

## نمذجة أداء خلية استشعار نانوية باستخدام برنامج ANSYS

صلاح خلف غافل  
رياض كامل عبد  
وزارة العلوم والتكنولوجيا / دائرة بحوث المواد  
بغداد - العراق

### الخلاصة

شهدت الفترة الأخيرة مع بدايات الألفية الثالثة طلباً متزايداً لأنظمة الاستشعار خصوصاً في مجال تقييم المكامن النفطية (حجم المكامن، كمية المواد الهيدروكربونية، تحديد الضغط الداخلي ودرجة حرارة المكامن، .... الخ) مما يتيح للمختصين الأسلوب الأمثل للتعامل المستقبلي معها عن طريق حقنها داخل المكامن، إضافة إلى استخدام هذه المتحسسات في مجال حفر الآبار النفطية والصناعات البتروكيمياوية والتعرف على حجم محتوى المياه الجوفية في المناطق الصحراوية وبالتالي المساهمة في التخطيط المستقبلي لتنمية واستغلال هذه المساحات حيث تعد هذه الأجهزة ذات حساسية عالية وفعالة من حيث الدقة وقليلة التكلفة نسبياً. في هذا البحث تم بناء موديل رياضي يصف المتغيرات التي ترافق حقن خلايا استشعار (Sensors) مصنعة من أنابيب الكربون النانوية إلى داخل مكامن نفطي على عمق أكثر من 11 ألف قدم لتوضيح تأثير تغير الضغط ودرجات الحرارة المتنامية (ضغط 239 ميكا باسكال ودرجة حرارة 433 كلفن) وبالتالي تحديد قيمة الاجهادات الميكانيكية والحرارية التي تتعرض لها خلايا الاستشعار داخل المكامن باستخدام برنامج ANSYS. أثبتت النتائج المستخلصة من البحث قابلية تحمل خلية الاستشعار المصنعة من أنابيب الكربون النانوية للظروف المكمية القاسية مقارنة بالمتحسسات التقليدية.

**الكلمات المفتاحية :** نمذجة ، خلية استشعار نانوية و مكامن نفطي.

## Modeling of Nano Sensor by Using ANSYS Program

Salah Khalaf Ghafil  
Riyadh Kamil Abd  
Ministry of Science and Technology / Materials Research Directorate  
Baghdad - Iraq  
E-mail: [midadriyadh971@yahoo.com](mailto:midadriyadh971@yahoo.com)

### Abstract

Recently with the start of the third millennium as a growing demand for sensor systems, especially in the field of oil reservoir evaluation (size of oil reservoir, amount of hydrocarbons, determine the internal pressure and the temperature of the reservoir,... etc) allowing for the professionals the best method for dealing future with it by being injected within the reservoir, as well as the use of these sensors in the field of drilling of oil wells, petrochemical industries and to identify the size of the content of the groundwater in the desert areas, thus contribute to the future planning for the development and exploitation of these spaces where devices are high-sensitivity and effective in terms of accuracy and low-cost relatively. In this research mathematical model was biulded to describe the variables that accompany injection cells sensor which made of carbon nanotubes into the oil reservoir at a depth of more than 11 thousand feet to illustrate the impact of changing pressure and temperature growing (pressure 239 MPa and temperature 433 K) to predict mechanical and thermal stresses that cells sensor expose to inside the reservoir using ANSYS Software. The results have been Proved that affordability cell sensor manufactured from carbon nanotubes for harsh reservoir conditions compared with traditional sensors.

