

## دراسة تأثير انحراف الفرن الدوار عن محور العجلات الحاملة في معامل الأسمنت على الإجهادات في المحامل

د. صباح محمد جميل ملا علي  
أستاذ

السيد أحمد محمود عبدالله  
مدرس مساعد

كلية الهندسة / جامعة الموصل

الخلاصة:

تعد مشكلة عدم المحاذاة في الأفران الدوارة (Rotary Kilns) من أهم المشاكل التشغيلية الشائعة والمتكررة الحدوث في معظم معامل الاسمنت إذ تؤدي إلى توليد إجهادات وأحمال إضافية على محامل العجلات الحاملة، وإلى عدم انتظام توزيع الحمل المسلط على سطح المحمل بتركزه على جانب واحد أو جانبيين من جوانب المحمل. وبالتالي إلى سقوط البطانة النارية الموجودة داخل جسم الفرن.

يتمحور هذا البحث حول تحليل الإجهادات المتولدة على محامل العجلات الحاملة للفرن الدوار في معمل سمنت حمام العليل الجديد، ودراسة تأثير التغير في حالة عدم المحاذاة في توزيع هذه الإجهادات وتركزها نظراً لما لدراسة تركز الإجهادات من أهمية كبيرة بالنسبة للعاملين في مجالات تصميم المحامل وصيانتها، إذ يتوقع أن يبدأ تلف في مادة المحامل عند مناطق تركز الإجهادات.

أستخدم في هذا البحث برنامج (ANSYS 9.0) بوصفه أداة فاعلة ودقيقة في تحليل الإجهادات وحالات متعددة، إذ تم اختيار نوع المعدن وتقسيم النموذج إلى الشرائح المختارة له وإجراء عملية التقييد وتبسيط الحمل، وأخيراً الحصول على قيمة الإجهادات ولكل حالة من حالات عدم المحاذاة المقروضة. بعد عرض النتائج المستحصلة من البرنامج، يمكن ملاحظة التغير الذي يحدث على توزيع الإجهادات والانفعالات وقيم الانزلاق والتداخل والإزاحات وأماكن تركزها على سطح المحمل مع حالات عدم المحاذاة.

## Study of the Misalignment of the Rotary Kiln Relative to Carrying Roller Center in Cement Factories on the Stress in Bearings

Dr. Sabah. m. j. Ali  
Professor

Mr. Ahmed M. Abdullah  
Assistant Lecturer

College of Engineering / University of Mosul

### ABSTRACT:

Misalignment problem is considered as one of the most important and common repeated problems in rotary kiln in meanly all of cement factories. This will lead to generation of vibration and extra loads on bearing of the carrying rollers. Also a non-uniformity can occur in distribution of applied load on all the surface of the bearing which being concentrated on one or two sides of the bearing surface, and finally leads to falling the fire lining.

The present research work is concentrated on the analysis of stresses generated on bearing of the carrying rollers of the rotary kiln in new Hammam Al-Alil factory. In addition the effect of misalignment is shown on stresses distribution and it's concentration. This is important for the bearing design and those who work in bearing maintenance in this factory.

The "(ANSYS 9.0)", which uses a finite element technique, had been utilized in this program. This is a very efficient and accurate tool in stress analysis for many cases. The stresses had been calculated for the assumed cases.

The results showed clearly that the stress distribution and concentration on the bearing is altered with misalignment for each case.

Keywords: Misalignment, Rotary kiln, Techniques , ANSYS

## تعريف الرموز والمصطلحات:

الرمز	تعريفه	الوحدة	الرمز	تعريفه	الوحدة
E	معامل يونج للمرونة.	$kN/m^2$	$\phi$	زاوية ميلان المستوي	(Degree)
I	مسند الفرن الأول	-	$\sigma$	الإجهاد العمودي	$kN/m^2$
II	مسند الفرن الثاني	-	$\sigma_z$	الإجهاد باتجاه المحور (z).	$kN/m^2$
III	مسند الفرن الثالث	-	$\sigma_1$	الإجهاد الأساسي الأعظم	$kN/m^2$
IV	مسند الفرن الرابع	-	$\sigma_2$	الإجهاد الأساسي الأدنى	$kN/m^2$
V	مسند الفرن الخامس	-	$\sigma_y$	الإجهاد باتجاه المحور (y)	$kN/m^2$
Fx	القوى باتجاه المحور (x)	kN	$\tau$	إجهاد القص	$kN/m^2$
Fy	القوى باتجاه المحور (y)	kN	R2	رد الفعل للجهة اليسرى	( kN )
R1	رد الفعل للجهة اليمنى	( kN )			

## 1. المقدمة

يعتبر الفرن الدوار الأداة المركزية في عملية إنتاج الأسمنت وذلك لان توفر المواد الأولية لصناعة الأسمنت تعد أمراً ضرورياً لاستمرار عملية الإنتاج. إذ إن توقفات الفرن الدوار هي ليست خسارة بسبب النفقات من اجل استبدال قطع المواد الاحتياطية أو نفقات التصليح فقط بل الخسارة تكون أيضاً في الإنتاج الذي كان بالإمكان أن ينتجه هذا الفرن خلال فترة التوقف الذي حصل والتي من المستحيل استرجاعها [1].

