۲
۱۰۰	۹۰	۴a	۴۹	۱۰۰	۴۵	۳a	۲۳
۱۲۰	۹۰	۴a	۵۰	۱۲۰	۴۵	۳a	۲۴
۱۴۰	۹۰	۴a	۵۱	۱۴۰	۴۵	۳a	۲۵
۱۶۰	۹۰	۴a	۵۲	۱۶۰	۴۵	۳a	۲۶

مراتب بالاتر از دو حالت دیگر است. این مقدار برای زاویه ۴۰ درجه (مدل ۱) ۱۰۶۹ مگاپاسکال ثبت شده است در حالی که برای زاویه ۶۰ و ۸۰ درجه به ترتیب مقادیر ۱۱۵۸ و ۱۳۶۳ مگاپاسکال ثبت شده است. گسترش ترک در دو مدل دیگر تقریباً شبیه به هم است و تفاوت آن‌ها در شاخه کوچک است که گسترش کمی دارد. در زاویه ۶۰ درجه تقریباً افقی است ولی در زاویه ۸۰ درجه به صورت مستقیم امتداد پیدا کرده است که تنش فشاری وارد بر مدل ۳ نیز بیشتر از مدل ۲ است. تفاوت دیگری که در توزیع تنش مدل‌های بالا دیده می‌شود مربوط به مقدار تنش کششی (رنگ آبی) است که در مدل به وجود می‌آید. در مدل ۱ این مقدار برابر با ۱۲۲۹ مگاپاسکال است که کمترین مقدار در بین هر سه مدل است و همچنین برخلاف دو مدل دیگر محل قرارگیری آن در نزدیکی محل ترک و به صورت افقی است در حالی که برای دو مدل دیگر این محل، در نقطه اعمال تنش کششی راک بولت است و مقادیر آن‌ها هم برای مدل ۲ و ۳ به ترتیب برابر با ۲۵۲٫۳ و ۲۵۳٫۳ مگاپاسکال است.

$$\beta=45^{\circ} - 2-1-3$$

در این حالت مدل‌های ۴ تا ۹، با زاویه‌های ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰ و ۱۴۰ درجه قرار دارند که شکل ۵ توزیع تنش

زمانی که $\beta=0^{\circ}$ است، زاویه α دارای زاویه‌های ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درجه است. همچنین زاویه ۲۰ و ۱۶۰ درجه در تعدادی از نمونه‌ها قابل اجرا نبود و با خطای سیستم مواجه شد که در این موارد از آن‌ها نیز چشم‌پوشی شد. در نهایت برای انجام این مقاله ۵۲ مدل ساخته شد که در ادامه مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۳- بحث و بررسی

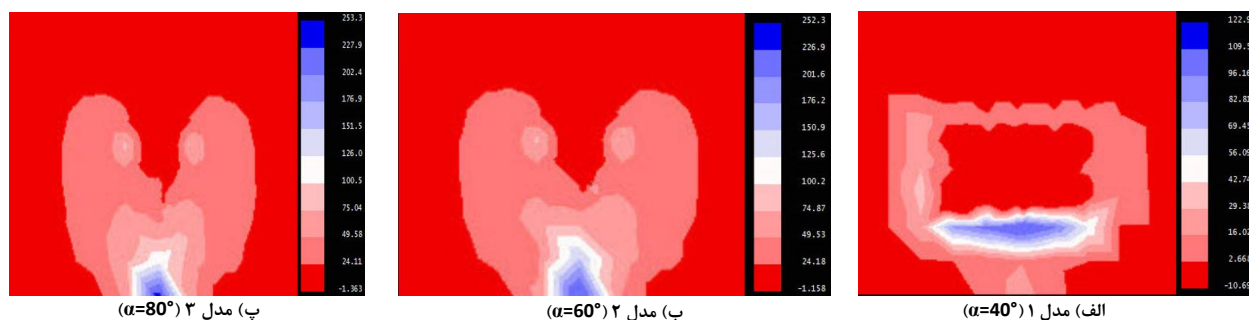
$$H=2a - 1-3$$

$$\beta=0^{\circ} - 1-1-3$$

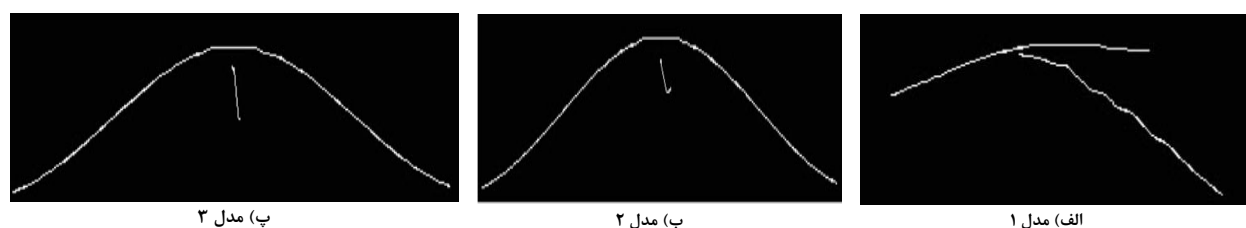
در این حالت مدل‌های ۱ تا ۳، با زاویه‌های ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درجه قرار دارند که شکل ۳ توزیع تنش پس از ایجاد ترک را در این مدل‌ها نشان می‌دهد. در این تحقیق توزیع تنش در نمونه‌های ترک‌دار بررسی شده است.

در شکل ۴ نحوه گسترش ترک Y شکل در مدل‌های ۱ تا ۳ نشان داده شده است.

همانطور که در شکل ۴ مشخص است در زاویه ۴۰ درجه گسترش ترک کمتر است ولی تاثیرگذاری شاخه کوچک ترک به مراتب بالاتر است. همچنین در این مدل، میزان تنش فشاری (رنگ قرمز در شکل ۳) که در نمونه به وجود آمده به

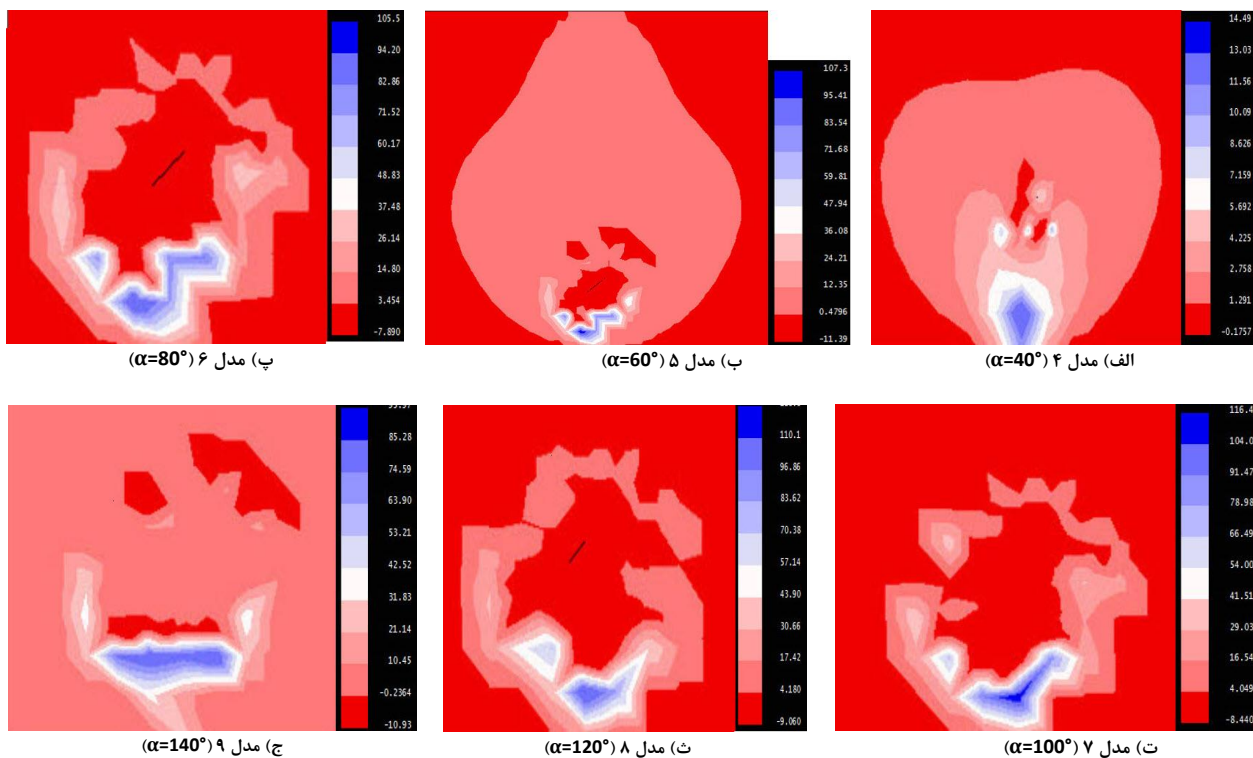


شکل ۳: توزیع تنش پس از ایجاد ترک در حالت $\beta=0^{\circ}$

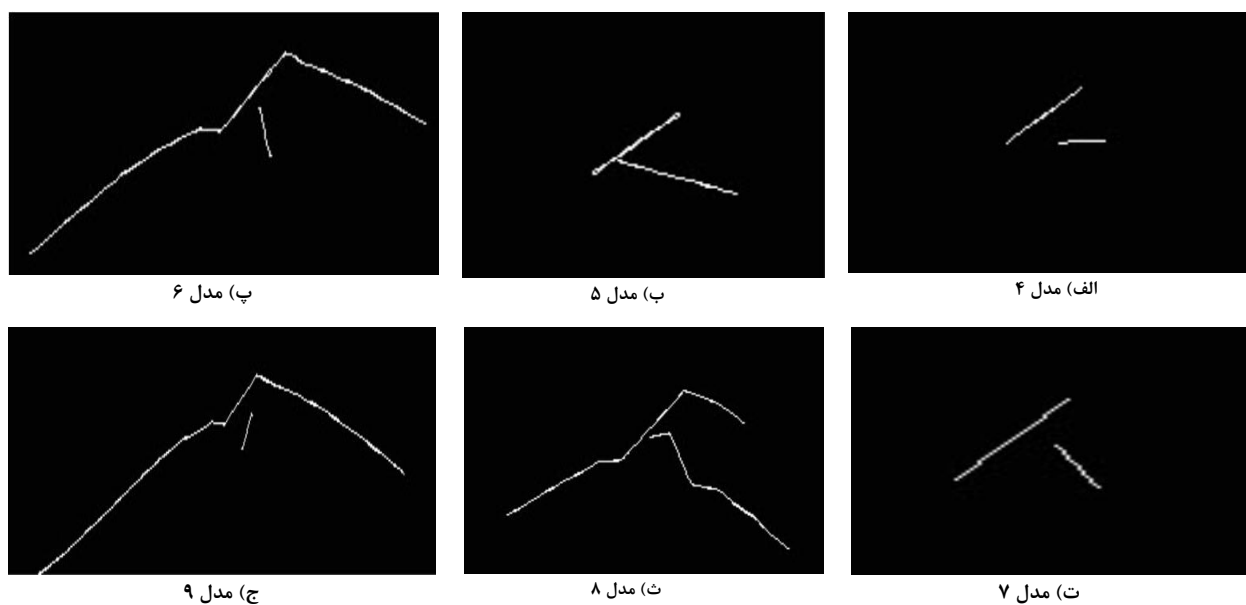


شکل ۴: نحوه گسترش ترک در حالت $\beta=0^{\circ}$

پس از ایجاد ترک را در این مدل‌ها نشان می‌دهد. در شکل ۶ نحوه گسترش ترک Y شکل در مدل‌های ۴ تا ۹ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۶، بیشترین گسترش ترک در مدل ۹ دیده می‌شود اما در این مدل تاثیر شاخه کوچک ترک ناچیز است. بعد از این مدل، مدل ۶ گسترش ترک بیشتری از بقیه مدل‌ها