**Key Words :** Modeling, Nano Sensor and Reservoir.

تعتبر عملية تحضير أنابيب الكربون بمقياس النانو ، تقنية متطورة ، وهذه الأنابيب عبارة عن أسطوانات مجوفة تتكون من مجموعة ضخمة من الحلقات السداسية التي تتكون بدورها من ذرات الكربون (Yakobson , 1998). الكربون النانوي ظاهرة فيزيائية تم رصدها أول مرة عام 1991 في شركة " NEC للعصارات الإلكترونية في اليابان بواسطة العالم سوميو ليجيما "Sumio Lijima"، حينما كان يدرس الرماد الناتج عن عملية التفريغ الكهربائي بين قطبين من الكربون باستخدام ميكروسكوب إلكتروني عالي الكفاءة " High-Resolution Transmission Electron Microscope (Goa,2002)، ولاحظ ليجيما أن هناك بعض اللعان أو البريق داخل هذا الرماد فاعتقد أن الكربون تحول إلى ماس فقرر فحصه من جديد ليكتشف ان جزيئات الكربون قد التقت لتتصل ببعضها البعض مكونة ما يشبه الأنابيب. تم تكرار التجربة عدة مرات وفي كل مرة كان هناك جديد بعد كل فحص وكان مجمل ما توصل إليه سوميو ليجيما هو أن:

- جزيئات الكربون تأخذ ترتيباً يشبه الأنابيب .

- أنابيب الكربون الناتجة غير متساوية في الحجم.

- تنتج أنابيب متعددة الطبقات " Multi - Walls " مختلفة في اللون والخواص (Dresselhaus et al., 1996).

هذا الاكتشاف لفت انتباه شركة "IBM" فقررت الدخول إلى هذا المجال، ففي عام 1993 تمكن العالم دونالد بتيون "Donald Bethune" من شركة "IBM" لتكنولوجيا الحاسبات في الولايات المتحدة الأمريكية من رصد أنابيب كربون نانوية ذات جدار واحد "Single-Wall"، يبلغ قطر الأنبوب الواحد منها "12" نانومتر (Karoub,2004). بعد ذلك استطاع فريق من العلماء الصينيين من رصد أصغر حجم لأنابيب الكربون النانوية في العالم الذي يصل قطره إلى "0.5" نانومتر فقط، مع العلم أن أقل قطر لأي شيء في العالم نظرياً هو "0.4" نانومتر (Drexler,1992). يهدف البحث الى بيان امكانيه خلايا الاستشعار النانويه على تحمل الظروف الحراريه والميكانيكيه الحرجه والتي تفشل عندها المتحسسات التقليديه .

تعمل خلايا الاستشعار على تحديد وقياس العناصر الفيزيائية مثل درجة الحرارة ، الضغط ، الصوت و التركيز ، هذه المعطيات ( العناصر ) يتم تحويلها إلى إشارة كهربائية مقروءة باستخدام برامجات تكتب بلغات البرمجة مثل ( VBASIC , C++ ) إن المتطلبات الرئيسية الواجب توفرها في هذه المتحسسات هي الدقة العالية (الحساسية) ، الاستجابة السريعة ، الكلفة الواطئة نسبياً ، الناتج الوفير للمعلومات والمرونة العالية (Madhusudan,2003). المتحسسات تساهم في تغيير مجرى حياتنا من خلال تواجدها في فروع المعرفة الواسعة من استخدامهما في مجال الكيمياء الحياتية والتطبيقات الصناعية والزراعية إضافة إلى تطبيقاتها في مجالات الصناعة النفطية والبتروكيميائية ومنها تقنيات تحسين عمل العوامل المساعدة (Scott,2003) ، وفصل الغازات وحفر الآبار و الاستكشافات النفطية (Jackson, 2005) ، مما دعا إلى وجود حاجة ملحة في تطوير المواد الداخلة في تصنيعها وتحسين تقنية عملها بما يتلائم والهدف المطلوب منها (Chaudhury,2003). في عام 2005، عرضت شركة نانوميكس في الأسواق مستشعراً هيدروجينياً والذي يتسم بأنه يدمج الأنابيب النانوية على أرضية من السيليكون (Douglass,2002) ومع تطور تقنية علم الصغائر خصوصاً في مجال أنابيب الكربون النانوية واتساع استخداماتها دخلت هذه الأنابيب كمادة أساسية في تصنيع متحسسات كفاءة ابرز مميزاتا خفة وزنها واستهلاك واطئ للطاقة وذات عمر طويل وواطئة التكلفة ومقاومة عالية للاجهادات المسلطة عليها وموصلية كهربائية وحرارية عالية إضافة إلى المساحة السطحية الكبيرة التي توفرها الجزيئات النانوية المشكلة لهذه المتحسسات (Lijima and Ichihashi, 1991). يوجد نوعان من أنابيب الكربون النانوية (أحادية الجدار SWNTs و متعددة الجدار MWNTs والتي تصل عدد طبقاتها إلى 50 طبقة (Yakobson,1998).