أجريت عدد من البحوث على الأفران الدوارة، حيث قام الباحثان (Maged S.A , Sultan J.N) في مكتب الخدمات العلمية والاستشارية في المعهد التقني في الموصل [2] بإعداد دراسة عملية للحصول على استقامة صحيحة للفرن الدوار في معمل سمند حمام العليل الجديد وذلك من خلال حساب ميل الفرن الدوار عند كل محطة إسناد ودراسة وضع العجلات الحاملة ومقارنتها بالوضع المثالي للعجلات الحاملة الذي يحقق استقامة صحيحة للفرن الدوار والمجهز من قبل الشركة الصانعة للفرن الدوار. وتبين من خلال الدراسة أن ميل الفرن الدوار متطابق في المحطات الثانية والثالثة والخامسة وأن هناك هبوطاً مقداره (7 mm) في محطة الإسناد الرابعة وهبوطاً مقداره (14 mm) في محطة الإسناد الأولى. واستنتج الباحثان أن سبب الهبوط في محطتي الإسناد الأولى والرابعة يعود إلى الضبط غير الدقيق للعجلات الحاملة. قام الباحثون (Warner I.) [3], (Seaman W. C) [4], (Bayard R. A) [5]. بدراسة انسياب المواد الأولية داخل جسم الفرن الدوار أثناء دوران ثابت للفرن وحساب كمية المواد الأولية داخل جسم الفرن الدوار من خلال معرفة الوقت الذي تستغرقه المواد الأولية لإكمال العمليات الكيميائية اللازمة (Retention Time) ومقدار التغذية التصميمية للفرن الدوار (Feed Of Raw Material)، وتبين من خلال الدراسة أن سرعة انسياب المواد الأولية تتغير وفقاً للعمليات الكيميائية الحاصلة عليها، إذ وجد الباحثون أن سرعة انسياب المواد الأولية تكون أقل ما يمكن في منطقة الحرق من جسم الفرن وان أقصى سرعة لانسياب المواد الأولية تكون في منطقة الكلسنة. وتمكن الباحثون من وضع معادلة لحساب معدل الوقت الذي تستغرقه المواد الأولية داخل جسم الفرن الدوار، وقد أطلق على هذه المعادلة تسمية (Bureau Of Mines). قامت إحدى الشركات [6]. بإجراء دراسة عملية لتأثير التغير في درجة الحرارة في أثناء الطور التشغيلي للفرن الدوار على التمدد في أقطار الحلقات الساندة والقطر الخارجي لجسم الفرن الدوار عند مناطق الإسناد، وقد استنتجت الشركة من خلال إجراء التجارب العملية أنه يجب عند إجراء عملية ضبط العجلات الحاملة لتحقيق موازنة ميكانيكية دقيقة للفرن الدوار القيام بإجراء تصحيح لقطر الحلقة الساندة وقطر جسم الفرن عند منطقة الإسناد المتأثر بالتغير في درجات الحرارة أثناء الوضع التشغيلي على جسم الفرن والحلقات الساندة. أجرى الباحثون (J.J.Coiz , F.Rodriguez and P.J Garcia) [7]. دراسة لتحليل الإجهادات المتولدة على جسم الفرن الدوار في معمل سمند (Rais Hamidou) في الجزائر، وذلك باستخدام تقنية العنصر المحدد (Finite Element) وقد اعتمد الباحثون التحليل اللاخطي للإجهادات المتولدة على جسم الفرن الدوار والناتج عن التلامس بين جسم الفرن والحلقات الساندة، إذ تم بناء نموذج للفرن الدوار وتقسيم النموذج إلى سبعة أقسام وتم تقسيم كل قسم إلى مناطق وفقاً لسمك جسم الفرن وطبيعة توزيع

الأحمال في كل منطقة. وثبتت الأحمال والقوى المؤثرة في النموذج. ومن ثم عمل تحليل لهذه القوى والأحمال على توزيع الإجهادات على جسم الفرن الدوار. وتبين من خلال الدراسة وجود مناطق في جسم الفرن قد تجاوزت قيم الإجهادات المسموح بها. إذ تبين أن القسم الرابع والخامس من المنطقة الوسطى في جسم الفرن تعاني من زيادة في قيمة الإجهادات عن القيم المسموح بها، وذلك بسبب البيضاوية الموجودة في هذه المناطق، فضلاً عن أن جزء من القسم الأول ذو زيادة في السمك ويمكن أن يقلل إلى أقل من (24 mm)، فضلاً عن أن جزءاً من القسم الثاني والثالث من منطقة المسند الثاني يعاني من زيادة في قيمة الإجهادات المسلسلة، وقد اقترح الباحثون زيادة سمك القسم الرابع والخامس من المنطقة الوسطى لجسم الفرن من (24 mm) إلى (26 mm). وكذلك زيادة سمك القسم الثاني والثالث من منطقة المسند الثاني من (30 mm) إلى (40 mm) لتتجاوز مشكلة تركيز الإجهادات في هذه المناطق عن الحدود المسموح بها.

يهدف البحث إلى التعرف بإسهاب على دور عدم المحاذاة في جسم الفرن مع سطوح العجلات الحاملة على نقاط تلامس سطح المحامل (Bearings)، وما يسبب من ارتفاع في الإجهادات لهذه المحامل عن الحدود المسموح بها إذ تصل في بعض الأحيان إلى حد الفشل (Failure) مما يسبب انهيار لطبقات العوازل (الطابوق الناري)، بسبب تلف هذه المحامل وتأثيرها على جسم الفرن بسبب تمركز الأحمال على الجهة التي يكون الانحراف باتجاهها، مما يؤدي إلى إيقاف الفرن الدوار. وتتركز هذه الدراسة على معمل سمنت حمام العليل الجديد نظراً لكون الفرن ذو طول قدره (164 m) إذ يعد من الأفران الطويلة وان تمركز الإجهادات في نقاط معينة من جسم الفرن يؤدي إلى سقوط طبقات العوازل و تدرس هذه المشاكل من خلال استخدام برنامج الانسز (ANSYS Program).