شکل ۵: توزیع تنش پس از ایجاد ترک در حالت $\beta=45^\circ$



شکل ۶: نحوه گسترش ترک در حالت $\beta=45^\circ$

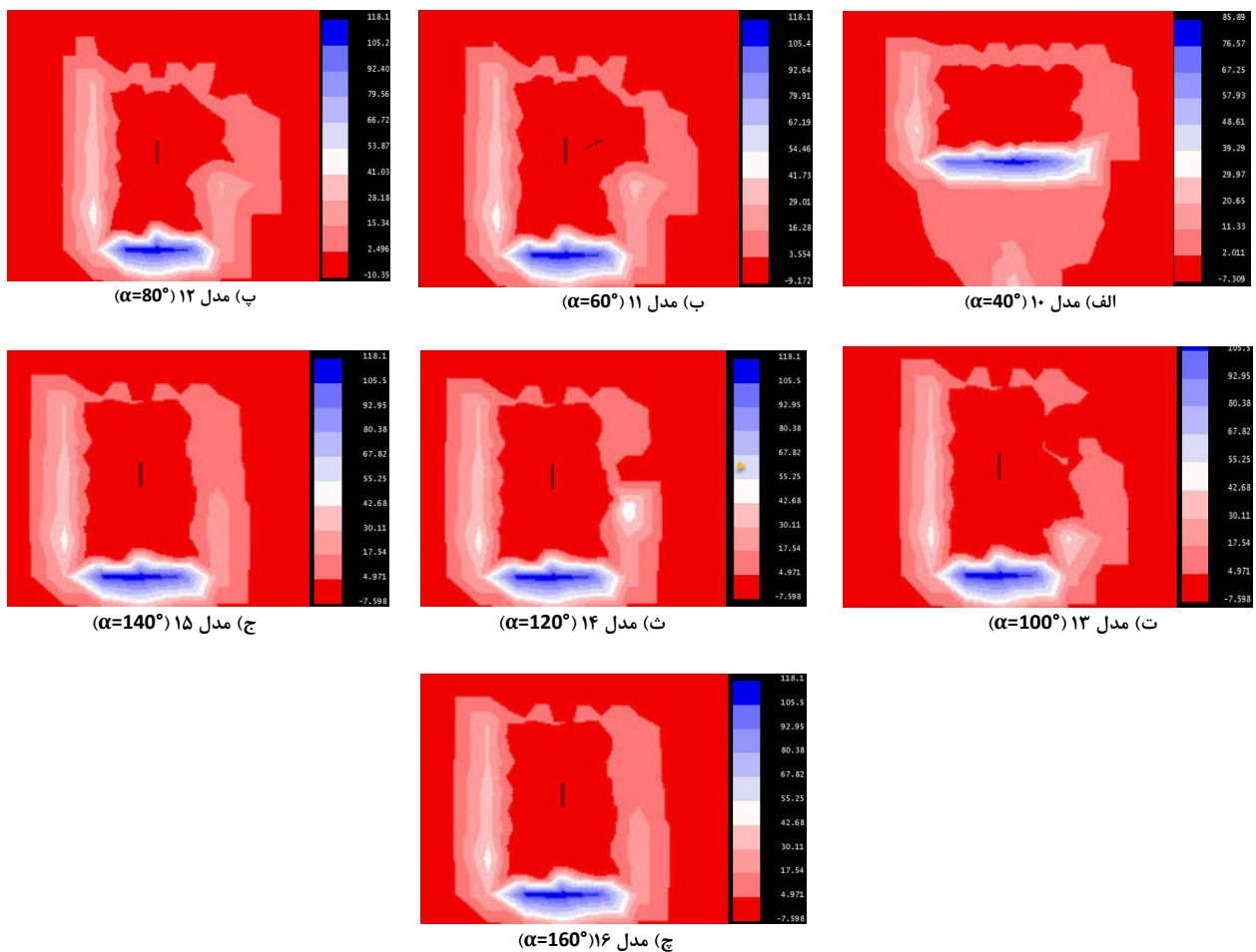
ترک و نقطه اتصال راکبولت قرار دارد.

$$\beta=90^{\circ}-3-1-3$$

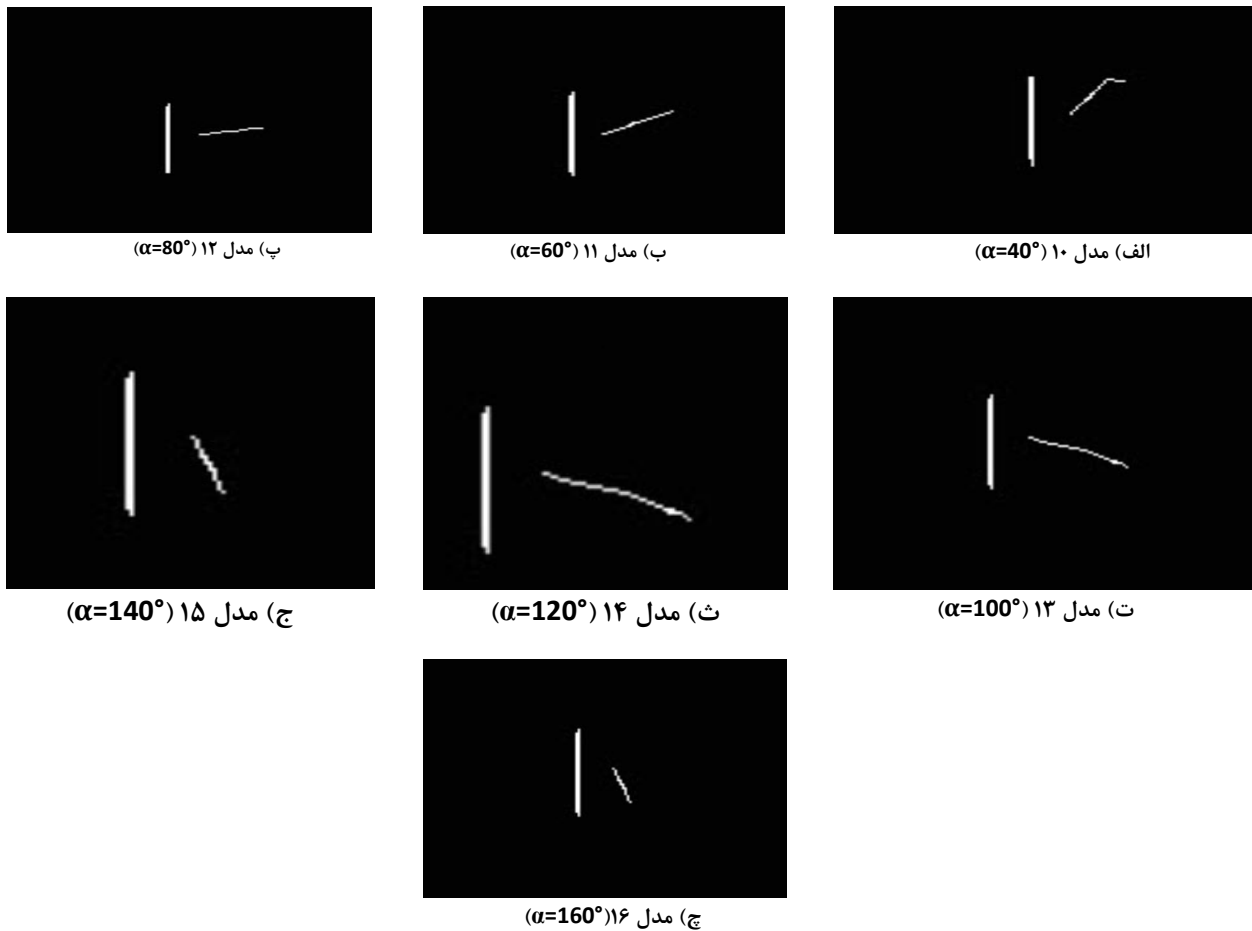
در این حالت مدل های ۱۰ تا ۱۶، با زاویه های ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰ و ۱۶۰ درجه قرار دارند که شکل ۷ توزیع تنش پس از ایجاد ترک را در این مدل ها نشان می دهد. در شکل ۸ نحوه گسترش ترک Y شکل در مدل های ۱۰ تا ۱۶ نشان داده شده است.

در مدل های نشان داده شده در شکل ۸، می توان مشاهده کرد که تقریباً گسترش ترک خاصی دیده نمی شود، تنها در مدل ۱۰، ترک شاخه کوچک به صورت ناچیزی گسترش یافته و کمی هم در مدل های ۱۲ و ۱۳ دیده می شود. از نظر توزیع تنش ها (شکل ۷)، تنش کششی ایجاد شده در مدل ۱۰، در محل ایجاد ترک و بصورت افقی است و مقدار آن نیز ۸۵٫۸۹ مگاپاسکال است که کمترین مقدار در بین مدل های نشان داده شده در شکل ۷

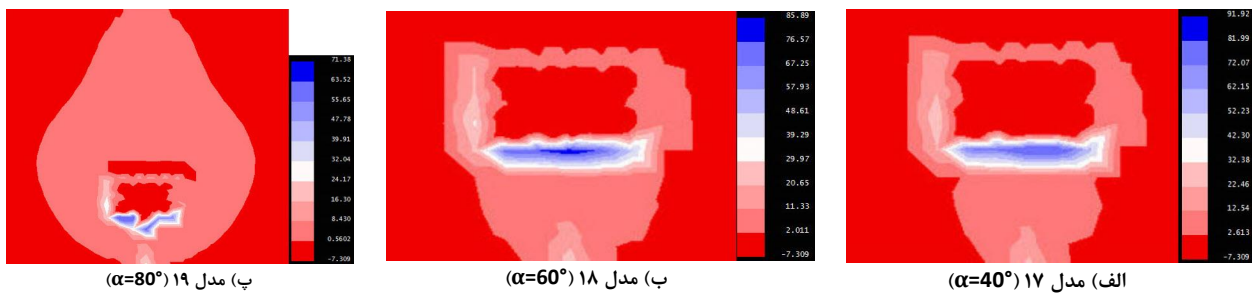
دارد، این درحالی است که باز هم شاخه کوچک تاثیر چندانی ندارد. در مدل ۸ تاثیر شاخه کوچک در گسترش ترک کاملاً مشخص و تاثیرگذار است. مدل ۵ نیز از نظر گسترش شاخه کوچک تر پس از مدل ۸ قرار می گیرد. مدل های ۴ و ۷ گسترش ترک قابل توجهی را نشان نمی دهند. از نظر بررسی نیروی کششی و فشاری در شکل ۵ نیز بیشترین مقدار تنش فشاری مربوط به مدل ۵ با مقدار ۱۱٫۳۹ مگاپاسکال و پس از آن مربوط به مدل ۹ با مقدار ۱۰٫۹۳ مگاپاسکال است. کمترین مقدار نیز مربوط به مدل ۴ است که مقدار آن ۰٫۱۷۵۷ مگاپاسکال است، اما از نظر تنش کششی بیشترین مقدار متعلق به مدل ۸ با مقدار ۱۲۳٫۳ مگاپاسکال است. کمترین مقدار نیز به مدل ۴ اختصاص دارد. از نظر توزیع تنش در مدل نیز در مدل ۴، تنش کششی ایجاد شده در نقطه اتصال راکبولت و مدل های ۵ تا ۸ نزدیک به این نقطه است، درحالی که برای مدل ۹ که بیشترین گسترش ترک را نیز همراه دارد این توزیع به صورت افقی بین



شکل ۷: توزیع تنش پس از ایجاد ترک در حالت $\beta=90^{\circ}$



شکل ۸: نحوه گسترش ترک در حالت $\beta=90^\circ$



شکل ۹: توزیع تنش پس از ایجاد ترک در حالت $\beta=0^\circ$

۸۰ درجه قرار دارند که شکل ۹ توزیع تنش پس از ایجاد ترک را در این مدل‌ها نشان می‌دهد.

در شکل ۱۰ نحوه گسترش ترک Y شکل در مدل‌های ۱۷ تا ۱۹ نشان داده شده است.

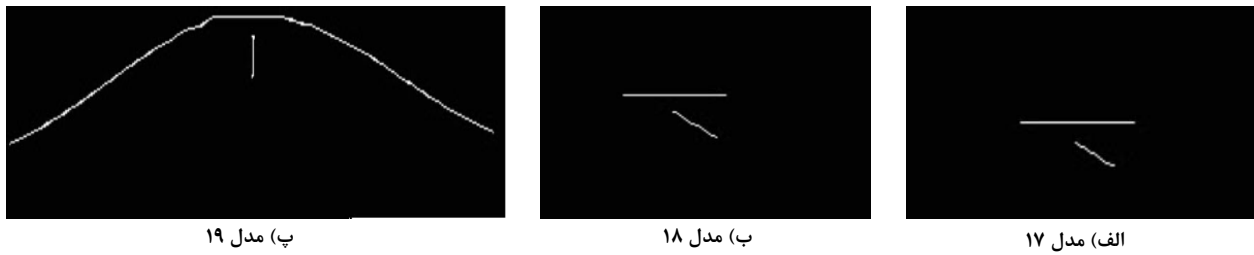
در مدل‌های شکل ۱۰، تنها گسترش ترک اتفاق افتاده در مدل ۱۹ است و در مدل‌های دیگر گسترشی دیده نمی‌شود.