- 4- دراسة تأثير بعض التعديلات على نظام أو عملية معينة قبل تنفيذ التعديل عملياً وذلك لتجنب الخسائر المادية والوقت.
- 5- فهم ظواهر معقدة ترافق عمليات التصنيع والتنفيذ لتصاميم معدات هندسية.
- 6- تحسين خواص مواد أو تطوير كفاءة منظومات صناعية.

### برنامج ANSYS

وهو من البرامج الهندسية المتقدمة التي تستخدم طرق تحليل العناصر المحددة Finite Elements Analyses (FEA) في بناء موديلات رياضية للوصول إلى الحل الأفضل لتشغيل وصيانة المنظومات الصناعية. البرنامج أعلن عنه من قبل شركة INC الأمريكية للدكتور John Swanson في عام 1970 .

### مجالات عمل برنامج ANSYS

- يعمل البرنامج في الحقول التالية:-
- 1- تحليل الاجهادات (الحرارية والميكانيكية) للمنظومات والمعدات والمواد.
  - 2- انتقال الحرارة .
  - 3- جريان الموائع.
  - 4- الكهرومغناطيسية
  - 5- حساب الخواص الفيزيائية.
  - 6- محاكاة لمعظم المعدات المستخدمة في الصناعة النفطية والبتروكيمياوية.

### مميزات عمل برنامج ANSYS

- 1- واجهة استخدام سهلة.
- 2- عمل الحسابات اللازمة بمجرد إدخال بيانات للخواص الفيزيائية للموديل الرياضي.
- 3- تعديل نتائج الحسابات أوتوماتيكياً بمجرد إدخال أي تغيير في البيانات المعطاة .
- 4- يحتوي البرنامج على مكتبة ضخمة للمواصفات وكم هائل من الكتب العلمية الرصينة والتي يدرس قسم منها في الجامعات العراقية مثل كتاب Heat Transfer by Holman .
- 5- سهولة إخراج وطبع البيانات والنتائج .

### المواد وطرائق العمل

أنابيب الكربون النانوية هي عبارة عن ألواح من الجرافيت تم ثنيها لتأخذ الشكل الأسطواني المجوف. وتوجد ثلاث أشكال هندسية لأنابيب الكربون النانوية ، تعتمد على طريقة ثني "Roll up" لوح الجرافيت للحصول على الشكل الاسطواني وهي:-

Zig-zag , Chiral and Armchair.

### طرق تحضير أنابيب الكربون النانوية

أنابيب الكربون الدقيقة تترايط فيها الذرات ثلاثياً في رقائق منحنية تشكل أسطوانات مفرغة يتم الحصول عليها بطريقة القوس الكهربائي مع تغيير طاقته لكي يصبح التيار مستمراً بدلاً من المتناوب ، وبالتالي يمكن الحصول على هياكل أنبوبية الشكل في أحد الرواسب على القطب. وهذه الأنابيب مكوّنه بالكامل من الكربون، وتمت تسميتها الأنابيب النانومترية وذلك نظراً لقطرها الذي يبلغ عدة نانومترات . وتوجد طرق عديدة لتحضير جزيئات الكربون المكونة من الأنابيب النانومترية، وهي:

- تحليل كهربائي باستخدام أقطاب من الجرافيت في أملاح منصهرة .
- تحليل حراري مُحفّز للهيدروكربونات .
- تبخير للجرافيت باستخدام الليزر .