## 2. التحليل الرياضي

تم حساب الأحمال المؤثرة على جسم الفرن الدوار في المعمل وذلك من خلال معرفة طبيعة تلك الأحمال وأسلوب توزيعها وتأثيرها في قيم ردود الأفعال لمساند الفرن، إذ تم أخذ الأحمال التشغيلية الموجودة فعلياً في الفرن ولم تؤخذ الأحمال أو المواصفات التصميمية من قبل الشركة المجهزة للفرن بسبب حدوث تغيرات نتيجة التشغيل المستمر للفرن والتوقفات المفاجئة له.

أما في ما يخص الأحمال المؤثرة على جسم الفرن فهي :

- 1- وزن جسم الفرن الدوار (Weight of Kiln Shell).
- 2- وزن الحلقات الساندة (Weight of Live Rings).
- 3- وزن البطانة النارية (Weight of Refractory).
- 4- وزن الترس الكبير (Weight of Girth Gear).
- 5- وزن الطبقة الفوقية داخل جسم الفرن (Weight of Coating).
- 6- وزن المواد الأولية داخل الفرن (Weight of Raw Materials).
- 7- وزن بلاط المخرج (Weight of Kiln Nose Ring).
- 8- وزن سلاسل التبادل الحراري داخل جسم الفرن (Weight of Chains).
- 9- وزن الحشوات والمساند للحلقات الساندة (Weight of Retaining and Pads Blocks).
- 10- وزن جيوب التبادل الحراري داخل جسم الفرن (Weight of Buckets).

وفيما يتعلق بقيم الحمل الكلي وحسب موقعه فهذا مبين في الجدول (1) التالي

:

الجدول (1): حساب الحمل الكلي لكل منطقة من مناطق الفرن.

الموقع	Outlet – I	I – II	II – III	III – IV	IV – V	V – Inlet
الحمل الكلي	86513 kg	594419 kg	560695 kg	570571 kg	423019 kg	22899 kg



### 3. الأسلوب المتبع لإيجاد قيم ردود الأفعال

بعد الاطلاع على الخرائط التصميمية للفرن المجهزة من قبل الشركة المصنعة، تم بناء نموذج حاسوبي للفرن باستخدام برنامج (Staad Pro 2004)، إذ تم بناء النموذج والموضح في الشكل (1) وفقاً للمعطيات التصميمية الحقيقية للفرن من حيث الشكل والأبعاد. وبعد الانتهاء من بناء النموذج للفرن جرت عملية توزيع الأحمال على النموذج إذ تم الحصول على قيم ردود الأفعال عند كل مسند من مساند الفرن الدوار.

أُثبِتَت الفرضيات في عملية بناء النموذج وإيجاد قيم ردود الأفعال على مساند الفرن وان هذه الفرضيات هي [8,9].

الشكل (1): نموذج الفرن الدوار باستخدام برنامج .Staad Pro 2004

أ- تم تمثيل الفرن الدوار بعتبة مرنة طويلة ( Long Elastic Beam)، حلقتية المقطع (Annular Section) وغير محددة

سكونياً (Statically Indeterminate)، وذلك لكون الفرن الدوار يستند على خمسة حوامل (مساند).

ب- مساند الفرن الدوار حرة الحركة باتجاه المحور (X)، ومقيدة الحركة باتجاه المحور (Y)، والمحور (Z)، ولها عزم دوران باتجاه المحور (Z).

ج- إهمال تأثير دوران الفرن أي اعتبار الفرن في طور التوقف إذ إن السرعة الدورانية للفرن قليلة، حيث أنه لا تتجاوز  $1.2 \text{ r.p.m}$ .

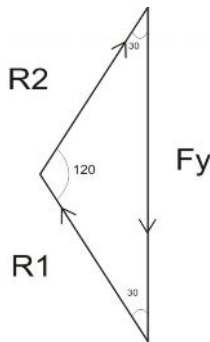
والجدول رقم (2) المشار إليه أدناه يبين قيم ردود الأفعال التي تم الحصول عليها باستخدام برنامج (Staad Pro 2004).

الجدول (2): يوضح قيم ردود الأفعال على مساند الفرن.

Kiln Supporting Number	$F_x$ (kN)	$F_y$ (kN)
I	60.42	3081.2
II	-14.1	6006.7
III	-6.1	6219.8
IV	3.1	5287.8
V	0.7	4237.8

وباستخدام مثلث القوى الشكل (2)، تم إيجاد قيم ردود الأفعال عند كل عجلة حاملة من عجلات الفرن الدوار،

وسنأخذ المسند الأول بوصفه مثلاً توضيحياً لطريقة حساب قيم ردود الأفعال.



حيث أن:

$F_y =$  مقدار القوة المسلطة من قبل مركز الإسناد على سطحي العجلتين الحاملتين.

$R_1 =$  مقدار رد الفعل المسلط من قبل سطح العجلة الحاملة اليمنى على مركز الإسناد.

$R_2 =$  مقدار رد الفعل المسلط من قبل سطح العجلة الحاملة اليسرى على مركز الإسناد.

