

## استخدام النمذجة في دراسة تأثير شكل سن رأس الحفر على الحقل الإجهادي تحت السن

اعداد : د.م. نضال ابراهيم 1

### ملخص:

تتلخص عملية الحفر بتفتيت الصخر بواسطة اسنان رأس الحفر و التي تتغرس بتأثير الحمل المطبق على هذه الاسنان كجزء من وزن اعمدة الحفر. إن دراسة الحقل الإجهادي تحت سن رأس الحفر و تحت مجمل الاسنان العاملة على القاع يعد أمرا مهما من وجهة نظر ميكانيك تفتيت الصخور، حيث تعطينا هذه الدراسة فكرة على نوعية الاسنان المستخدمة بالعلاقة مع نوع الصخر. ان الدراسات التقليدية لهذه الظاهرة تعتبر محدودة القدرة لعدم امكانية معرفة كافة القيم الإجهادية و قيم التشوهات المتغيرة لحظيا مع عمق دخول السن في الصخر. اعتمدنا في هذه الدراسة على علم النمذجة الرقمية و قدرته على اظهار النتائج بشكل جيد و المخططات اللازمة في اي لحظة أثناء انغراس السن في القاع. درسنا في هذه المقالة نوعين من الاسنان و هي الكروية و المخروطية و قارنا النتائج رقميا مع دراسة سابقة عن السن المسطح. من خلال دراسة الحقل الإجهادي تحت هذه الاسنان الثلاثة تبين لنا أنه و في الصخور الطرية يستحسن استخدام السن المخروطي الطويل نتيجة سهولة انغراسه في الصخر و هذا ما اكدته قيم الاجهادات اسفل السن. اما في الصخور القاسية و نظرا لحاجتنا لقيم ضغط كبيرة لتحطيم الصخر يفضل استخدام السن الكروي لما له من خاصية تشكيل مخروطين إجهاديين تحت السن و بالتالي يمكن من تفتيت حجم جيد من الصخور القاسية.

الكلمات المفتاحية: حفر، رأس الحفر، إجهادات.

## **Using modeling to study the effect of tooth shape on the stress field under the tooth**

### Summary:

Summed up the drilling process by the fragmentation of the rock by the teeth of bit which implants under the load applied to the teeth as part of the weight of drill collars . The study of the stresses field under the tooth of bit and so under the overall teeth on the bottom is crucial from the viewpoint of the petroleum rock mechanics, where this study give us an assurance on the quality of the teeth and for what rock will be used. The Traditional Studies of this phenomenon is limited of the inability to know all the stresses values and changed deformation values momentarily with depth of Implantation of teeth in the rock, so we have based in this study on the modeling and its ability to show results well and give plans required at any moment during the implantation of teeth at the bottom. In this article we studied two types of teeth, spherical and conical one. We compared the results with a previous study for the flat tooth. the study of stresses field under these three teeth show that in the soft rocks we prefer to use conical tooth because it is easy to be Implanted in the rock, and this was confirmed by the values of stresses under the tooth. Either in hard rock and due to our need for big values of pressure to shatter the rock we prefer to use spherical tooth because of its property of forming tow cons of stresses under tooth and therefore can be good in drilling hard rock..

Keywords: drilling, bit, stresses.

## 1- مقدمة :

تختلف رؤوس الحفر بعدد من المواصفات كنوعية الراس و نظام الغسيل و نوعية الاسنان المستخدمة. يستخدم راس الحفر او الدقاق عند نظام حفر محدد بعدد دورات الدقاق و غزارة المضخات المستخدمة و خواص سائل الحفر و اخيرا الحمل المطبق على الدقاق. يعتبر اختيار الحمل المطبق على الدقاق من الامور الهامة جدا لما لها من تأثير مباشر على عملية حفر الصخر و بالتالي على سرعة تقدم الدقاق. تعتمد عملية تصميم الاسنان في راس الحفر على العلاقة المتبادلة بين الصخر و السن أثناء عملية التفنيت و بالتالي على المؤشرات الكمية كالإجهادات و التشوهات المرنة و اللدنة للصخور. تشترك اسنان الراس في تغطية كاملة للقاع و بالتالي قشط سماكة محددة من الطبقة وفقا لعمق انغراس الاسنان. يتحدد هذا العمق من خلال الحمل المطبق على الدقاق و مواصفات الصخور الميكانيكية.