وباختلاف طرق عمل الأنابيب النانومترية ، تكون لها خواص إلكترونية مختلفة، فبعضها يُتوقع أن يكون معدنياً بينما يكون البعض الآخر أشباه موصلات (Madhusudan,2003). واتضح أن تلك الأنابيب النانومترية قويّة بدرجة كبيرة ويرجع ذلك جزئياً إلى شكلها الهندسي السداسي، والذي يمكنه توزيع القوى والتشوهات بسبب قوة رابطة الكربون – كربون ، و بالتالي فإن لها خواص إلكترونية غير عادية.

### طرق تصنيع أنابيب الكربون النانوية

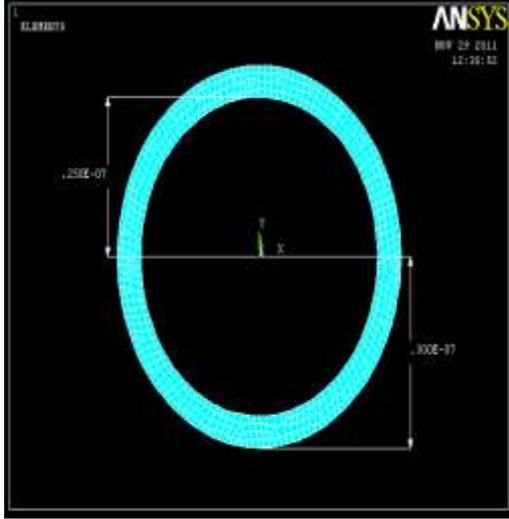
- هناك ثلاث طرق متعارف عليها عالمياً في تصنيع أنابيب الكربون النانوية وهي :-
- 1- التذرية الليزرية Laser Ablation
  - 2- الترسيب الكيميائي للبخار Chemical Vapour Deposition "CVD"
  - 3- تفريغ القوس الكهربائي Arc Discharge

### استخدامات النمذجة الرياضية

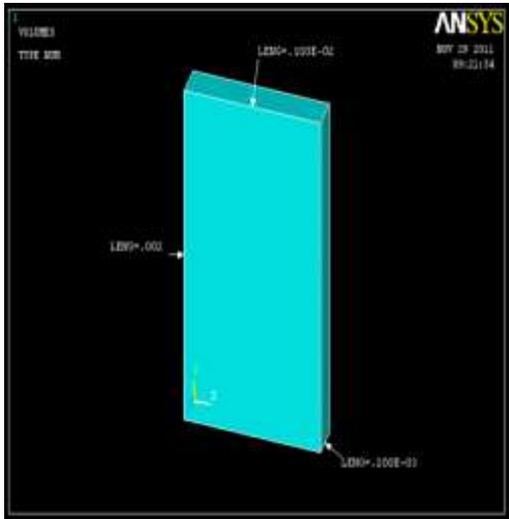
يمكن استخدام اسلوب النمذجة الرياضية في مجالات عديدة منها:-

- 1- عمل نماذج للأنظمة الطبيعية والأجهزة البشرية لفهم طريقة عملها.
- 2- اختبار الآلات والمعدات الجديدة قبل استعمالها.
- 3- التدريب على استخدام منظومات ومعدات جديدة لمن لا يستطيع التعامل المباشر معها.

للأنبوب = 30 نانو متر، طول الأنبوب = 1 ملم) وبعد عملية تجميع الأنابيب النانوية ودمجها بشكل مصفوفة ذات سمك (0.2) ملم وبطول (1) ملم وارتفاع (2) ملم لتكوين خلية استشعار ( متحسس نانوي ) ، والشكلين (1 و 2) يوضحان ذلك:-