است. نکته قابل توجه این که مقدار تنش‌ها در اکثر مدل‌ها به دلیل عدم گسترش ترک یا ناچیز بودن آن، یکسان است.

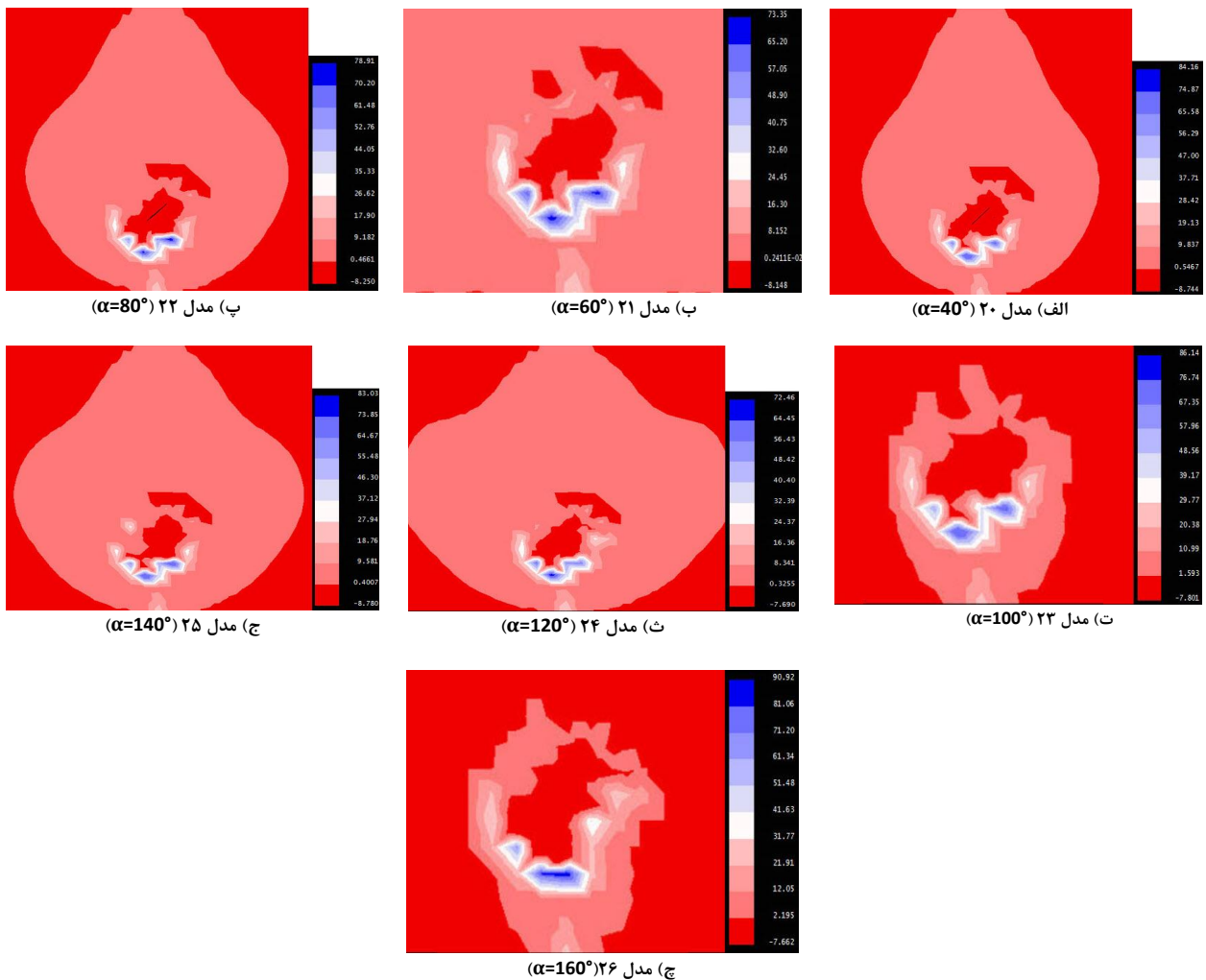
$$H=3a - 2-3$$

$$\beta=0^\circ - 1-2-3$$

در این حالت مدل‌های ۱۷ تا ۱۹، با زاویه‌های ۴۰، ۶۰ و



شکل ۱۰: نحوه گسترش ترک در حالت $\beta=0^\circ$



شکل ۱۱: توزیع تنش پس از ایجاد ترک در حالت $\beta=45^\circ$

۳-۲-۲- $\beta=45^\circ$

در این حالت مدل‌های ۲۰ تا ۲۶، با زاویه‌های ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰ و ۱۶۰ درجه قرار دارند که شکل ۱۱ توزیع تنش پس از ایجاد ترک در این مدل‌ها نشان می‌دهد. در شکل ۱۲ نحوه گسترش ترک Y شکل در مدل‌های ۲۰

در این مدل (با توجه به شکل ۹)، مقدار تنش فشاری ایجاد شده برابر با ۷,۳۰۹ مگاپاسکال و تنش کششی برابر با ۷۱,۳۸ مگاپاسکال (کمترین مقدار) است، همچنین محل ایجاد تنش کششی نیز در این مدل بین نقطه اتصال راک‌بولت و ترک است که به صورت نامنظم قرار گرفته است.

تا ۲۶ نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۱۲، گسترش ترک در مدل‌های ۲۱، ۲۴، ۲۵ و ۲۶ اتفاق افتاده است که در مدل‌های ۲۵ و ۲۶ علاوه بر گسترش چشمگیر شاخه بزرگتر ترک، شاخه کوچک نیز به مقدار کمی گسترش یافته است. در مدل ۲۱ گسترش شاخه کوچکتر از شاخه بزرگتر ترک بیشتر است. در این مدل‌ها با توجه به شکل ۱۱ کمترین مقدار تنش فشاری ایجاد شده در مدل‌ها مربوط به مدل ۲۶ است که برابر با ۷,۶۶۲ مگاپاسکال است. بیشترین مقدار هم با مقدار ۸,۷۸۰ مگاپاسکال مربوط به مدل ۲۵ است. کمترین مقدار تنش کششی نیز مربوط به مدل ۲۴ با مقدار ۷۲,۴۶ مگاپاسکال است و بیشترین مقدار نیز به مدل ۲۶ (۹۰,۹۲ مگاپاسکال) اختصاص دارد. همچنین شکل تنش کششی ایجاد شده در مدل ۲۶ تقریباً افقی با گسترش کم است.

$$\beta=90^{\circ}-3-2-3$$

در این حالت مدل‌های ۲۷ تا ۳۴، با زاویه‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰ و ۱۶۰ درجه قرار دارند که شکل ۱۳

توزیع تنش پس از ایجاد ترک را در این مدل‌ها نشان می‌دهد. در شکل ۱۴ نحوه گسترش ترک Y شکل در مدل‌های ۲۷ تا ۳۴ نشان داده شده است.

با توجه به شکل‌های ۱۳ و ۱۴، گسترش ترک تنها در مدل‌های ۱۳ و ۳۲ اتفاق افتاده که مربوط به گسترش شاخه کوچک ترک است. در این مدل‌ها کمترین مقدار تنش فشاری ۰,۷۳۳۹ مگاپاسکال و کمترین مقدار تنش کششی ۲۵,۲۵ مگاپاسکال است که به مدل ۳۱ اختصاص دارند.

$$H=4a-3-3$$

$$\beta=0^{\circ}-1-3-3$$

در این حالت مدل‌های ۳۵ تا ۳۷، با زاویه‌های ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درجه قرار دارند که شکل ۱۵ توزیع تنش پس از ایجاد ترک را در این مدل‌ها نشان می‌دهد.

در شکل ۱۶ نحوه گسترش ترک Y شکل در مدل‌های ۳۵ تا ۳۷ نشان داده شده است.