إن معرفة الحقل الإجهادي تحت السن و عمق انغراس السن تساهم في معرفة العلاقة المتبادلة بين السن و الصخر و تساهم في فهم عملية التفنيت بشكل افضل. سوف ندرس في هذا البحث كيفية تأثير شكل السن المستخدم على الاجهادات تحت السن تم دراسة اسنان كروية و مخروطية و تم مقارنة النتائج مع اسنان اسطوانية مسطحة تمت دراستها سابقا [4].

## 2- هدف البحث:

يهدف البحث دراسة تأثير شكل سن راس الحفر أثناء حفر الطبقات الجيولوجية على الحقل الإجهادي تحت السن و ذلك عن طريق استخدام علم النمذجة و المحاكاة لعملية دخول السن في الصخر حيث تم دراسة نوعين من الاسنان الكروية و المخروطية و مقارنتها بالسن الاسطواني المسطح.

### 3- مواد و طرائق البحث:

استخدمنا في هذا البحث علم النمذجة و ذلك من خلال تصميم و بناء نموذج لعملية دخول السن في الصخر ومن ثم تطبيق المؤثرات المختلفة على هذا النموذج معتبرين حالتين أساسيتين هما السن الكروي و السن المخروطي.

#### 1.3. آلية عملية تفتيت السن للقاع [1] [2] [3]:

سوف نتطرق بشكل مختصر لآلية تفتيت السن للقاع و ذلك لأنه سوف يساعدنا على تحليل و فهم آلية تشكل المخاريط الإجهادية و تطورها تحت السن. أثناء تماس الصخر مع السن تبدأ علاقة معقدة بين السن و القاع و يمكن التعبير عنها من خلال نظرية التلامس بين الاجسام الصلبة حيث أنه مع زيادة الحمل على الدقاق تبدأ المخاريط الإجهادية تتشكل في نقاط التماس بين السن و الصخر و من ثم تتطور هذه المخاريط الإجهادية و تزداد قيمة الاجهادات فيها و يزداد عمق هذه الاجهادات (راجع الاشكال الخاصة بالنمذجة في الفقرات اللاحقة) بعد الوصول الى الحمل الحدي لتفتيت الصخر نلاحظ أن هذه المخاريط الإجهادية قد تلاقت عند العمق الحدي للتفتيت (و الذي يشكل سماكة الطبقة المفتتة) و تشكلت ما يسمى نواة التفتيت حيث ان قيمة الاجهادات في هذه النواة تتجاوز قيمة الاجهاد الحدي لتفتيت الصخر. بعد تشكل هذه النواة تستمر قيم الاجهادات بالارتفاع و يستمر الصخر بالتحطم وفقا لشكل المخاريط الإجهادية حيث يمر الصخر في مرحلة المرونة و ثم مرحلة التشوهات اللدنة و ثم ينهار الصخر و بالتالي نلاحظ أن حجما من الصخر قد تم تفتيته و يتناسب هذا الحجم مع الحالة الإجهادية للصخر و شكل المخاريط الإجهادية المتشكلة.

تختلف هذه المخاريط الإجهادية من حيث الشكل و العمق و ذلك باختلاف الصخر و مواصفاته الميكانيكية من جهة و حسب شكل السن المعدني من جهة اخرى.

يمكن القول أن تفتت الصخر يعتمد على الوصول الى العمق الحدي للتفتت و كون الحالة الإجهادية في هذه النواة اكبر من حالة الانهيار للصخر.