أما بقية العجلات الحاملة فقد تم احتساب قيم ردود الأفعال بالطريقة نفسها ووضعها في الجدول رقم (3).

الشكل (2): مثلث القوى الذي يوضح

طريقة حساب ردود الأفعال عند كل

عجلة حاملة من عجلات الفرن الدوار.

الجدول (3): يوضح قيم ردود الأفعال على العجلات الحاملة للفرن.

Kiln Supporting Number	R1 ( kN )	R2 ( kN )
I	1779	1779
II	3468	3468
III	3591	3591
IV	3053	3053
V	2447	2447

#### 4. الإجهادات المركزية في حالات التلامس

هناك صعوبة جزئية في تحليل السلوك اللاخطي للتلامس بين أي جسمين أو أكثر. تتراوح مسائل التلامس ما بين الذي يحدث بدون احتكاك في الإزاحات الصغيرة إلى التلامس مع الاحتكاك في الجهد العالي وفي حدود المرونة. وبالرغم من أن الصيغة العامة لحالات التلامس نفسها في جميع الحالات إلا أن الحل للمسائل اللاخطية يكون في بعض التحليلات أكثر صعوبة من حالات أخرى، ومن الجدير بالذكر أن اللاخطية في تحليل المسألة هي التي تحدد حالات التلامس [10].

إن الإجهاد العمودي  $\sigma$  وإجهاد القص  $\tau$  على المستويات المائلة والناجمة عن تحميل مباشر هي: [11]

$$\tau = -\frac{1}{2}\sigma_y \sin 2\phi \quad (1)$$

$$\sigma = \sigma_y \sin^2 \phi \quad (2)$$

وإن الإجهادات المسلطة على المستويات المائلة والناجمة من نظم إجهادات معقدة هي :

$$\text{Normal stress} = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) + \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y)\cos 2\phi + \tau_{xy} \sin 2\phi \quad (3)$$

$$\text{Shear stress} = \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y)\sin 2\phi - \tau_{xy} \cos 2\phi \quad (4)$$

حيث أن:

Normal stress ( $\sigma_\phi$ ): هو الإجهاد العمودي على السطح المائل.

Shear stress ( $\tau_\phi$ ): هو إجهاد القص للسطح المائل.

وإن الإجهادات الرئيسية (أي الإجهادات العظمى المباشرة و الإجهادات الدنيا المباشرة) والتي تقع في مستوي تكون فيه  $\tau_\phi = 0$  هي:

$$\sigma_1 = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) + \frac{1}{2}\sqrt{[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2]} \quad (5)$$

$$\sigma_2 = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) - \frac{1}{2}\sqrt{[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2]} \quad (6)$$

وإن هذه الإجهادات تحدث فوق مستويات وبزاوية  $\phi$  نسبة إلى المستوي الذي يؤثر  $\sigma_x$  فيها، إذ إن:

$$\tan 2\phi = \frac{2\tau_{xy}}{(\sigma_x - \sigma_y)} \quad (7)$$

$$\tan \phi = \frac{\sigma_p - \sigma_x}{\tau_{xy}} \quad (8)$$

إذ إن  $\sigma_p = \sigma_1$  أو  $\sigma_2$ ، ويطلق على المستويات بالمستويات الرئيسية (Principal Planes).

في الغالب المستويات الرئيسية تميل بزاوية  $90^\circ$  على كل منهما, بينما تميل مستويات القص بزاوية  $45^\circ$  عنهما.  
يمثل إجهاد القص الأعظم بالشكل التالي

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2} \sqrt{[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2]} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2) \quad (9)$$

و في المسائل التي يكون فيها الإجهاد الرئيس في محور ثالث فإن  $\sigma_3$  تكون دائما ذات قيمة معلومة أو تفرض مساوية للصفر, وإن إجهاد القص الأعظم الحقيقي يساوي:

$$\text{إجهاد القص الأعظم الحقيقي} = \frac{1}{2} (\text{الإجهاد الرئيس الأعظم} - \text{الإجهاد الرئيس الأصغر})$$

$$\text{وإن الإجهاد العمودي على المستويات ذات القص الأعظم} = \frac{1}{2} (\sigma_x + \sigma_y)$$

وإن إجهاد القص على المستوي ذات الإجهاد الأعظم المباشر [11, 12] (المستوي الرئيس) = 0.

و فيما يخص التصنيف العام للتلامس فهي تقع ضمن التصنيفين العامين التاليين [10]:

1- Rigid – to – Flexible.

جاسيء – إلى – مرن

2- Flexible – to – Flexible.

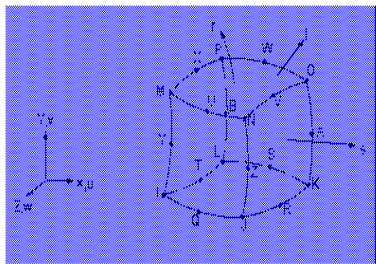
مرن – إلى – مرن

في حالة الجاسيء (Rigid) هو الذي يكون أكثر صلادة بالنسبة للجسم القابل للتشويه (سطح الجسم الثاني و الملامس لسطح الجسم الأول).