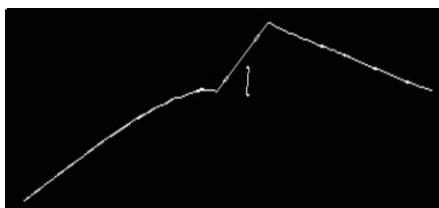
پ) مدل ۲۲



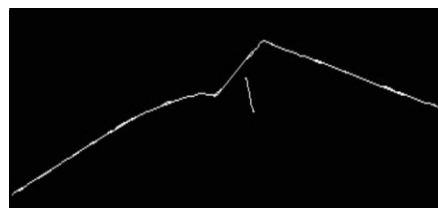
ب) مدل ۲۱



الف) مدل ۲۰



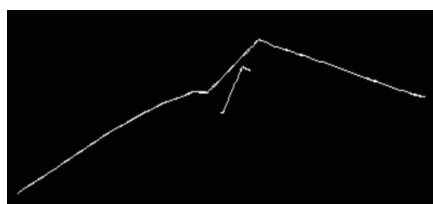
ج) مدل ۲۵



ث) مدل ۲۴

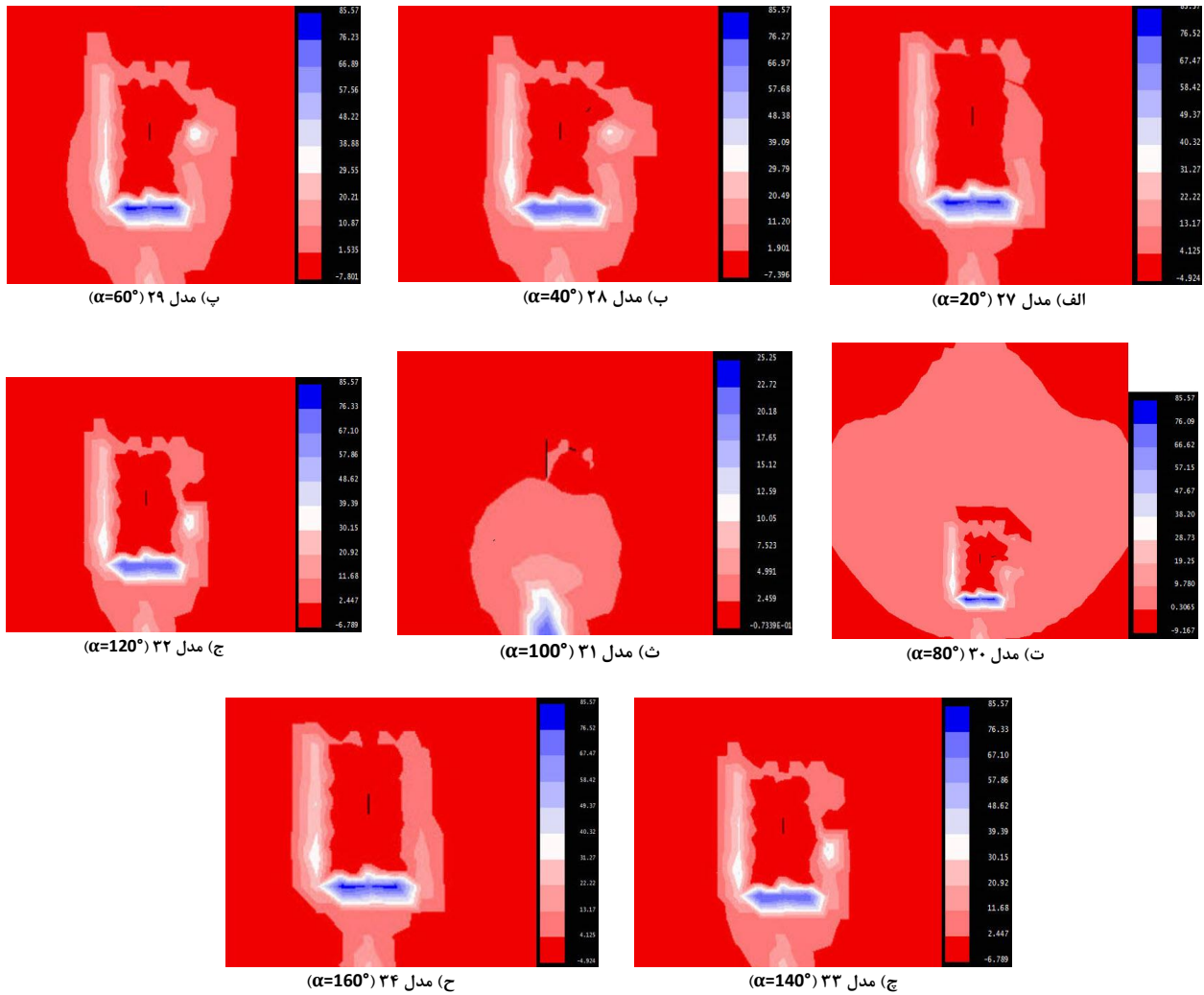


ت) مدل ۲۳

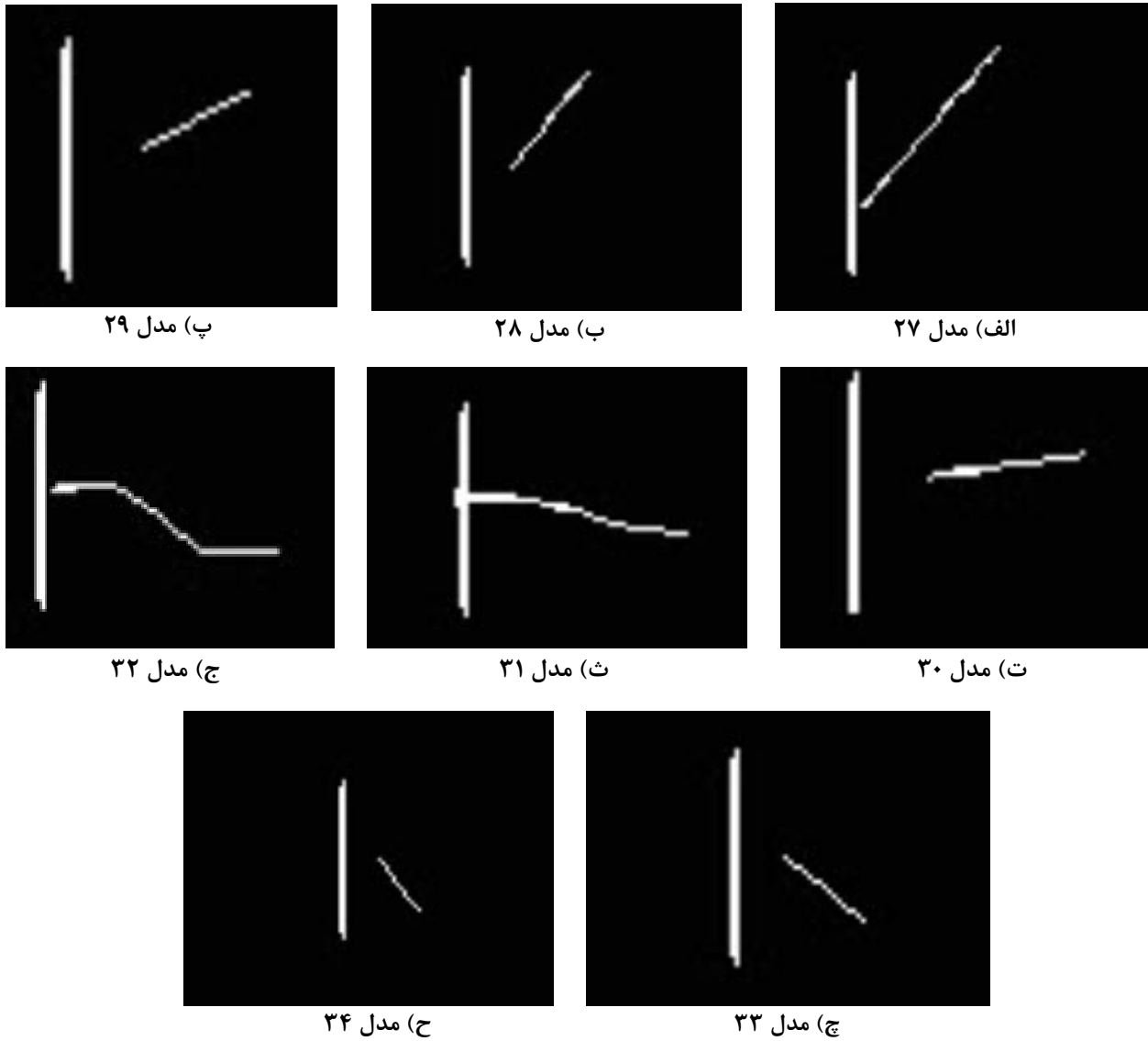


چ) مدل ۲۶

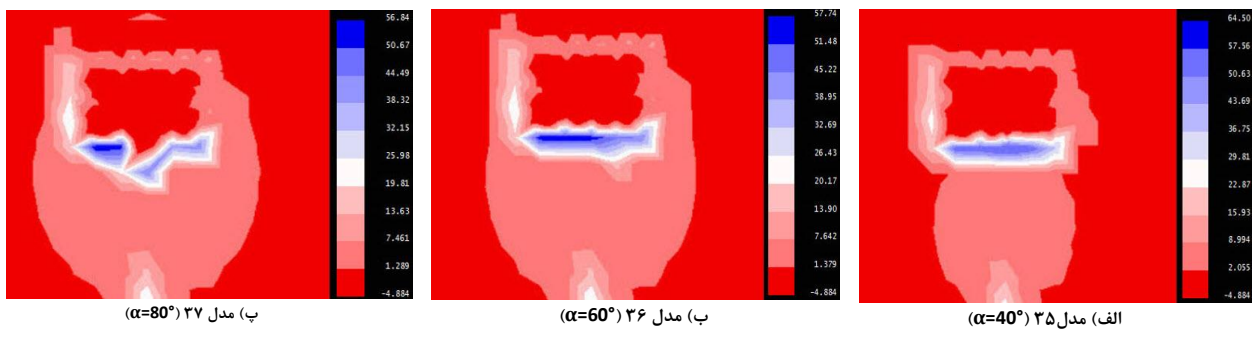
شکل ۱۲: نحوه گسترش ترک در حالت $\beta=45^{\circ}$



شکل ۱۳: توزیع تنش پس از ایجاد ترک در حالت $\beta=90^\circ$



شکل ۱۴: نحوه گسترش ترک در حالت $\beta=90^\circ$



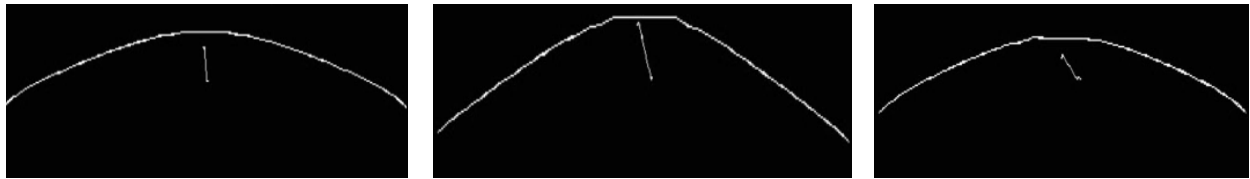
شکل ۱۵: توزیع تنش پس از ایجاد ترک در حالت $\beta=0^\circ$

کششی ۵۶/۸۴ مگاپاسکال در مدل ۳۷ است. بیشترین مقدار تنش کششی ۶۴/۵۰ مگاپاسکال در مدل ۳۵ اتفاق افتاده است.

$$\beta=45^\circ - 2-3-3$$

در این حالت مدل‌های ۳۸ تا ۴۴، با زاویه‌های ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰ و ۱۶۰ درجه قرار دارند که شکل ۱۷ توزیع تنش پس از ایجاد ترک را در این مدل‌ها نشان می‌دهد.

همانطور که در شکل ۱۶ دیده می‌شود تقریباً شکل گسترش ترک در همه مدل‌ها شبیه به هم و تنها تفاوت آن‌ها در رشد شاخه کوچک ترک است. در مدل ۳۵ شاخه کوچک به صورت جزیبی از دو سر آن به صورت افقی رشد کرده است در حالی که در مدل ۳۶ این رشد ترک در امتداد شاخه کوچک است. از نظر مقدار تنش ایجاد شده در هر مدل نیز کمترین مقدار تنش فشاری برابر با ۴/۸۸۴ مگاپاسکال و کمترین مقدار تنش

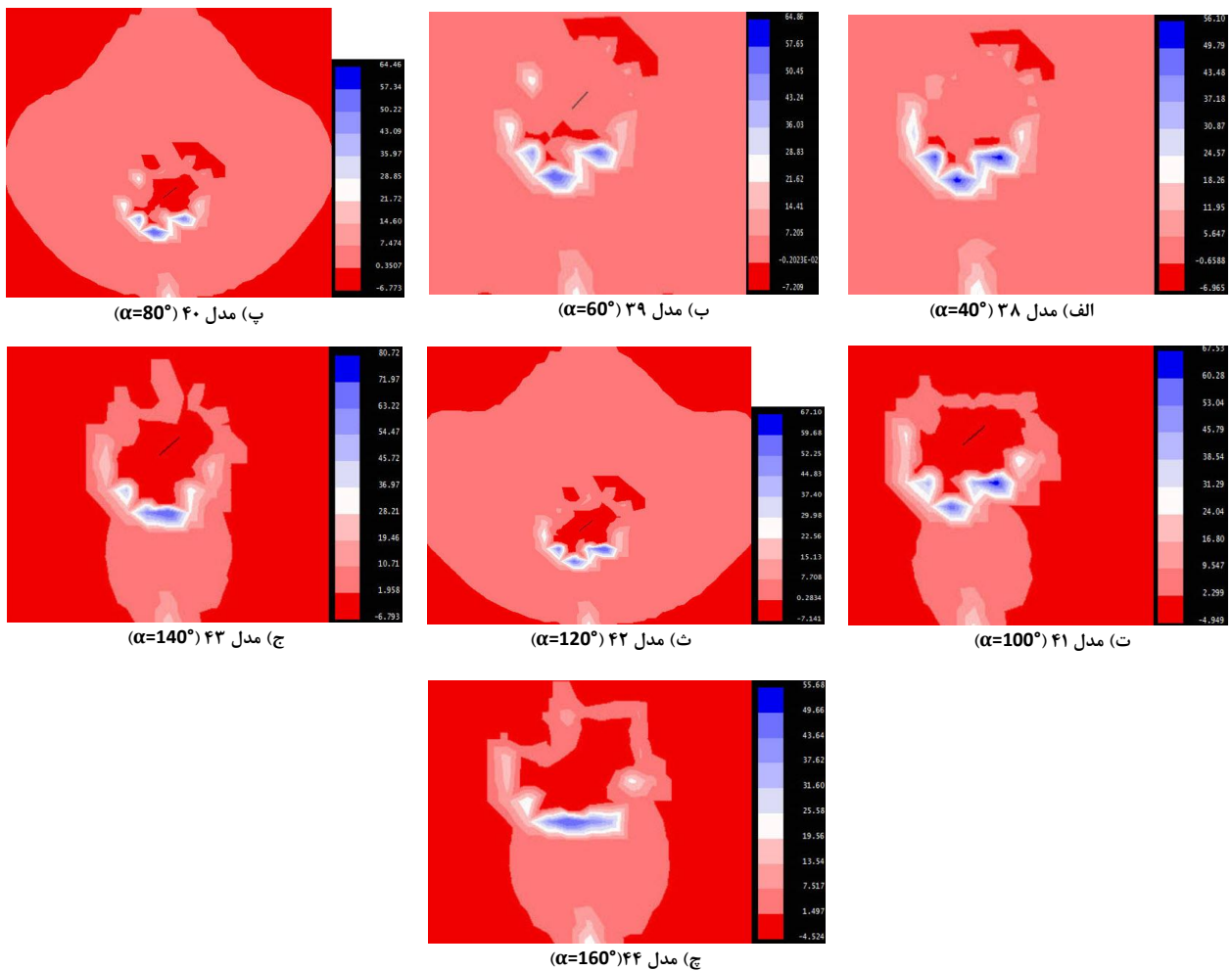


پ) مدل ۳۷

ب) مدل ۳۶

الف) مدل ۳۵

شکل ۱۶: نحوه گسترش ترک در حالت $\beta=0^\circ$



پ) مدل ۴۰ ($\alpha=80^\circ$)

ب) مدل ۳۹ ($\alpha=60^\circ$)

الف) مدل ۳۸ ($\alpha=40^\circ$)

ج) مدل ۴۳ ($\alpha=140^\circ$)

ث) مدل ۴۲ ($\alpha=120^\circ$)

ت) مدل ۴۱ ($\alpha=100^\circ$)

چ) مدل ۴۴ ($\alpha=160^\circ$)

شکل ۱۷: توزیع تنش پس از ایجاد ترک در حالت $\beta=45^\circ$

توزیع تنش پس از ایجاد ترک را در این مدل‌ها نشان می‌دهد. در شکل ۲۰ نحوه گسترش ترک Y شکل در مدل‌های ۴۵ تا ۵۲ نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل ۲۰ دیده می‌شود تقریباً رشد ترک در هیچ کدام از مدل‌ها اتفاق نیافتاده است و تنها در مدل ۴۷ به صورت بسیار جزئی در شاخه کوچک ترک رشد دیده می‌شود. در مدل ۴۷ مقادیر تنش‌های فشاری و کششی به ترتیب 0.2005×10^8 و 13.84 مگاپاسکال است که کمترین مقدار مدل‌ها نیز است و تنش کششی ایجاد شده در بقیه مدل‌ها یکسان و برابر 65.20 مگاپاسکال است که می‌تواند نشان‌دهنده عدم رشد ترک باشد.