#### 4. القسم العملي:

إن مراحل عملية النمذجة هي [5] [6]:

- 1- بناء الجيومتري (الشكل الهندسي) للظاهرة المدروسة.
  - 2- تحديد قانون تصرف المادة المراد استخدامه وتحديد عناصره و متغيراته.
  - 3- تحديد المراحل المختلفة لتطبيق القوى المؤثرة.
  - 4- تحديد العلاقة بين مختلف أجزاء الحيز الهندسي (عندما يتألف من أكثر من جزء).
  - 5- تحديد الشروط الحدية على حدود الجيومتري من انتقالات و قوى.
  - 6- بناء الشبكة الهيكلية للحيز الهندسي (تقسيم الحيز الهندسي إلى عناصر منتهية).
  - 7- تنفيذ عملية النمذجة وإخراج النتائج.
- قمنا في هذا البحث بعملية النمذجة الرقمية و التي تحتاج لثوابت المرونة و اللدونة للصخر المدروس و اعتمدنا على إحدى المراجع [4] لان هذه الثوابت تعتبر نتائج عالمية و ثابتة لكل صخر محدد و إن عملية النمذجة للصخر بهذه الشروط تعتبر جديدة تماما في هذا البحث و الحالات الجديدة المفروضة في متن البحث و مقارنة تأثير الأشكال المختلفة للأسنان.
- لقد استخدمنا بيئة للنمذجة تسمى (ABAQUS) و تعتبر من البيئات الجيدة لإجراء عمليات النمذجة و المحاكاة.

الصخر المدروس هنا هو الصخر الكلسي و هو صخر متجانس و لهذا السبب تم اختياره لأنه صخر متجانس ميكانيكياً و بالتالي يحتاج لعدد أقل من البارامترات لوصف سلوكياته و يمكن اختيار صخور أخرى و لكن الموديل الرياضي سوف يتعد أكثر.

ان الموديل الرياضي المستخدم هو من نوع دروكر-براغر مع تقسية متجانسة. ان المغلف الاجهادي يعطى بالعلاقة (1) [4] [3].

$$f = q + \alpha^p (\gamma^p)(p - c_p) \quad (1)$$

حيث :

$\alpha^p$  هي القوى الداخلية المرتبطة ببارمتر للتقسية  $\gamma^p$  .

$p$  هو الضغط الوسطي  $p = tr(\underline{\sigma})/3$  .

$q = \sqrt{\frac{3}{2}} \underline{s} : \underline{s}$  و  $\underline{s}$  هو المركبة المنحرفة لتتنسور الاجهاد (تعبّر عن القوى غير المتساوية و التي

تطبق على الصخر المدروس و لمزيد من المعلومات يمكن العودة للمرجع [3] ).

$c_p$  هو الترابط الداخلي للمادة.

إن التقسية تعطى بالعلاقة التالية (إن التقسية تعتبر ظاهرة طبيعية موجودة في كل صخر و بالتالي يجب على أي موديل لسلوكية الصخر أن يعبر عن هذه المرحلة) :

$$\alpha^p = \alpha_0^p + (\alpha_m^p - \alpha_0^p) \frac{\gamma^p}{b + \gamma^p} \quad (2)$$

$\alpha_0^p$  تناسب الحالة الاساسية للمغلف الاجهادي (يعبر عن السطح الفاصل بين الحالة المرنة و الحالة اللدنة).

$\alpha_m^p$  تناسب الحالة النهائية للمغلف الاجهادي عندما  $\alpha^p$  تصبح  $\alpha_m^p$  اي وصلنا الانهيار.

$b$  بارامتر يسيطر على تطور منحنى التقسية.

و تابع الكمون البلاستيكي (يصف التشوهات اللدنة و كيفية تطورها و يساعدنا على حساب هذه التشوهات اللدنة و لا يمكننا قياسه و لكن يتم حسابه حسابياً ) هو :

$$g = q + \beta^p (\gamma^p) p \quad (3)$$

$$\beta^p = \alpha^p - \beta_0^p \quad (4)$$

إذا من أجل هذا الموديل لا بد من تحديد ما يلي : البارامترات المرنة  $E$  et  $n$  (هما معامل بواسون و معامل يونغ) و خمس بارامترات لدنة :

$$\alpha_0^p, b, \alpha_m^p, \text{ بارامترات التقسية}$$

$$\beta_0^p \text{ بارامتر الكمون البلاستيكي}$$

$$c_p \text{ بارامتر المغلف الإجهادي.}$$

تم تحديد قيم هذه البارامترات و كانت [4]:

$$\alpha_0^p = 0.5, \alpha_m^p = 1.1, b = 0.7, \beta_0^p = 0.39, C_p = 7.5, E = 3540 \text{ MPa,}$$

$$n = 0.12.$$

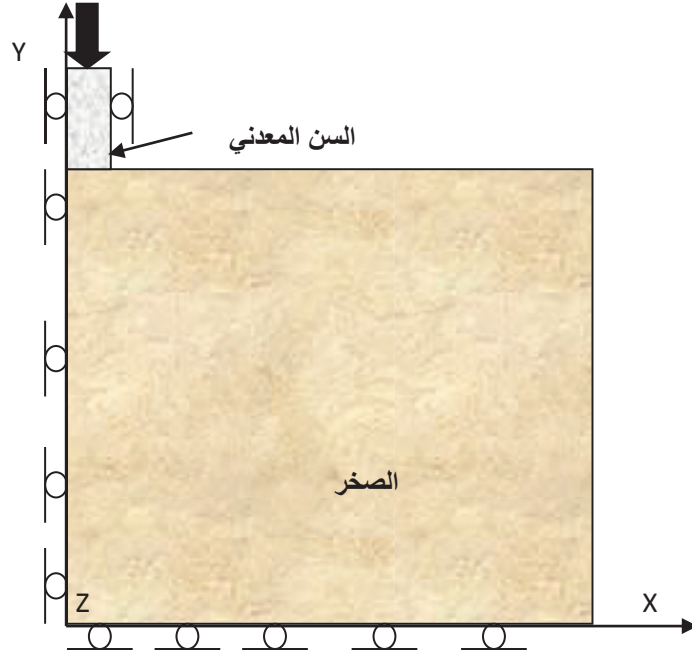
سوف نقوم بنمذجة سن كروي بنصف قطر للكرة يساوي 0.001 متر و سن مخروطي ذو زاوية 45 درجة و مقارنة ذلك مع السن المسطح.

يبين الشكل 1 الشكل الهندسي للسن المسطح و الصخر المدروس و هو ضمن اطار التناظر اي ان للشكل قسم اخر مقابله و متطابق معه. إن الشكل 1 شكل تخطيطي هدفه إظهار كيفية توضع السن بالنسبة للصخر المدروس و يجب التنويه بأن أبعاد الشكل تعتمد على أبعاد السن و لكن و بشكل عام يجب أن تكون أبعاد الصخر أكبر بخمس مرات على الأقل من أبعاد السن المستخدم [3] و ذلك كي تتمكن من فرض أن الشروط الحدية عند حدود النموذج هي قيم معدومة للانتقالات .

تمت المقارنة مع نتائج السن الاسطواني المسطح المحصول عليها في المرجع [4]. **بعد ذلك قمنا بتطبيق الشروط الحدية (Boundary Conditions) حيث :**

- تم تثبيت حدود النموذج بحيث تكون قيمة الانتقالات عند الحدود معدومة (تم اختيار أبعاد النموذج بهدف جعل قيمة الانتقالات عند الحدود تساوي الصفر اي أن الحدود بعيدة كفاية عن تأثير السن.

تم فرض عملية دخول للسن الى مسافة تساوي 0.153 مم و هي المسافة المناسبة و الكافية لتشكيل المخاريط الإجهادية تحت السن و حيث تصل قيمة الإجهادات إلى القيم الحدية للانهييار (تشكل نواة التقطيت) بعد ذلك [4].