بصورة عامة عندما يكون التلامس بين جسمين أحدهما أقل صلادة أو أكثر ليونة من الآخر , فالمسألة تفرض على أنها جاسيء - إلى - مرن (Rigid – to - Flexible) والتي معظم مسائل تشكيل المعادن تقع ضمن هذه الفرضية. أما النوع الآخر هو مرن - إلى - مرن (Flexible - to - Flexible) يكون أكثر شيوعا , ففي هذه الحالة فكلا (أو جميع) الأسطح المتلامسة تكون قابلة للتغيير في أشكالها (أي لها نفس الصلادة) والمثال على هذا النوع من التلامس هو الشفة الملولبة (Bolted Flange).

## 5. برنامج الانسز (ANSYS)

### 14.95. SOLID95 - 3-D 20-Node Structural Solid



الشكل (3): عنصر ثلاثي الأبعاد

سداسي الأوجه ذو عشرين عقدة

هو عبارة عن برنامج جاهز له القدرة على تحليل المسائل الهندسية والعلمية بطريقة العنصر المحدد بدقة وفعالية. هذا البرنامج ذو الموثوقية العالية, له القدرة على تناول مسائل علمية وهندسية بمجالات مختلفة, مثل مجالات تحليل الإجهادات, والموائع, وانتقال الحرارة, وغيرها. بما يخص مسائل تحليل الإجهادات على جسم معين (سطوح المحامل مثلا) فإن لهذا البرنامج القدرة على التعامل مع مسائل الإجهاد المستوي, والانفعال المستوي بأبعاد ثنائية, فضلا عن إمكانية تحليل المسائل بثلاثة أبعاد. كما أن له القدرة على توليد

التقسيمات ذاتيا بعد تحديد نوع العنصر ودرجة التقسيم.

يتيح هذا البرنامج بعد تنفيذ الحل استعراض قيم الإجهادات, ومركبات الإزاحات, ورسومات توضيحية لتوزيع الإجهادات, والإنحناءات والتشوهات الناتجة على النموذج.

و فيما يتعلق بإمكانيات برنامج الانسز في التلامس, فإن البرنامج يجهز ثلاثة أنواع من نماذج التلامس وهي:

1 - Node – to – Node

عقدة – إلى – عقدة

2 - Node – to – Surface

عقدة – إلى – سطح

3 - Surface – to – Surface

سطح – إلى – سطح

والذي يهنا هو تلامس (Surface - to - Surface) والذي تم اختياره وتطبيقه على النموذج المستخدم في هذا البحث. الخطوات الآتية هي أهم الخطوات التي اتبعت عند تطبيق مراحل البرنامج [10,13]:

**(I) Preprocessor**: في هذه الخطوة يتم اختيار نوع الشريحة المستخدمة (Structural Solid 185 & 95), وكذلك خواص معادن المواد المستخدمة تم تثبيتها في الموقع الخاص باختيار المواد.

وأدناه أهم الأعمال التي تمت أثناء هذه الخطوة:

- 1 - رُسم النموذج باستخدام إمكانية البرنامج المتاحة للرسم كما مبين في الشكل (4).
- 2- أضيفت الخواص الميكانيكية الخاصة لكل معدن من المعادن المستخدمة في بناء النموذج, مثل معامل المرونة
- 3 - تم اختيار نوع الشريحة الخاصة بهذا النموذج وهي (Structural Solid 185&95).
- 4 - تم اختيار الشريحة الخاصة بالتلامس وهي (Target 170 and Contact 174), والتي تكون ذات تلامس سطح إلى سطح.

- 5 - قُسم النموذج إلى الشرائح المختارة في أعلاه وكما مبين في الشكل (5).
- 6 - أختير زوج التلامس (Contact Pair), والخواص الخاصة به.

**(II) Solution**: وهي الخطوة الثانية وأدناه أهم الأعمال التي تمت في هذه الخطوة:

- 1 - إجراء عمليات التقييد (Constraint Apply), الشكل (6).
- 2 - إجراء عمليات تسليط الحمل (Load Apply).
- 3- إجراء عمليات تنظيم عدد أُل (Sub Steps), وكذلك أُل (Load Step).

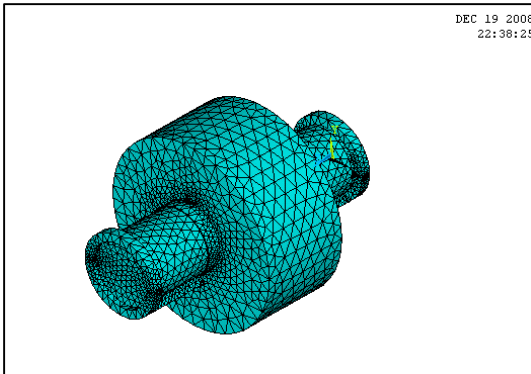
**(III) Postprocessor**: وهي الخطوة الأخيرة حيث يمكن أن تظهر النتائج المطلوبة على الشاشة ولأي وقت مطلوب أو عند أي مرحلة.

وبعد إنهاء وقت التنفيذ فإن جميع النتائج ولدى أي وقت يمكن أن يتم الحصول عليها. تحسب الإجهادات الميكانيكية وذلك بإعطاء قيمة القوة المسلطة عند المساحة المماثلة للنموذج المستخدم في البرنامج.