۴- نتیجه‌گیری

- ۱- در مدل‌هایی که $\beta=0^\circ$ دارند، رشد ترک‌ها به طور کاملاً مشخص بیشتر از سایر مدل‌هاست و در اکثر مدل‌ها شکست کلی رخ داده است. همچنین در زاویه 40° (مدل یک) رشد شاخه کوچک ترک گسترش زیادی دارد.
- ۲- در مدل‌هایی با $\beta=0^\circ$ و $H=3a$ کمترین مقدار رشد

در شکل ۱۸ نحوه گسترش ترک Y شکل در مدل‌های ۳۸ تا ۴۴ نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۱۸، گسترش ترک تنها در مدل ۳۹ دیده نمی‌شود و در بقیه مدل‌ها ترک گسترش یافته است. بیشترین رشد ترک مربوط به مدل‌های ۴۱، ۴۲ و ۴۳ است که شاخه بزرگ رشد چشمگیری کرده است اما در مدل‌های ۳۸ و ۴۰ رشد ترک در شاخه کوچک بیشتر دیده می‌شود و رشد شاخه بزرگ ناچیز و به صورت افقی از دو سر شاخه است. در مدل ۴۴ نیز رشد ترک تنها در امتداد شاخه بزرگ و به صورت کم انجام گرفته است. همچنین با توجه به شکل ۱۷، کمترین بیشترین مقدار تنش فشاری ایجاد شده به ترتیب 4.524 در مدل ۴۴ و 7.209 در مدل ۳۹ دیده می‌شود. این مقادیر در مورد تنش کششی به ترتیب برابر 55.68 در مدل ۴۴ و 80.72 در مدل ۴۳ است.

$$\beta=90^\circ - 3-3-3$$

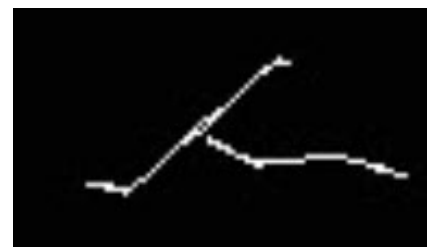
در این حالت مدل‌های ۴۵ تا ۵۲ با زاویه‌های 20° ، 40° ، 60° ، 80° ، 100° ، 120° و 140° درجه قرار دارند که شکل ۱۹



پ) مدل ۴۰



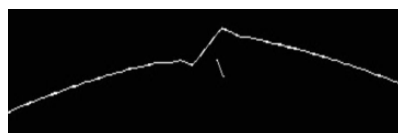
ب) مدل ۳۹



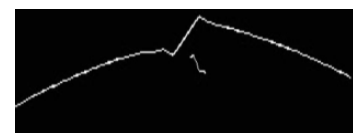
الف) مدل ۳۸



ج) مدل ۴۳



ث) مدل ۴۲

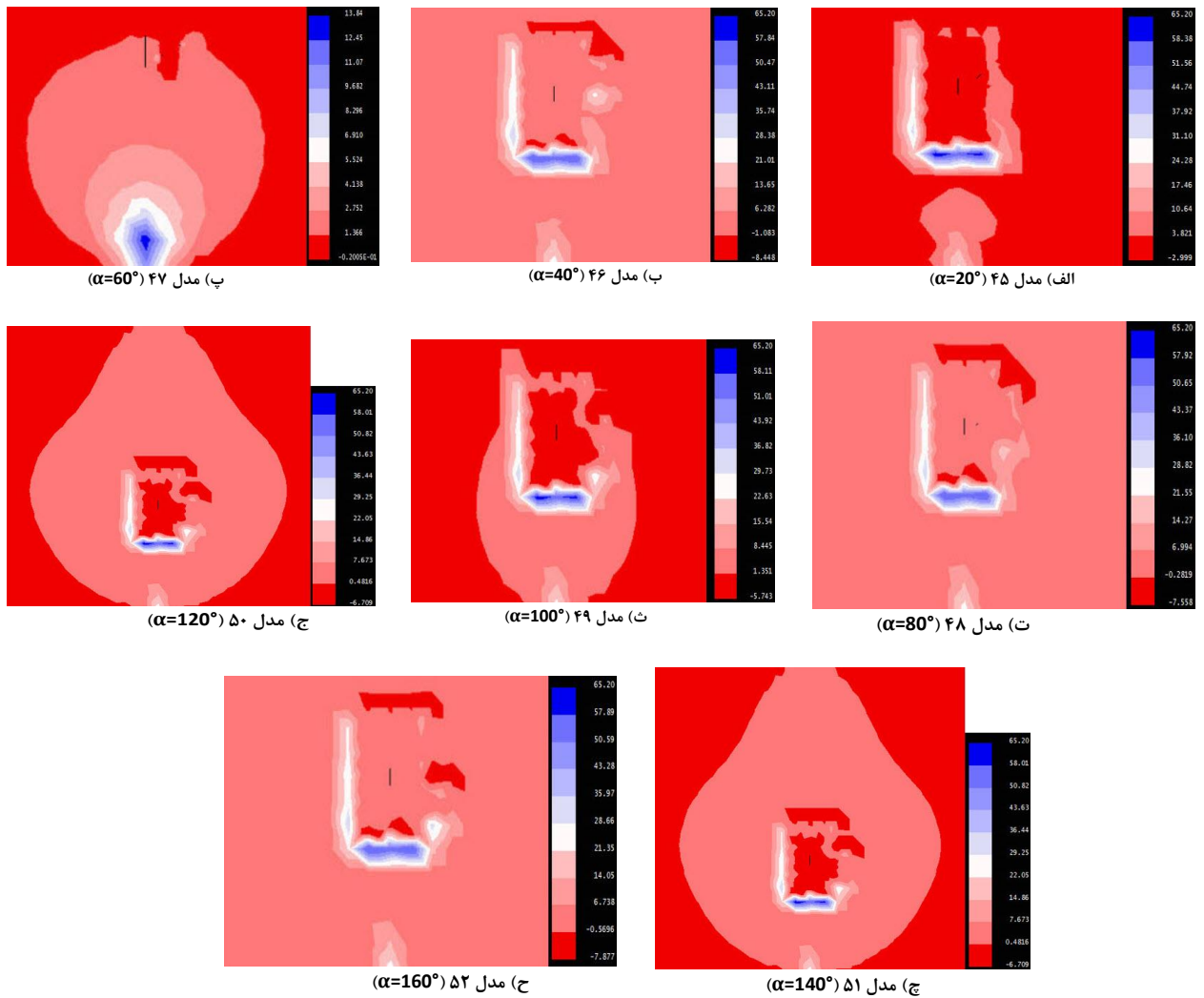


ت) مدل ۴۱



چ) مدل ۴۴

شکل ۱۸: نحوه گسترش ترک در حالت $\beta=45^\circ$



شکل ۱۹: توزیع تنش پس از ایجاد ترک در حالت $\beta=90^\circ$

رشد ترک شده‌اند و در نهایت کمترین تعداد رشد ترک‌ها مربوط به حالت $H=3a$ است.

۶- در حالت $\beta=90^\circ$ ، کمترین تعداد رشد ترک‌ها مشاهده می‌شود و معدود رشد ترک‌هایی هم که اتفاق افتاده به صورت جزئی و مربوط به شاخه کوچک ترک است. در واقع باید نتیجه گرفت که موازی بودن شاخه بزرگ‌تر ترک با راستای اعمال نیروی راکبوت، باعث بی‌تأثیر یا کم‌تأثیر بودن این شاخه در رشد ترک می‌شود؛ همچنان که عمود بودن این شاخه بیشترین تأثیر را در رشد ترک دارد.

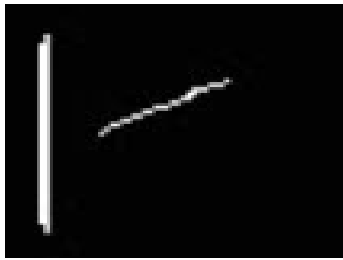
۷- در حالت $\beta=90^\circ$ ، رشدهای ناچیز ترک که اتفاق افتاده‌اند، بیشتر در حالت $H=3a$ است. در واقع در دو حالت دیگر رشد ترک ملموسی نداشته‌اند.

ترک نسبت به $H=2a$ و $H=4a$ دیده می‌شود که در واقع تنها یکی از مدل‌ها دارای رشد ترک است.

۳- در مدل‌هایی که $\beta=45^\circ$ دارند، اکثر رشد ترک‌ها در زوایای 100° ، 120° ، 140° و 160° درجه اتفاق می‌افتد.

۴- در حالت $\beta=45^\circ$ ، گسترش رشد ترک‌ها نسبت به حالت $\beta=0^\circ$ کمتر است ولی تعداد نمونه‌هایی که شاخه کوچک ترک رشد کرده در این نمونه‌ها بیشتر است ولی در کل رشد این شاخه از ترک ناچیز است.

۵- در حالت $\beta=45^\circ$ بیشترین تعداد مدل‌هایی که با رشد ترک مواجه شده‌اند، مربوط به زمانی است که $H=4a$ است و پس از آن با توجه به تعداد کمتر مدل‌ها در حالت $H=2a$ می‌توان گفت که درصد بیشتری از مدل‌ها در این حالت دچار



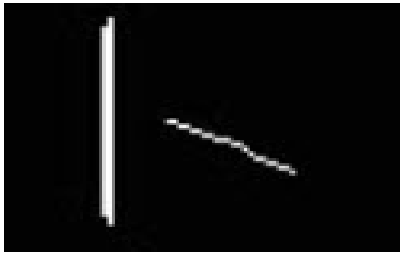
پ) مدل ۴۷



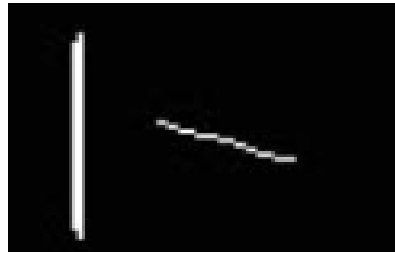
ب) مدل ۴۶



الف) مدل ۴۵



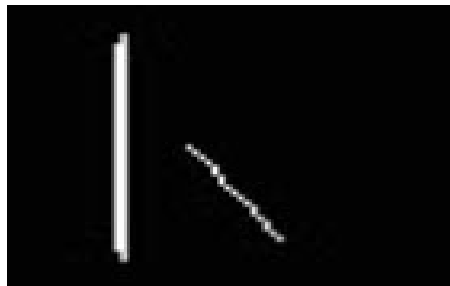
ج) مدل ۵۰



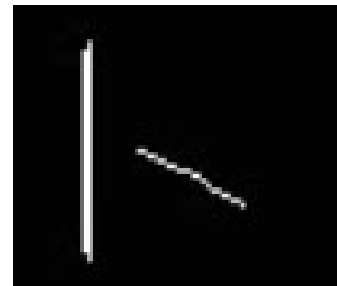
ث) مدل ۴۹



ت) مدل ۴۸



ح) مدل ۵۲



چ) مدل ۵۱

شکل ۲۰: نحوه گسترش ترک در حالت $\beta=90^\circ$

کنفرانس ملی مکانیک خاک و مهندسی پی، دانشگاه صنعتی قم، ص ۶۳-۵۶.