شكل (1) يبين الشكل الهندسي للسن المسطح المستخدم في النمذجة

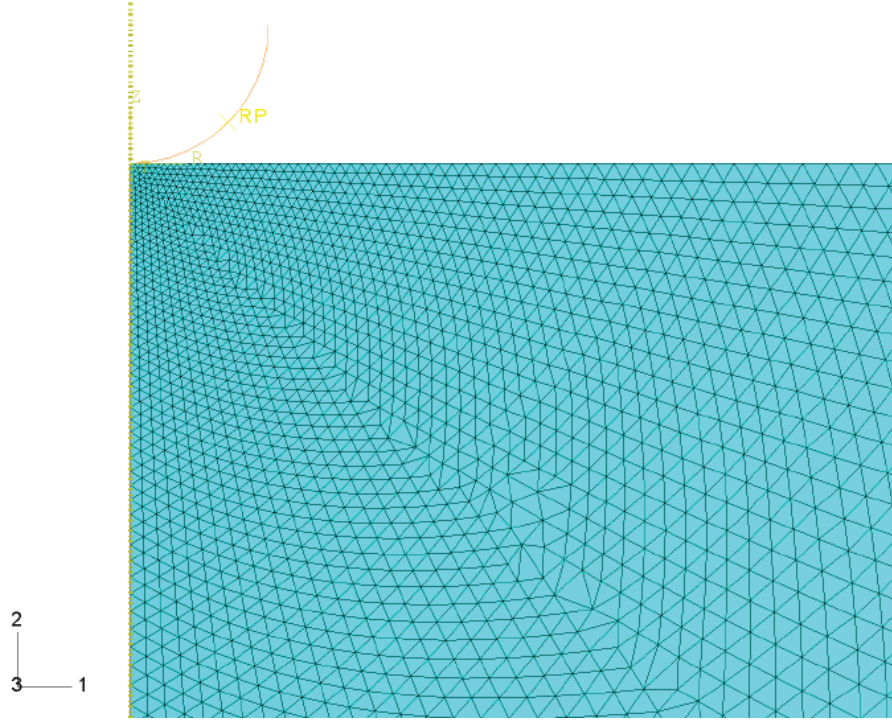
و يتم انجاز النمذجة على مرحلتين :

المرحلة الأولى: حيث يتم غرس السن رقمياً فيها تدريجياً إلى العمق الذي تم اختياره ( 0.153 مم ) .

المرحلة الثانية : يتم رفع السن رقمياً تدريجياً حتى الموضع الاساسي له.

**في الخطوة اللاحقة** يتم تصميم و اختيار الشبكة الهيكلية حيث أننا كثفنا هذه الشبكة بجوار و تحت سن رأس الحفر. وتم استخدام عناصر ثلاثية الأضلاع عددها 10000 عنصر حيث يبين (الشكل 2) هذه الشبكة المستخدمة للسن الكروي و لا داعي لعرض الشبكة الهيكلية لبقية الاسنان لأنها تشبهها.





شكل (2) يوضح الشبكة الهيكلية للحيز الهندسي المدروس للسن الكروي.

##### 5. النتائج ومناقشتها :

بعد تطبيق عملية النمذجة وحساب حقول تساوي الإجهادات والتشوهات والانتقالات نختار إظهار النتائج التالية:

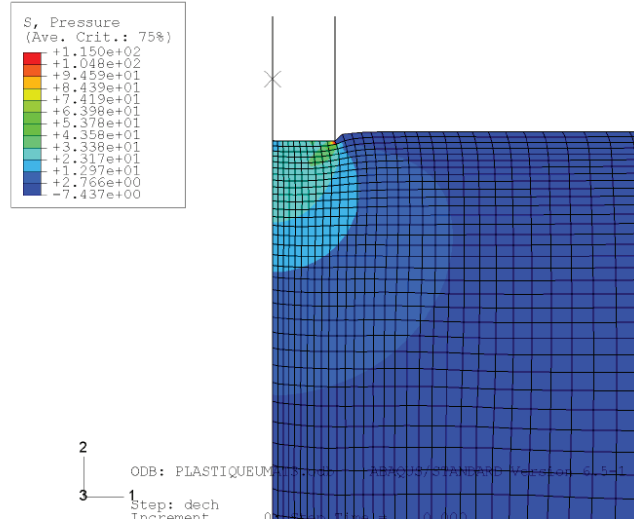
1- الحالة الإجهادية في نهاية حالة التحميل تحت سن الحفر.

2- الحالة الإجهادية المتبقية في الصخر في نهاية صعود السن و عند لحظة عدم التماس بين السن و الصخر.