شكل (1) مقطع عرضي لأنبوب كربون نانوي



شكل (2) خلية استشعار من أنابيب الكربون النانوية

وباعتماد المواصفات الميكانيكية والحرارية لأنابيب الكربون النانوية وكما يلي:-

$$\text{Young Modulus} = 1e^{15} \text{ (nN/nm}^2\text{)}$$

$$\text{Poisson Ratio} = 0.2$$

$$\text{Thermal Conductivity} = 3500 \text{ (W/m.K)}$$

يمكن توضيح خطوات بناء الموديل الرياضي باستخدام برنامج " ANSYS " كما يلي:-

- Defining the Analysis
- Geometries
- Defining the Element Type
- Real Constants
- Defining Material Properties
- Meshing
- Defining & Applying Loads
- Applying Boundary Conditions
- Solving the Problem
- Output (Read results – Plot results – Print)
- Viewing the Mode Shapes

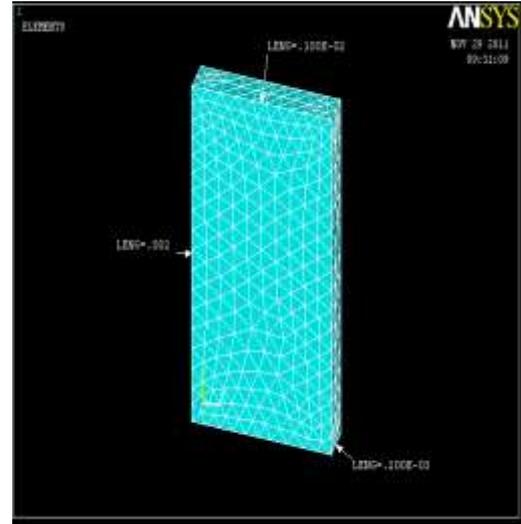
مع تثبيت الظروف الحدية الحرجة " Critical Boundary Conditions " وتجانس الوحدات من خلال تثبيت الخواص الفيزيائية مثل الكثافة والكثافة النسبية للمادة والحرارة النوعية ومعامل التوصيل الحراري لأنابيب الكربون ومعامل يونج ونسبة بويسن حسب النظام العالمي للوحدات " SI UNITS " علماً ان الحل تم بثبات الخواص للمادة في كل الاتجاهات " Isotropic

### الموديل الرياضي للبحث

في هذا البحث سيتم بناء موديل رياضي باستخدام برنامج ANSYS لتوضيح الاجهادات المتولدة على خلية استشعار نانوية نتيجة وجودها في بيئة عمل قاسية والتي تمثل الظروف الحرجة المسلطة على معدات الحفر داخل البئر النفطي مما يعطي تصوراً واضحاً لما يجري أثناء عملية الحفر من تغير في الضغط ودرجة الحرارة وتأثير ذلك على المعدات وبالتالي إعطاء الحل الأفضل لتجاوز المشاكل المتوقعة أثناء عملية الحفر. وباستخدام طرق الرصد الزلزالي يتم تحديد حدود الممكن النفطي وإبعاده وبالتالي تقدير حجم المحتوى الهيدروكربوني ونوعه داخل الممكن عن طريق الإشارة المنبعثة من المتحسسات إلى محطات الرصد.

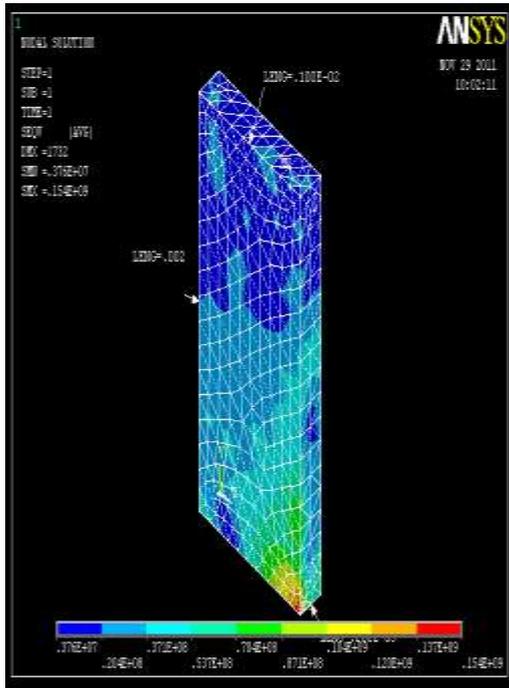
تم اخذ أنبوب كربون نانوي متعدد الجدار (القطر الداخلي للأنبوب = 25 نانو متر ، القطر الخارجي