[3] Choquet, P. (1989). "Rock bolting practical guide". Ottawa: CANMET, Balkema, 88-95.

[4] Seeber, G. (1972). "Suggested Methods for Determining Rock Bolt Tension Using a Torque Wrench". International Society for Rock Mechanics Committee on Standardization (ISRM), 221-231.

[5] Kaiser, P. K., Yazici, S., and Nose, J. (1992). "Effect of stress change on the bond strength of fully grouted cables". International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 29: 293-305.

[6] Stillborg, B. (1986). "Professional users for rock bolting". Ser. Rock and Soil Mechanics, 31(4): 165-172.

[7] Reichert, R. D., Bawden, W. F., and Hyett, A. J. (1991). "Evaluation of design bolt bond strength for fully

۸- در حالت کلی، بیشترین تعداد رشد ترک‌ها زمانی اتفاق می‌افتد که شاخه بزرگ ترک زاویه ۴۵ درجه‌ای نسبت به افق دارد. همچنین در فواصل 2a و 4a از محل اعمال نیروی کششی راک‌بالت نیز تاثیر بیشتری بر رشد ترک دارد.

۹- میزان بیشترین و کمترین تنش کششی و فشاری در مدل‌های مختلف و تاثیر آن‌ها بر رشد ترک از روند خاصی پیروی نمی‌کند و نمی‌توان رابطه خاصی برای آن در نظر گرفت.

۵- مراجع

[۱] سرفرازی، و.، عجم‌زاده، م. ر.، شیرکوند، ر.؛ ۱۳۹۴؛ "تاثیر بار کششی راک‌بالت بر رفتار برشی درزه با زاویه‌داری مختلف". دومین کنفرانس ملی مکانیک خاک و مهندسی پی، دانشگاه صنعتی قم، ص ۳۰-۲۲.

[۲] عجم‌زاده، م. ر.، سرفرازی، و.؛ ۱۳۹۴؛ "مدل‌سازی عددی بررسی تاثیر بار راک‌بالت بر رشد ترک از درزه‌های Y شکل". دومین

- "*Atheoretical model for pullout response of extensible reinforcements*". Geosynthetics International, 5(4): 399-424.
- [20] Gurung, N. (2001). "*1-D analytical solution for extensible and inextensible soil/rock reinforcement in pull-out tests*". Geotextiles Geomembranes, 19: 195-212.
- [21] Cox, H. L. (1952). "*The elasticity and strength of paper and other fibrous materials*". British Journal of Applied Physics, 3: 72-79.
- [22] Abramento, M., and Whittle, J. A. (1995). "*Analysis of pullout tests for planar reinforcements in soil*". Journal of Geotechnical Engineering, 121(6): 476-85.
- [23] Kovari, K. (2003). "*History of the sprayed concrete lining method-part II: milestones up to the 1960s*". Tunn Undergr Space Technol, 18: 71-83.
- [24] Endersbee, L. A. (1999). "*The snowy vision and the young team—the first decade of engineering for the snowy mountains scheme*". The Spirit of the Snowy—Fifty Years On, Cooma, Australia, 39-58.
- [25] Bjurström, S. (1974). "*Shear strength of hard rock joints reinforced by grouted untensioned bolts*". 3rd ISRM Congress, Denver, USA, 1194-1199.
- [26] Pells, P. J. N. (1974). "*The behaviour of fully bonded rockbolt*". 3rd ISRM Congress, Denver, USA, 1212-1217.
- [27] Farmer, I. W. (1975). "*Stress distribution along a resin grouted rock anchor*". International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 12: 347-351.
- [28] Dunham, D. K. (1976). "*Anchorage tests on strain gauged resin bonded bolts*". Tunnels Tunnelling, 8: 73-6.
- [29] Hibino, S., and Motijama, M. (1981). "*Effects of rock bolting in jointy rock*". International Symposium on Weak Rock, Tokyo, Japan, 1057-1062.
- [30] Dight, P. M. (1982). "*Improvements to the stability of rock walls in open pit mines*". Ph.D., Monash University, Australia, 189-195.
- [31] Gaziev, E. G., and Lapin, L. V. (1983). "*Passive anchor reaction to shearing stress on a rock joint*". International Symposium on Rock Bolting, Abisko, Sweden, 101-108.
- [32] Stillborg, B. (1984). "*Experimental investigation of steel cables for rock reinforcement in hard rock*". Ph.D., Lulea University, Sweden, 248-255.
- [33] Dight, P. M. (1983). "*A case study of the behaviour of rock slope reinforced with fully grouted rock bolts*". grouted bolt". 93rd Annual Meeting of CIM, Vancouver, 169-181.
- [8] Ito, F., Nakahara, F., Kawano, R., Kang, S., and Obara, Y. (2001). "*Visualisation of failure in a pull-out of cable bolts using X-ray CT*". Construction Build Mater, 15: 263-270.
- [9] Hyett, A. J., Bawden, W. F., and Reichert, R. D. (1992). "*The effect of rock mass confinement on the bond strength of fully grouted cable bolts*". International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 29: 503-524.
- [10] Chappell, B. A. (1989). "*Rock bolts and shear stiffness in jointed rockmass*". Journal of Geotechnical Engineering, 21(3): 134-140.
- [11] Franklin, J. A., and Dusseault, M. B. (1989). "*Rock Engineering*". McGraw-Hill Publishing Company, New York.
- [12] Freeman, T. J. (1978). "*The behavior of fully-bonded rock bolts in the Kielder experimental tunnel*". Tunnels Tunneling, 37-40.
- [13] Sun, X. (1984). "*Grouted rock bolt used in underground engineering in soft surrounding rock or in highly stressed regions*". In Stephansson, O., editor, Proceedings of the International Symposium on Rock Bolting, Rotterdam: Balkema, 93-9.
- [14] Tao, Z., and Chen, J. X. (1984). "*Behavior of rock bolting as tunneling support*". In Stephansson, O., editor, Proceedings of the International Symposium on Rock Bolting, Rotterdam: Balkema, 87-92.
- [15] Indraratna, B., and Kaiser, P. K. (1990). "*Analytical model for the design of grouted rock bolt*". International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 227-51.
- [16] Jiang, Y. J., Esaki, T., and Yokota, Y. (1995). "*The mechanical effect of grouted rock bolts on tunnel stability*". Journal of Construction Engineering and Management, 28(4): 154-164.
- [17] Li, C., and Stillborg, B. (1999). "*Analytical models for rock bolts*". International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 36: 1013-129.
- [18] Björnrot, F., and Stephansson, O. (1984). "*Interaction of grouted rock bolts and hard rock masses at variable loading in a test drift of the Kiirunavaara Mine, Sweden*". In Stephansson, P., editor, Proceedings of the International Symposium on rock bolting, Rotterdam: Balkema, 377-95.
- [19] Madhav, M. R., Gurung, N., and Iwao, Y. (1998).

- International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 47: 396–404.
- [46] Deb, D. C., and Das, K. (2011). "Modelling of fully grouted rock bolt based on enriched finite element method". International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 48: 283–293.
- [47] Chen, Y. (2014). "Experimental study and stress analysis of rock bolt anchorage Performance". Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 6: 428-437.
- [48] Cao, Ch., Ren, T., Cook, Ch., and Cao, Y. (2014). "Analytical approach in optimising selection of rebar bolts in preventing rock bolting failure". International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 72: 16–25.
- [49] Nemcik, J., Ma, Sh., Aziz, N., Ren, T., and Geng, X. (2014). "Numerical modelling of failure propagation in fully grouted rock bolts subjected to tensile load". International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 71: 293–300.
- [50] Kristjánsson, G. (2014). "Rock bolting and pull out test on rebar Bolts". Norwegian University of Science and Technology, 342-355.
- [51] Kang, H., Yang, J., Meng, X. (2015). "Tests and analysis of mechanical behaviours of rock bolt components for China's coal mine roadways". Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 7: 14-26.
- [52] Changxing, Zh., Xu, Ch., Youdong, M., and Xulin, L. (2015). "Modeling of grout crack of rockbolt grouted system". International Journal of Mining Science and Technology.
- International Symposium on Rock Bolting, Abisko, Sweden, 523–38.
- [34] Lunardi, P. (2000). "The design and construction of tunnels using the approach based on the analysis of controlled deformation in rocks and soils". http://www.rocksoil.com/p_d_f/t_and_t_rocksoil_supp.pdf.
- [35] Lunardi, P. (1994). "Progetto e costruzione di gallerie secondo l'approccio basato sull'analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli. Parte 1". Quarry and Construction, 3: 21–36.
- [36] Lunardi P. (1995). "Preconfinement of an excavation in relation to new orientations forward the design and construction of tunnels". Gallerie e grandi opere sotterranee, 45: 16–37.
- [37] Lunardi, P. (1995). "Progetto e costruzione di gallerie secondo l'approccio basato sull'analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli Parte 2". Quarry Construction, 3: 113–36.
- [38] Aldorf, J., and Exner, K. (1986). "Mine Openings: Stability and Support". Elsevier, Oxford, Amsterdam, Tokyo.
- [39] Hoek, E., and Wood, D. F. (1989). "Rock Support". Mineralogical Magazine, 12(5): 33-45.
- [40] Indraratna, B., and Kaiser, P. K. (1990). "Design for grouted rock bolts based on the convergence control method". International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 27: 269–281.
- [41] Beard, M. D., and Lowe, M. J. S. (2003). "Non-destructive testing of rock bolts using guided ultrasonic waves". International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 40: 527–536.
- [42] Guan, Zh., Jiang, Y., Tanabasi, Y., and Huang, H. (2007). "Reinforcement mechanics of passive bolts in conventional tunneling". International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 44: 625–636.
- [43] Zou, D. H., Cui, Y., Madenga, V., and Zhang, C. (2007). "Effects of frequency and grouted length on the behavior of guided ultrasonic waves in rock bolts". International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 44: 813–819.
- [44] Ivanovic, A. D., and Neilson, R. (2008). "Influence of geometry and material properties on the axial vibration of a rock bolt". International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 45: 941–951.
- [45] Chunlin Li, Ch. (2010). "A new energy-absorbing bolt for rock support in high stress rock masses".

¹ Freeman² Indraratna³ Jiang at al⁴ Whittle⁵ Endersbee⁶ Lunardi⁷ Beard and Lowe⁸ Guan⁹ Zou¹⁰ Ivanovic and D Neilson¹¹ Chunlin Li¹² Deb and C Das

¹³ Chen

¹⁴ Cao

¹⁵ Nemcik

¹⁶ Kristjánsson

¹⁷ Kagh

¹⁸ Changxing



Numerical Simulation of the Effect of Spacing and Angularity of Y Shape Joint Neighboring Rock Bolt Tensile Load on the Crack Growth

Sarfarazi V.^{1*}, Ajamzadeh M.R.²

1- Assistant Professor, Dept. of Mining, Hamedan University of Technology
vahab.Sarfarazi@gmail.com

2- M.Sc Student, Dept. of Mining, Hamedan University of Technology
majamzadehm@yahoo.com

(Received: 19 Jun. 2018, Accepted: 05 Sep. 2018)

Abstract: The dimension of underground structure is a key factor in its stability. Rock blotting has important effect in rock mechanic projects. It increases the stability of rock blocks. The performance of rock bolt is depending on the quality of its set up. Quality of its set up is determined by pull out test method. Numerical simulation is other method for determination of rock blotting behavior. In this paper, the effect of tensile loading on the “Y” shape joint is determined using FRANC2D. The angularity of large joint tail (β) changes from 0° to 90° with increment of 45° . The angularity of small joint tail related to large joint tail (α) changes from 20° to 160° with increment of 20° . The spacing between joint and loading place change from $2a$ to $4a$ with increment of “ a ” which “ a ” is the length of large joint tail. Totally 52 model were simulated. In the case of horizontal joint the crack growth length is maximum and vertical joint has minimum effect on the crack growth. When the angularity of large joint tail related to horizontal was 45° , the maximum of crack growth was occurred. The maximum of crack growth from small joint tail was occurred when it is in horizontal configuration. The maximum number of small joint tail growth occurred when its angularities related to horizontal axis was 45° .

Keywords: : Rock bolt, Y shape joint, Crack growth, Angularity, Spacing.