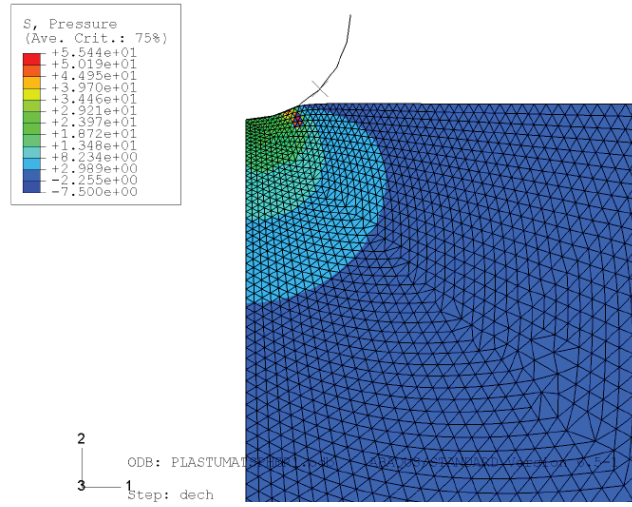
يوضح الشكل 3 الحالة الاجهادية للصخر تحت السن من اجل السن المسطح و الشكل 4 من اجل السن الكروي و الشكل 5 من اجل السن المخروطي و ذلك في نهاية مرحلة التحميل. ننوه

استخدام النمذجة في دراسة تأثير شكل سن رأس الحفر على الحقل الإجهادي تحت السن

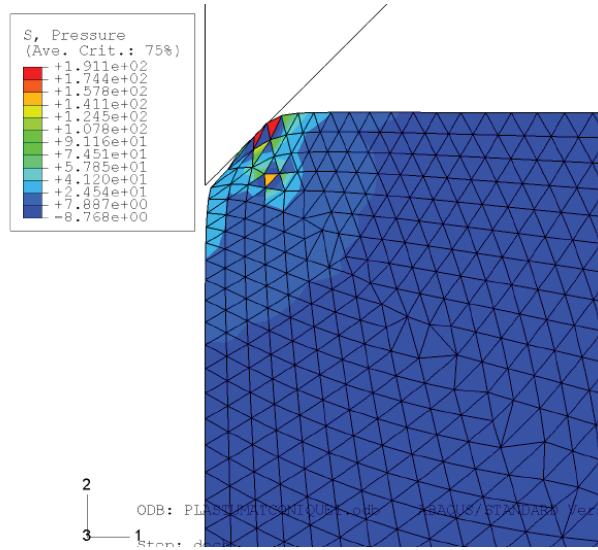
بأن هذه الأشكال تم عرضها بطريقة تتناسب مع حجم النتائج و للحصول على الوضوح المطلوب.



الشكل 3 الحالة الاجهادية للصخر تحت السن من اجل السن المسطح في نهاية حالة التحميل نلاحظ من الشكل 3 المخاريط الإجهادية المتشكلة و كيفية امتدادها في العمق و لكن من الملاحظ أن المخاريط ذات الشدة الكبيرة هي التي تقع مباشرة تحت السن إن قيمة الاجهاد الاعظمي للسن المسطح هو 115 ميغا باسكال و تتركز هذه القيمة في محيط السن. بالنسبة للسن الكروي نلاحظ أن امتداد المخاريط في العمق اقل من حالة السن المسطح و قيمة الاجهاد الاعظمي هي 55 ميغا باسكال و تتركز في محيط دائرة التماس الخارجية للسن مع الصخر و في العمق قيمة الاجهاد في النواة القريبة هو 29 ميغا باسكال.



الشكل 4 الحالة الاجهادية للصخر تحت السن من اجل السن الكروي في نهاية حالة التحميل.