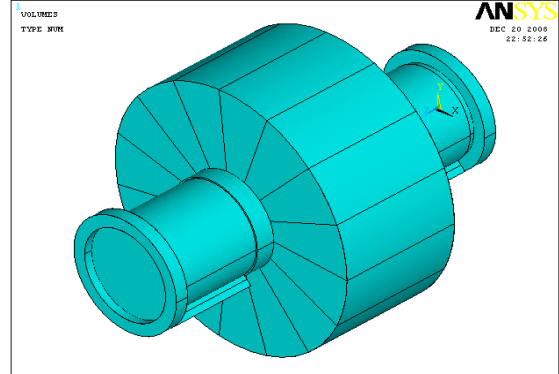
إن النتائج التي تم الحصول عليها باستخدام البرنامج يمكن أن تبين الإجهادات في أي محور من المحاور أو محورين وكذلك توضح الإجهادات الأساسية (Principal Stresses), بثلاثة أبعاد إضافة إلى مركبات الإزاحات والرسومات التوضيحية لتوزيع الإجهادات والانحناءات والتشوهات الناتجة على النموذج وحسب نظريات الانهيار المرن [13, 14].

وأخيرا فإن الفرضيات المتبعة في بناء نموذج العجلة الحاملة وعملية إيجاد قيم الإجهادات, فلقد اتبعت أدناه في عملية بناء النموذج وإيجاد قيم الإجهادات على مساند العجلة الحاملة وان هذه الفرضيات هي:

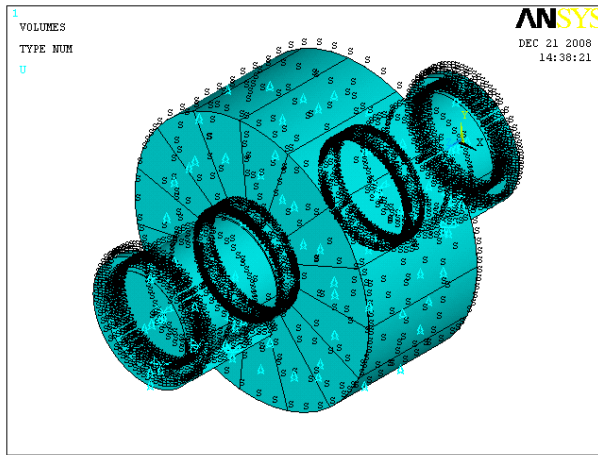
- أ- العجلة الحاملة مقيدة الحركة بكلا الاتجاهين (X, Z) ولها حرية حركة مقيدة بالاتجاه السالب للمحور (y).
- ب- المحور الدوار للعجلة الحاملة هو أُل (Target) ومحملها هما أُل (Contact Surfaces).
- ج- إهمال تأثير دوران الفرن أي اعتبار الفرن في طور التوقف إذ إن السرعة الدورانية للفرن قليلة ولا تتجاوز أُل ( 1.2 .r.p.m).



الشكل (4): النموذج المصمم للعجلة الحاملة باستخدام برنامج (ANSYS).



الشكل (5): النموذج المصمم للعجلة الحاملة بعد تقسيمه إلى الشرائح المختارة.



الشكل (6): النموذج بعد إجراء عمليات التقيد.

## 6. النتائج والمناقشة

استخدم برنامج الانسز ( ANSYS Program V9.0) لتطبيق العوامل الفعلية الموجودة في الفرن الدوار لمعمل سمنت حمام العليل الجديد وللنماذج الحقيقية الموجودة نفسها، وبعد إدخال جميع البيانات المطلوبة من قبل البرنامج، بعد أن تم تسليط الحمل على شكل قوة عمودية باتجاه المحور (Y-Axes) تؤثر في السطح العلوي للعجلة الحاملة (Carrying Roller) وتختلف مساحة هذا السطح حسب حالات عدم المحاذاة (المفروضة) الحاصلة في الفرن، يمكن تقديم النتائج على المحامل الموضحة في الشكل (7) والمستحصلة من هذا البحث و مناقشتها بتناول الرسومات والمنحنيات المعروضة على النحو الآتي:

أ. رسومات المناسيب لتوزيع الاجهادات على المحمل: الشكلان (8 a-b): يوضحان تأثير الإجهاد الأساسي على المحامل وبالذات على قيمة الإجهاد الأساسي الأعلى إذ تتولد هذه الإجهادات على المحمل. ومن الواضح أن الإجهاد الأساسي الأعلى يكون ذو طبيعة شد (Tension) يتوزع "بانتظام" على كلا سطحي التلامس عندما لا توجد عدم محاذة، لذا نلاحظ أن الإجهاد يكون متساوياً حيث تبلغ أكبر قيمة له ( $2.93 \text{ MN/m}^2$ )، وبالمقارنة مع قيمة الإجهاد عند أكبر حالة عدم محاذة نلاحظ أن القيمة النهائية أصبحت ( $13 \text{ MN/m}^2$ )، أي ما يقارب أربعة أضعاف القيمة البدائية وذلك بسبب تركيز الأحمال على جهة واحدة (الجهة اليسرى) دون الأخرى، وانحسار مساحة التلامس بين العمود الدوار للعجلة الحاملة ومحمليه إلى أقل حالاتها.

الشكلان (9 a-b): يوضحان تأثير تغير حالة عدم المحاذة في قيمة الإجهاد باتجاه المحور (Y) إذ تتولد هذه الإجهادات على المحمل. ومن الواضح أن الإجهاد باتجاه المحور (Y) يكون ذا طبيعة ضغط (Compression) حيث يتوزع "بانتظام" على كلا سطحي التلامس عندما لا توجد عدم محاذة، لذا نلاحظ أن الإجهاد يكون متساوي إذ تبلغ أقل قيمة له ( $-1.3 \text{ MN/m}^2$ )، وبالمقارنة مع قيمة الإجهاد عند أكبر حالة عدم محاذة نلاحظ أن القيمة النهائية أصبحت ( $-4.1 \text{ MN/m}^2$ )، أي ما يقارب أربعة أضعاف القيمة البدائية وذلك بسبب تركيز الأحمال على جهة واحدة (الجهة اليسرى) دون الأخرى، وانحسار مساحة التلامس بين العمود الدوار للعجلة الحاملة ومحمليه إلى أقل الحالات.