بعد توظيف برنامج ANSYS V12 والذي يعتمد أسلوب الحل العددي للحصول على النتائج بعد ان قسمت خلية الاستشعار إلى أكثر من (5000) عقدة مما يجعل أسلوب الحل أكثر دقة. نلاحظ من الشكل (5) توزيع الاجهادات الميكانيكية والحرارية بطريقة (Von Misses) على خلية استشعار مصنعة من أنابيب الكربون النانوية بالأبعاد المعروفة مسبقاً ونلاحظ أعلى قيمة للإجهاد تتركز في نقطة التثبيت والتي تظهر باللون الأحمر في التدرج اللوني على الشكل أدناه حيث قيمة الإجهاد الأعظم  $(1.54e^8 \text{ N/mm}^2)$ .



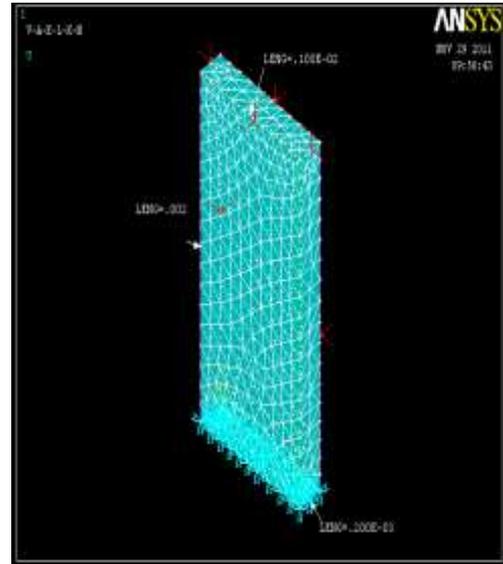
شكل (3) خلية استشعار نانوية مقسمة إلى عقد باستخدام ( Smart Meshing )

وثبتت خلية الاستشعار من احد الأطراف بقوة مقدارها (1000) ميكا باسكال وتسلط ضغط مقداره (239) ميكا باسكال و درجة حرارة بقيمة (433) كلفن من جميع الاتجاهات للجزء الحر من خلية الاستشعار وكما موضح في الشكل (4)

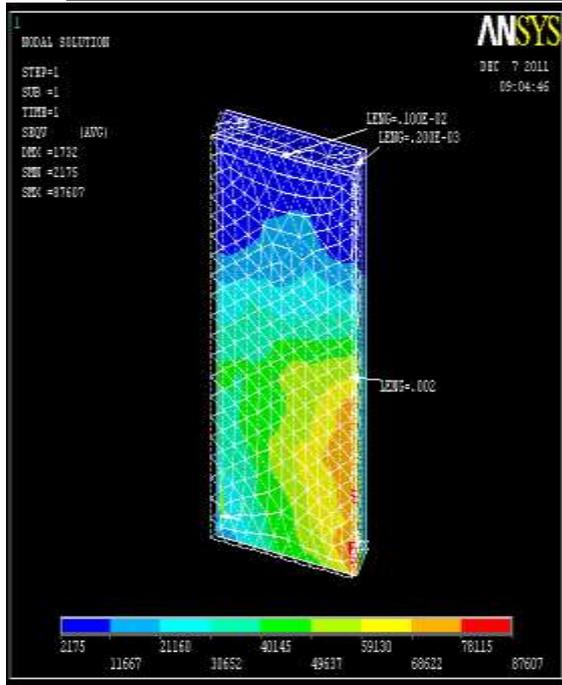


شكل (5) توزيع الاجهادات الميكانيكية والحرارية باستخدام (Von Mises)