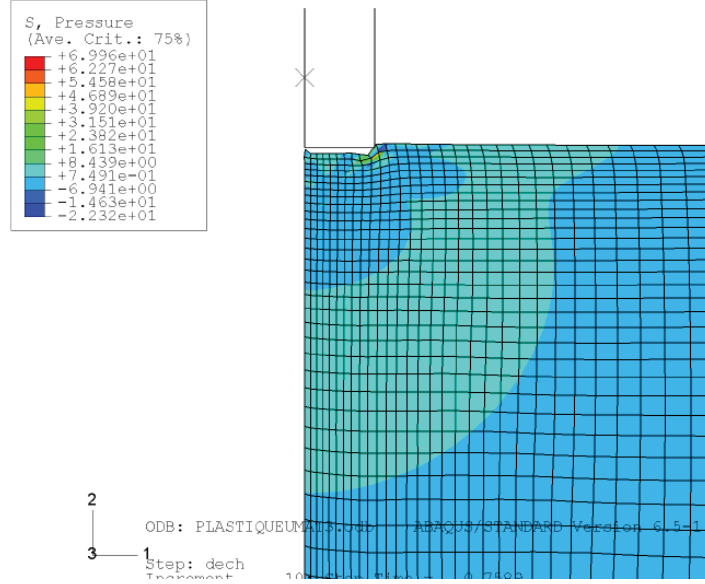


الشكل 5 الحالة الاجهادية للصخر تحت السن من اجل السن مخروطي في نهاية حالة التحميل.

نتيجة شكل السن المخروطي فيكون دخوله في الصخر اسهل نلاحظ تناسب شكل المخاريط الإجهادية مع شكل السن المخروطي. إن قيمة الاجهاد الاعظمي هي 191 ميغا باسكال و تتركز في محيط تماس السن مع الصخر.

## استخدام النمذجة في دراسة تأثير شكل سن رأس الحفر على الحقل الإجهادي تحت السن

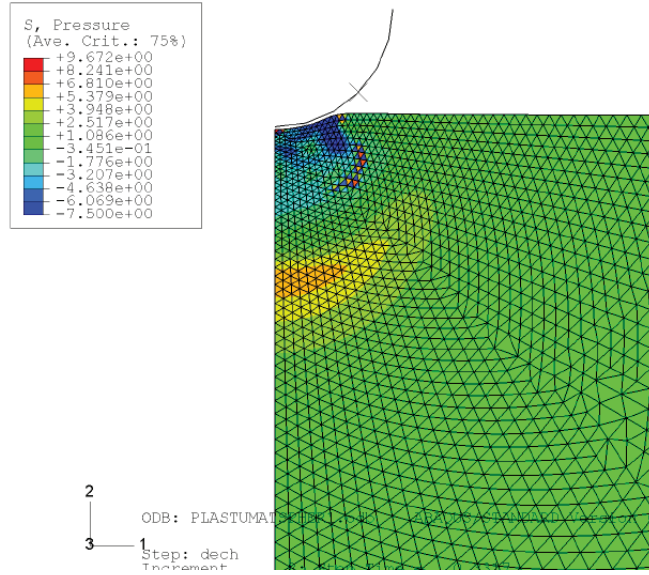
يوضح الشكل 6 الحالة الاجهادية للصخر تحت السن من اجل السن المسطح و الشكل 7 من اجل السن الكروي و الشكل 8 من اجل السن المخروطي و ذلك في نهاية مرحلة صعود السن.



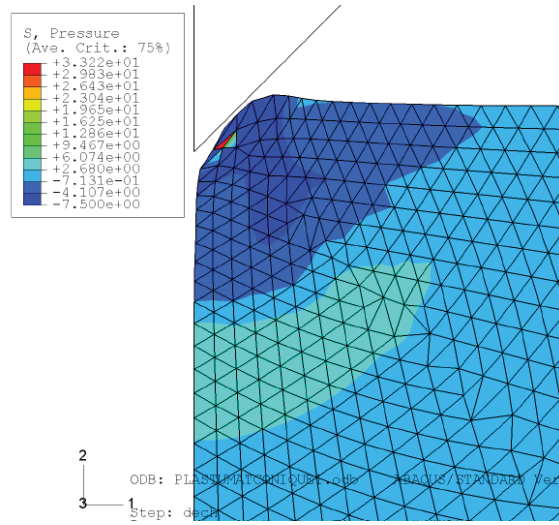
الشكل 6 الحالة الاجهادية للصخر تحت السن من اجل السن المسطح في نهاية مرحلة صعود السن.