ب. منحنيات تغير الاجهادات مع حالات عدم المحاذة: يمكن من خلال هذه المنحنيات إعطاء صورة واضحة عن تغير أكبر قيمة متولدة للإجهاد مع حالات عدم المحاذة.

يوضح الشكل (10): تغير أكبر قيمة متولدة للإجهاد الأساسي الأعلى في المحمل الأيسر، الذي يكون إجهاد شد مع حالة عدم المحاذة وتتولد هذه القيمة على سطح المحمل الموضحة في الشكل (7). تتعرض جوانب المحمل على جهة الشد إلى إجهادات شد عالية، وتتركز الإجهادات في هذه المنطقة نتيجة انحراف الفرن على هذا الجانب تتزايد أكبر قيمة للإجهاد الأساسي الأعلى مع تزايد حالة عدم المحاذة.

يوضح الشكل (11): تغير قيم الإجهاد باتجاه المحور (Y-axes) على المحمل الأيسر مع التغير في حالات عدم المحاذة، وتتولد هذه الإجهادات على سطح المحمل و الموضحة في الشكل (7). ويمكن ملاحظة تزايد قيمة الإجهاد باتجاه المحور (Y-axes) بشكل ملحوظ مع تزايد حالة عدم المحاذة، مما يدل على تمركز الإجهاد على سطح المحمل بسبب الحمل الناتج من انحراف الفرن باتجاه هذا المحمل.

ج. رسومات المناسيب لتوزيع الإزاحات على المحمل: الحاصلة نتيجة تغير حالة عدم المحاذة برسومات المناسيب المرسومة لكلا المحملين الموضحين في الشكل (7)، إذ توضح هذه الرسومات توزيع الإزاحات على كلٍ من المحاور الثلاثة

توضح الأشكال (12 a-b) (13 a-b) (14 a-b): تأثير تغير حالة عدم المحاذة في قيمة الإزاحات باتجاه كلٍ من المحاور (X, Y, Z) إذ تتولد هذه الإزاحات على المحمل. من الواضح أن هذه الإزاحات تتوزع "بانتظام" على سطحي



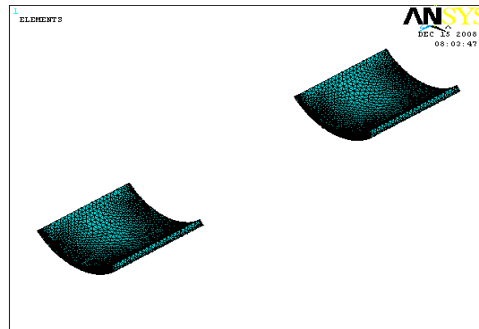
التلامس عندما لا توجد عدم محاذاة، لذا نلاحظ أنها متساوية على المحملين إذ تبلغ أقل قيمة لها وعلى التوالي (m 0.171 -4 E) و (-0.552 E -4 m) و (-0.154 E -5 m) وبالمقارنة مع قيمها عند أكبر حالة عدم محاذاة نلاحظ أن قيمها النهائية أصبحت (m 1.56 E -3 m) و (-1.99 E -2 m) و (2.5 E -2 m) والسبب يعود لتركز الأحمال في جهة واحدة (الجهة اليسرى) دون الأخرى، وانحسار مساحة التلامس بين العمود الدوار للعجلة الحاملة ومحمليه إلى أقل حالاتها.

د. منحنيات تزايد أكبر قيم للإزاحات: إن حدوث عدم المحاذاة يؤدي إلى تركيز الحمل على أحد المحملين (الأيسر) دون الآخر، ويؤدي ذلك إلى تشوه المحمل عند الجهة التي تتولد فيها قيم أكبر للإزاحات عند الجهة التي ينحصر فيها التلامس. وتُظهر المنحنيات الآتية بشكل واضح الزيادة في قيم هذه الإزاحات على المحمل الأيسر مع حالات عدم المحاذاة وكما موضح في الأشكال (15) و (16) و (17).

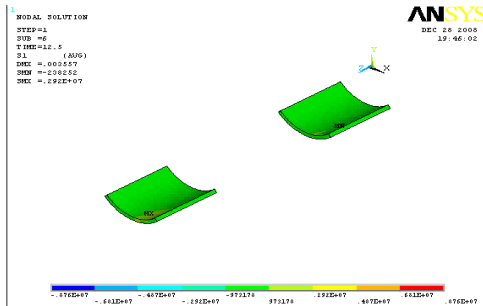
● يوضح الشكل (15): تغير قيم الإزاحات باتجاه المحور (X) على المحمل الأيسر مع التغير في حالات عدم المحاذاة، وتحصل هذه الإزاحات على سطح المحمل الموضحة في الشكل (1.5). ويمكن ملاحظة تزايد قيم هذه الإزاحات بشكل ملحوظ مع تزايد حالة عدم المحاذاة، إذ تتزايد أكبر قيمة له. بالاتجاه السالب مما يدل على تمركز الإجهاد على سطح المحمل بسبب الحمل الناتج من انحراف الفرن باتجاه هذا المحمل.