INTRODUCTION

Y shape joint was created in rocks due to different geological activities. The rock bolts are used to support shear displacement of joints [1]. In combined support systems, rock bolts and meshes are used to prevent the rock movement [2]. The rock bolt quality are examined using tensile test [3] and momentum test [4]. The rock bolts apply loading force to rock layers and fix them in place [5]. Many researchers performed practical research on the shear behaviour of rock bolts [6-13]. In this paper, the effect of rock bolt tensile load on the y shape joint has been investigated using FRANC2D.

NUMERICAL MODELLING

In this paper, the tensile behavior of Y shape joint has been investigated using FRANC2D. Firstly,

numerical model has been built and 10 MPa of tensile load was applied at below the model. Figure 1 shows stress distribution in the model.

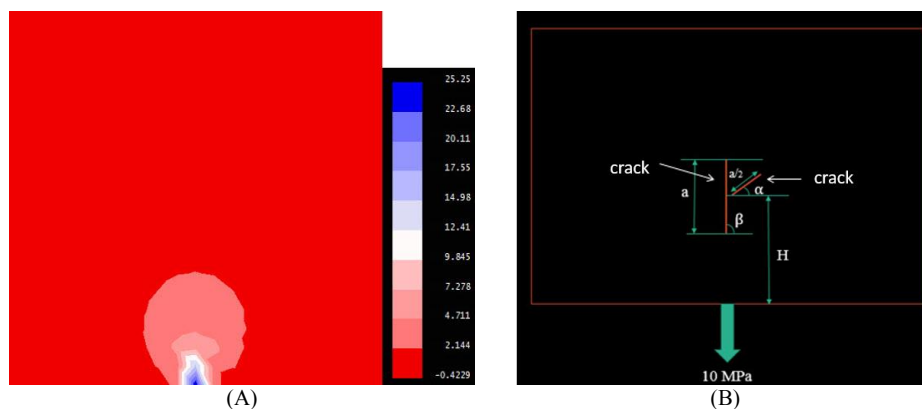


Figure 1. A: Stress distribution in the model, B: Y shape joint in the model

Then Y shape joint was created at the middle of the model (Figure 1B). The value of β and α change in different value.

DISCUSSION

a) $H=2a$

a-1) $\beta=0$

Figure 2 shows stress distribution in the model with three different α . It can be concluded that tensile stress was distributed at tip of the joint.

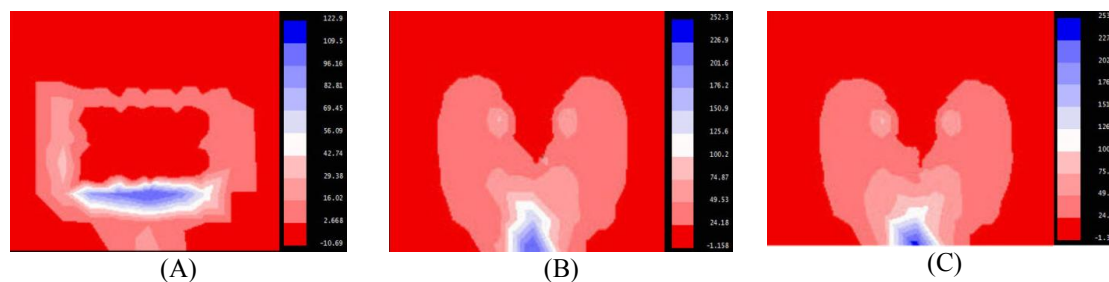


Figure 2. Stress distribution in the model with three different α

Figure 3 shows crack growth in the model with three different α . It can be concluded that tensile cracks were initiated at tip of the joint.

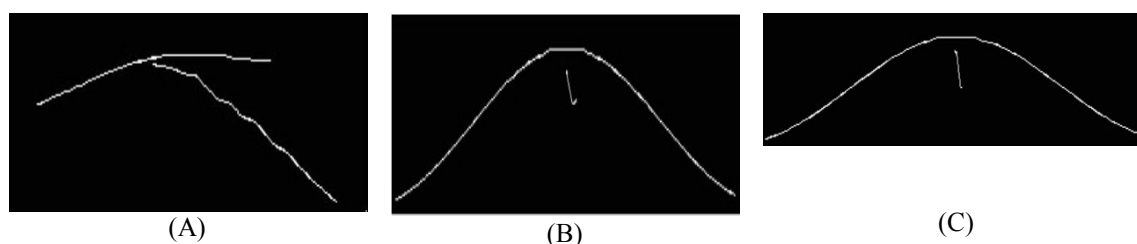


Figure 3. Crack growth in the model with three different α

a-2) $\beta=45$

Figure 4 shows stress distributon in the model with three different α . It can be councluded that tensile stress was distributed at tip of the joint.

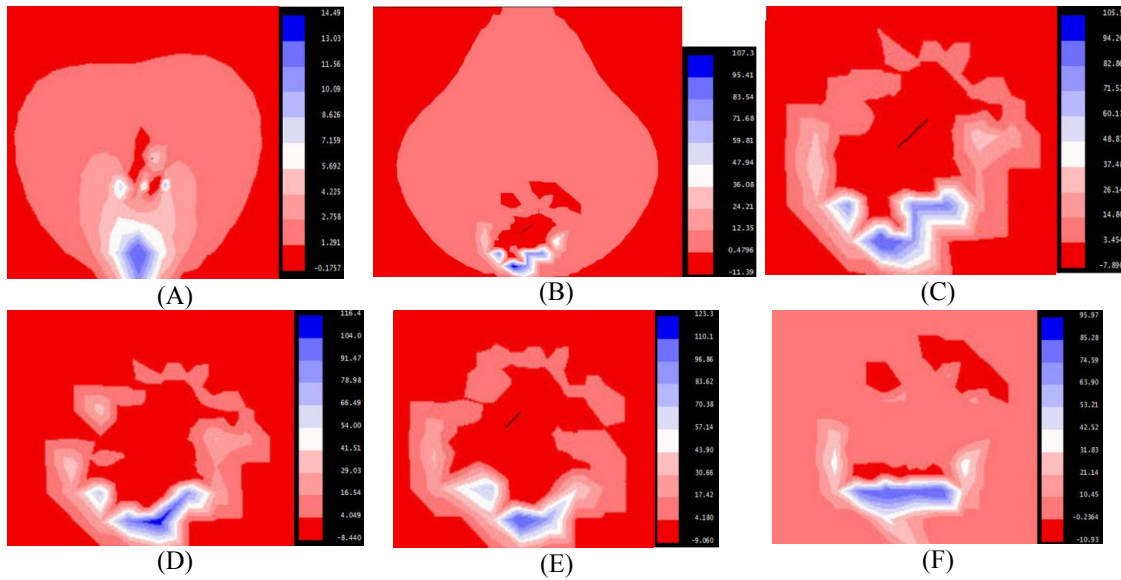


Figure 4. Stress distributon in the model with three different α

Figure 5 shows crack growth in the model with three different α . It can be councluded that tensile cracks was initiated at tip of the joint.

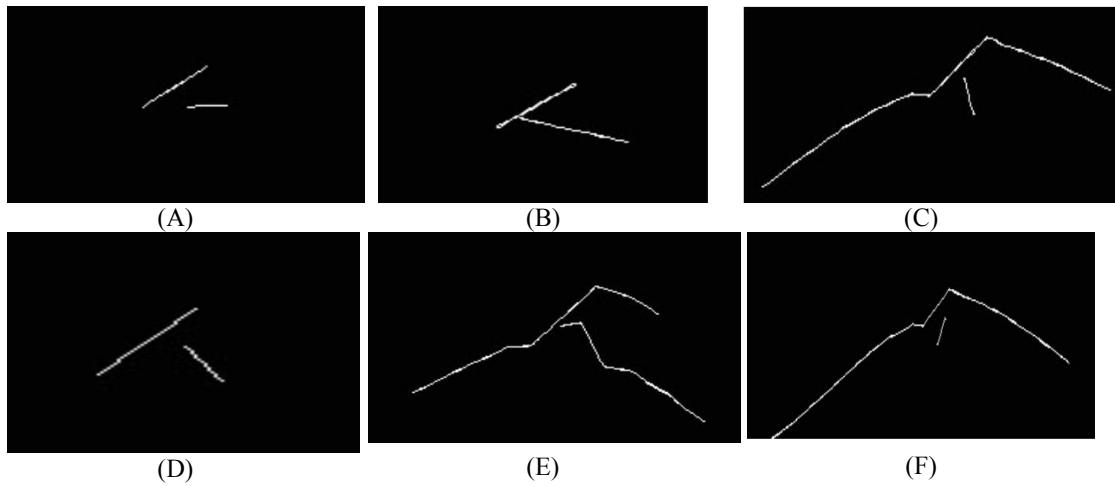


Figure 4. Crack growth in the model with three different α

a-1) $\beta=90$

Figure 6 shows stress distributon in the model with three different α . It can be councluded that tensile stress was distributed at tip of the joint.

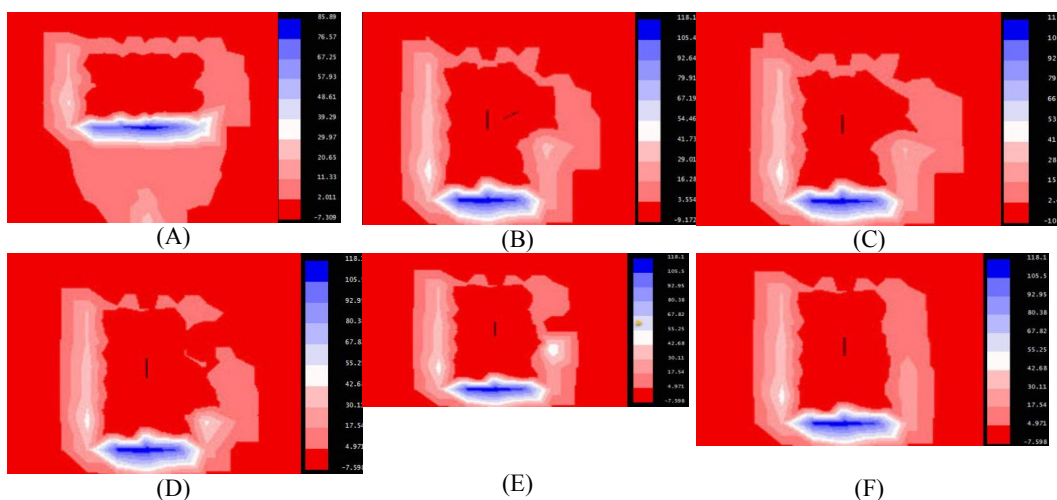


Figure 6. Stress distributon in the model with three different α

Figure 7 shows crack growth in the model with three different α . It can be councluded that tensile cracks was initiated at tip of the joint.

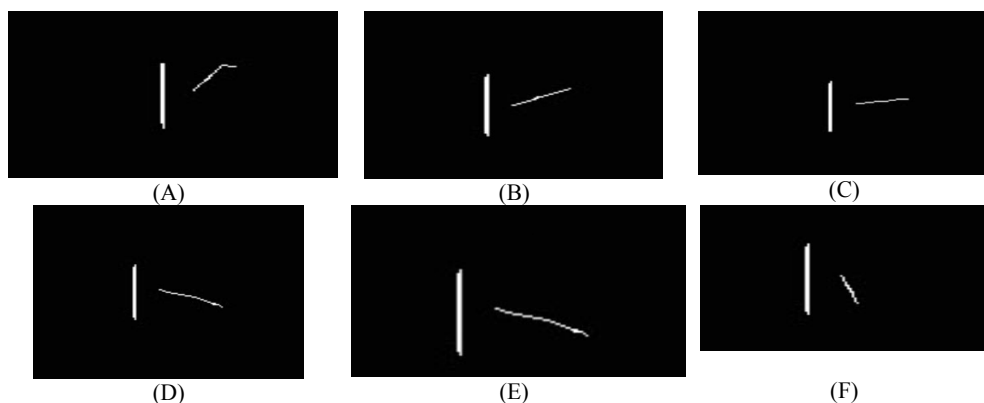


Figure 7. Crack growth in the model with three different α

a) $H=3a$
 a-1) $\beta=0$

Figure 8 shows stress distributon in the model with three different α . It can be councluded that tensile stress was distributed at tip of the joint.