نلاحظ على الشكل 6 الاجهادات المتبقية بعد صعود السن و هي على شكل مخروط إجهادي يمتد في العمق و قيمة الاجهاد هي 16 ميغا باسكال تحت السن مباشرة و بالتالي فننتوق أن الصخر قد تحطم تماما أثناء دخول السن على شكل نواة تفتتت على شكل فطر مقلوب.

يبين الشكل 7 الاجهاد المتبقي تحت السن الكروي و نلاحظ و جود نواة إجهادية في العمق قيمة الاجهاد فيها تقريبا 6 ميغا باسكال و يمكن أن نتوقع أن هذا العمق هو عمق التفتتت الحرج و ان الصخر قد تحطم في حدود هذه النواة. و أما في حالة السن المخروطي فهي من قيمة 2.6 ميغا باسكال و يلاحظ أن هذه المخاريط الإجهادية المتبقية تقع على عمق قليل نسبياً. يمكن التوصل الى النتيجة التالية : إن السن المخروطي يتناسب مع الصخور الطرية لما له من قدرة على اختراق الصخر بنتيجة شكله المدبب أما السن الكروي فيستخدم للصخور القاسية و يفتتها من خلال المخاريط الإجهادية المحيطة للسن و المنتشرة في العمق.



الشكل 7 الحالة الاجهادية للصخر تحت السن من اجل السن الكروي في نهاية مرحلة صعود السن.



الشكل 8 الحالة الاجهادية للصخر تحت السن من اجل السن المخروطي في نهاية مرحلة صعود السن.

## الاستنتاجات والتوصيات :

مما سبق يمكن أن نخلص إلى جملة من الاستنتاجات:

1- تم الحصول على مخرائط إجهادية في كل الاسنان المستخدمة و تم ملاحظة الاختلاف بشكل هذه المخرائط و قيم الاجهادات وفقا لشكل السن و بالتالي سوف تتأثر عملية التفتيت بشكل مباشر بشكل السن المختار.

2- إن المخرائط الإجهادية للسن الكروي تمتد في العمق و بالتالي نستطيع تفسير استخدام السن الكروي للصخور القاسية.

3- من خلال شكل المخرائط الإجهادية و قيمها تحت السن المخروطي نستطيع فهم و تفسير استخدام السن المخروطي للصخور الطرية.

4- بعد تحليل الحقل الإجهادي تحت الاسنان المختلفة نقترح استخدام سن مخروطي ذو نهاية غير مدببة (كروية) إن أمكن و ذلك للاستفادة من خواص السن المخروطي و الكروي معا.

5- مكنتنا عملية النمذجة من معرفة كيفية تغير الحالة الإجهادية تحت الصخر بتغير شكل السن.

6- تم ملاحظة الاختلاف في قيم الإجهادات العظمى لكل سن من الأسنان و بالتالي يمكننا اسقاطها على تغير حالة الانهيار بتغير شكل السن.

كي يتم إغناء هذه الدراسة لا بد من تجسيد حالات حقلية واقعية و مطابقة النتائج الحقلية مع نتائج عملية النمذجة، و لا بد أيضاً من استخدام موديلات رياضية أكثر تعقيداً لتعبر عن الصخور المدروسة بأمانة (إضافة الشروط الطبقيية في الحسبان) و خصوصاً بعد معرفة مواصفاتها الميكانيكية بشكل جيد.

## 6. المراجع:

- 1- د. هيسم عازار. 1996- ميكانيك تفتيت الصخور. منشورات جامعة البعث-كلية الهندسة الكيميائية و البترولية، الطبعة الأولى، 204 صفحة.
- 2-Boussinesq J. (1885), Applications des potentiels à l'étude de l'équilibre et du mouvement des solides élastiques, Gauthier-Villars, Paris 1885
- 3-Fjaer E. et al, 2008- Petroleum Related Rock Mechanics, 2nd Ed. 515p.
- 4- IBRAHIM N.2008,Caractérisation des propriétés mécaniques des Géomatériaux par technique de micro indentation. Thèse doctorat. LML lille.
- 5-Schechter.R, 1992- Oil well simulation , University of Texas,312p.
- 6- Springman S-2009- Modelling in geotechnics. Institute of Geotechnical Engineering, 175p.