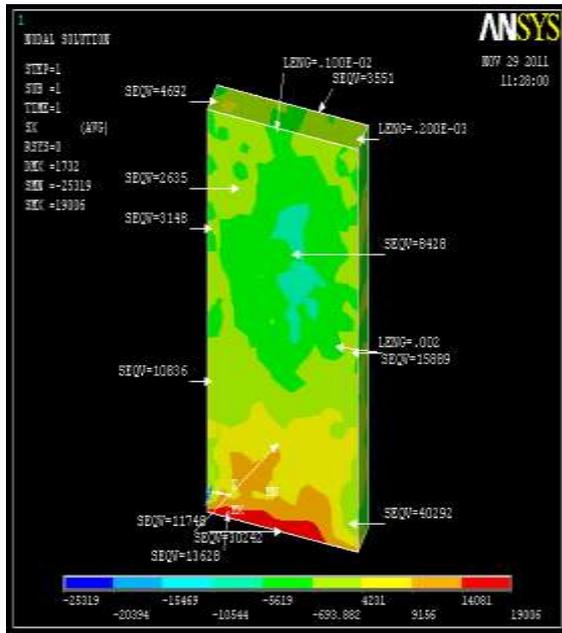
أما الشكل (6) فيوضح مقدار تأثير الأحمال الميكانيكية والحرارية على خلية الاستشعار و النتشوه الحاصل نتيجة تعرضها للاجهادات .



شكل (4) تثبيت النموذج وتعريف الأحمال الميكانيكية والحرارية

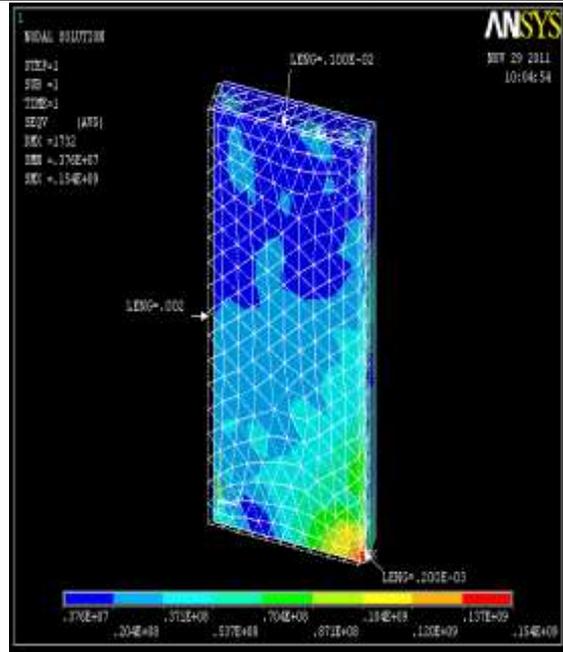


شكل (7) توزيع الاجهادات الميكانيكية والحرارية على خلية استشعار (Stainless Steel)



شكل (8) توزيع الاجهادات الميكانيكية والحرارية في مناطق مختارة من الجسم

مما تقدم يتضح لنا من خلال مقارنة النتائج في الشكلين (6 و 8) إن الاجهادات الناتجة على خلية الاستشعار الموضحة في الشكل (8) "Stainless Steel Sensor" أدت إلى حدوث تشوهات المعدن في أماكن واسعة وخصوصاً في منطقة التثبيت حيث انهار المعدن في المناطق الحرجة الموضحة باللون الأحمر



شكل (6) تشوه النموذج نتيجة تعرضه للاجهادات

ولبيان جودة هذا المتحسس تم مقارنته مع متحسس آخر مصنوع من مادة الفولاذ المقاوم للصدأ (Stainless Steel) بنفس الأبعاد ووضع في ذات الظروف التشغيلية السابقة مع تثبيت مواصفاته الميكانيكية والحرارية وكما يلي:-

$$\text{Young Modulus} = 2e^{11} \text{ (N/m}^2\text{)}$$

$$\text{Poisson Ratio} = 0.3$$

$$\text{Thermal Conductivity} = 45 \text{ (W/m.K)}$$

والشكلين (7 و 8) يوضحان توزيع الاجهادات الميكانيكية والحرارية والتشوه الحاصل .