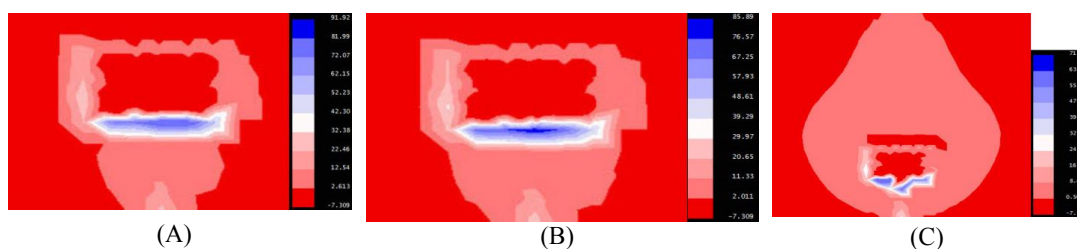


Figure 8. Stress distributon in the model with three different α

Figure 9 shows crack growth in the model with three different α . It can be councluded that tensile cracks was initiated at tip of the joint.

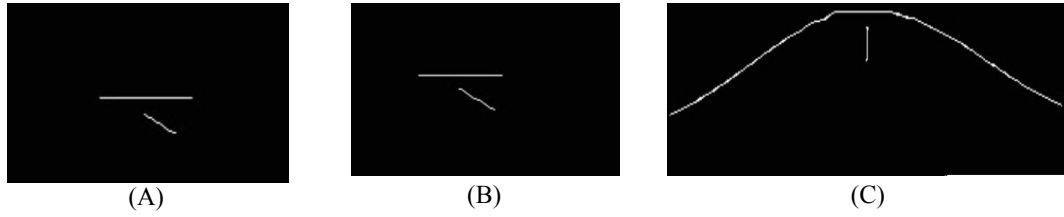


Figure 9. Crack growth in the model with three different α

a-2) $\beta=45$

Figure 10 shows stress distributon in the model with three different α . It can be counclued that tensile stress was distributed at tip of the joint.

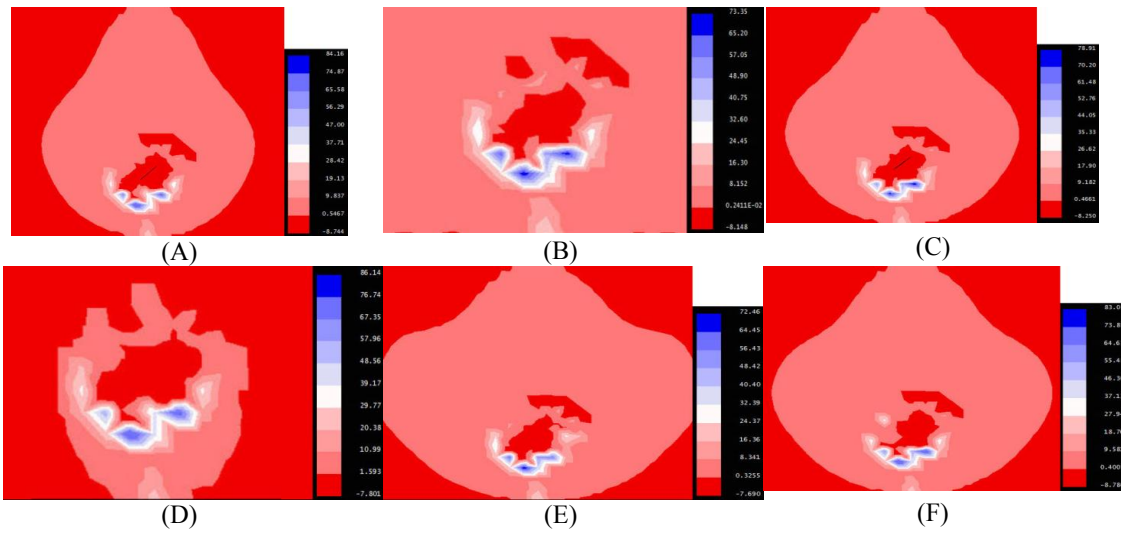


Figure 10. Stress distributon in the model with three different α

Figure 11 shows crack growth in the model with three different α . It can be counclued that tensile cracks was initiated at tip of the joint.

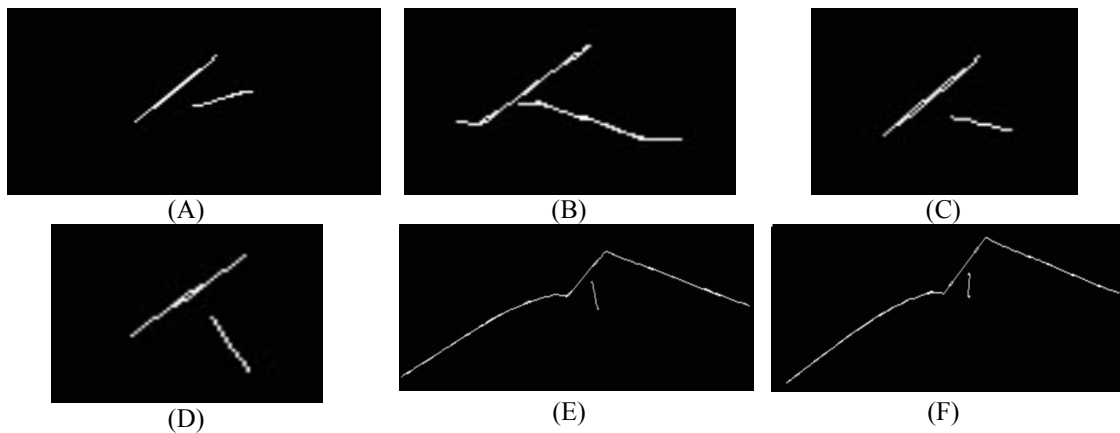


Figure 11. crack growth in the model with three different α

a-1) $\beta=90$

Figure 12 shows stress distributon in the model with three different α . It can be counclued that tensile

stress was distributed at tip of the joint.

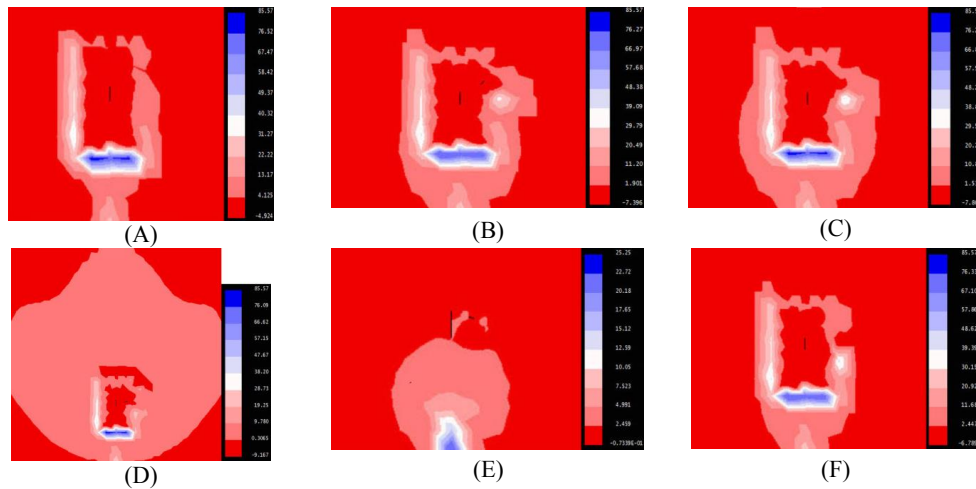


Figure 12. Stress distributon in the model with three different α

Figure 13 shows crack growth in the model with three different α . It can be counclued that tensile cracks was initiated at tip of the joint.

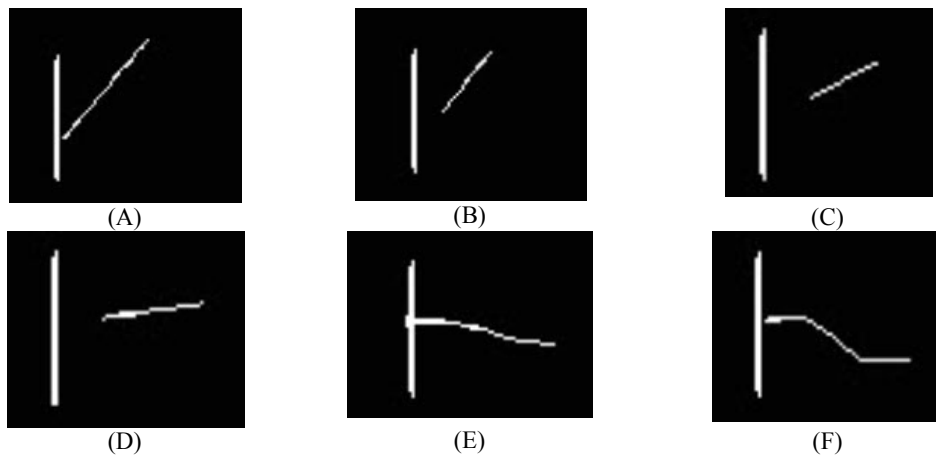


Figure 12. Crack growth in the model with three different α

Its to be note that this trend was occured for $H=4a$.

CONCLUSIONS

In this paper the effect of tensile loading on the “Y” shape joint is determined using FRANC2D. The angularity of large joint tail (β) changes from 0° to 90° with increment of 45° . The angularity of small joint tail related to large joint tail (α) changes from 20° to 160° with increment of 20° . The spacing between joint and loading place change from $2a$ to $4a$ with increment of “ a ” which “ a ” is the length of large joint tail. Totally 52 model were simulated. In the case of horizontal joint the crack growth length is maximum and vertical joint has minimum effect on the crack growth. When the angularity of large joint tail related to horizontal was 45° , the maximum of crack growth was occurred. The maximum of crack growth from small joint tail was occurred when it is in horizontal configuration. The maximum number of small joint tail growth occurred when its angularities related to horizontal axis was 45° .

REFERENCES

- [1] Sarfarazi, V., Ajamzadeh, M. R., and Shirkavand R., (1394). "The effect of rock bolt tensile load on the shear behavior of joint". The Second Symposium of Rock Mechanics, Qom University, 22-30.
- [2] Ajamzadeh, M. R., and Sarfarazi, V. (1394). "Numerical simulation of the effect of rock bolt tensile load on the crack propagation from joint". The Second Symposium of Rock Mechanics, Qom University, 56-63.
- [3] Tao, Z., and Chen, J. X. (1984). "Behavior of rock bolting as tunneling support". In Stephansson, O., editor. Proceedings of the International Symposium on Rock Bolting, Rotterdam: Balkema, 87-92.
- [4] Seeber, G. (1972). "Suggested Methods for Determining Rock bolt Tension Using a Torque Wrench". International Society for Rock Mechanics Committee on Standardization (ISRM), 221-231.
- [5] Kaiser, P. K., Yazici, S., and Nose, J. (1992). "Effect of stress change on the bond strength of fully grouted cables". International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 29: 293-305.
- [6] Indraratna, B., and Kaiser, P. K. (1990). "Analytical model for the design of grouted rock bolt". International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 227-251.
- [7] Reichert, R. D., Bawden, W. F., and Hyett, A. J. (1991). "Evaluation of design bolt bond strength for fully grouted bolt". 93rd Annual Meeting of CIM, Vancouver, 169-181.
- [8] Ito, F., Nakahara, F., Kawano, R., Kang, S., and Obara, Y. (2001). "Visualisation of failure in a pull-out of cable bolts using X-ray CT". Construction Build Mater, 15: 263-270.
- [9] Hyett, A. J., Bawden, W. F., and Reichert, R. D. (1992). "The effect of rock mass confinement on the bond strength of fully grouted cable bolts". International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 29: 503-524.
- [10] Lunardi, P. (1994). "Progetto e costruzione di gallerie secondo l'approccio basato sull'analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli". Parte 1. Quarry and Construction, 3: 21-36.
- [11] Indraratna, B., and Kaiser, P. K. (1990). "Design for grouted rock bolts based on the convergence control method". International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 27: 269-281.
- [12] Freeman, T. J. (1978). "The behavior of fully-bonded rock bolts in the Kielder experimental tunnel". Tunnels Tunneling, 37-40.
- [13] Sun, X. (1984). "Grouted rock bolt used in underground engineering in soft surrounding rock or in highly stressed regions". In Stephansson, O., editor, Proceedings of the International Symposium on Rock Bolting, Rotterdam: Balkema, 93-99.