Artificial Intelligence Will Transform Our World, 1<sup>st</sup> Ed. , New York , 300 pp.

**Dresselhaus, M. S. ; Dresselhaus, G. and Eklund, P. C.,** (1996) Science of Fullerenes and Carbon Nanotubes, 2<sup>nd</sup> Ed., New York, 88-106 pp.

**Drexler E. K. ,** (1992) Nanosystems Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation, 2<sup>nd</sup> Ed. , Toronto, 228 pp.

**Goa, T.,** (2002) Nanoscience A Small Scale Revolution, 1<sup>st</sup> Ed. , Oslo, 1010 pp.

**Karoub, J. ,** (2004) Focus on Energy Nanotech Extracts Benefits for Oil Industry, 1<sup>st</sup> Ed. , London, 67 – 83 pp.

**Jackson, S. A. ,** (2005) Energy Security and the Quiet Crisis, 1<sup>st</sup> Ed. , Belgium, 12-18 pp.

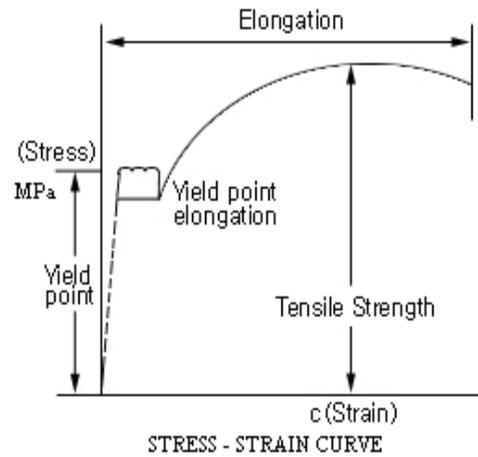
**Iijima, S. and Ichihashi, T. ,** (1991) Helical Microtubules of Graphitic Carbon ,1<sup>st</sup> Ed., London, 56-58 pp.

**Madhusudan, R.K. and Manorama, S.V. ,** (2003) Synthesis of Material for Liquefied Petroleum Gas Sensing-Sensors and Actuators, 1<sup>st</sup> Ed. , India, 62–67 pp.

**Scott, S. ; Crudden, C.M. and Jones, C.W.,** (2003) Nanostructure Catalysts , 1<sup>st</sup> Ed., New York, 342 pp.

**Yakobsonb, B.I. ,** (1998) The Future of the Fullerenes ,3<sup>rd</sup> Ed. , Amsterdam, 597–606 pp.

نتيجة تركيز الاجهادات الحرارية والميكانيكية والتي تجاوزت نقطة الخضوع (Yield Point) لمعدن الفولاذ حيث في هذه النقطة يحصل التحول من الانفعال المرن الى الانفعال اللدن (من اللاتشويه الى التشويه)، بينما في خلية الاستشعار الموضحة في الشكل (6) "CNT Sensor" لم يصل المعدن نقطة الخضوع وبالتالي تحملت خلية الاستشعار الظروف المحيطة مما يعطي تصوراً واضحاً ان قابلية تحمل المتحسس المصنع من أنابيب الكربون النانوية بالأبعاد المقترحة في البحث أفضل من قابلية تحمل المتحسس المصنع من مادة الفولاذ المقاوم للصدأ وكما مبين في الشكل (9).



شكل (9) منحنى الإجهاد – الانفعال

#### التوصيات

يقترح بناء موديل رياضي باستخدام البرنامج أعلاه لحساب الاجهادات الميكانيكية والحرارية مع تغير الزمن ( Unsteady State ) في حالة استخدام نفس الظروف أعلاه لملاحظة تصرف المادة المصنع منها المتحسس وبالتالي تحديد العمر التشغيلي.

#### References

**Chaudhury, M.K. ,** (2003) Complex Fluids - Spread the Word about Nanofluids, 1<sup>st</sup> Ed. , London, 131–132 pp.

**Douglas, M. ,** (2002) How Nanotechnology, Robotics, Genetics, and