● يوضح الشكل (16): تغير قيم الإزاحات باتجاه المحور (Y) على المحمل الأيسر مع التغير في حالات عدم المحاذاة، وتحصل هذه الإزاحات على سطح المحمل الموضحة في الشكل (1.5). ويمكن ملاحظة تزايد قيم هذه الإزاحات بشكل ملحوظ مع تزايد حالة عدم المحاذاة، إذ تتزايد أكبر قيمة له بالاتجاه السالب مما يدل على تمركز الإجهاد على سطح المحمل بسبب الحمل الناتج من انحراف الفرن باتجاه هذا المحمل.

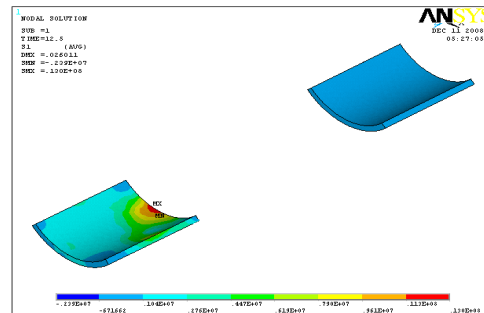
● يوضح الشكل (17): تغير قيم الإزاحات باتجاه المحور (Z) على المحمل الأيسر مع التغير في حالات عدم المحاذاة، وتحصل هذه الإزاحات على سطح المحمل الموضحة في الشكل (1.5). ويمكن ملاحظة تزايد قيم هذه الإزاحات بشكل ملحوظ مع تزايد حالة عدم المحاذاة، إذ تتزايد أكبر قيمة له بالاتجاه السالب مما يدل على تمركز الإجهاد على سطح المحمل بسبب الحمل الناتج من انحراف الفرن باتجاه هذا المحمل.



الشكل (7): محملا العجلة الحاملة.

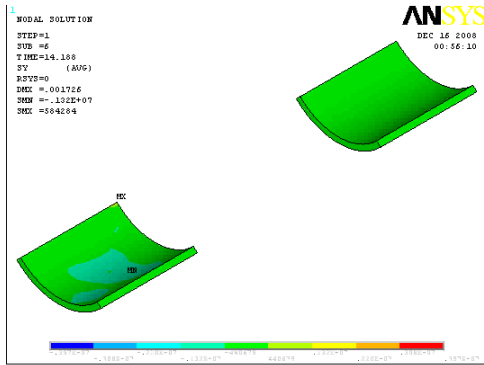


a: (Case 1) : 100%  
(لا توجد عدم محاذاة)

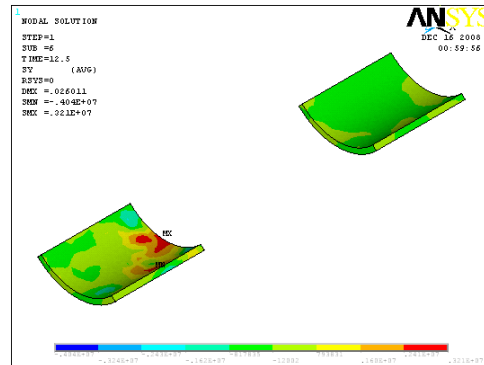


b: (Case 6): 50%  
(في حالة كون نسبة التلامس 50%)

الشكل (8): توزيع الإجهاد الأساسي الأعلى على المحامل.

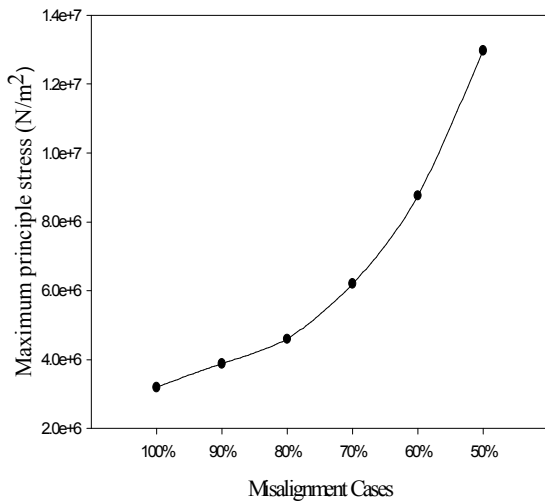


a: (Case 1): 100%  
(لا توجد محاذاة)

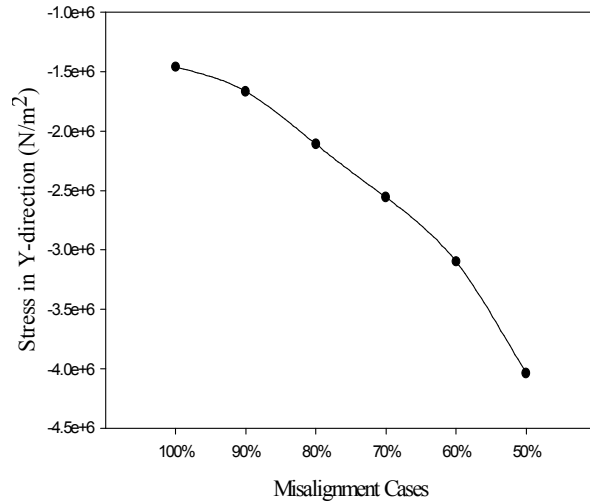


b: (Case 6): 50%  
(في حالة كون نسبة التلامس 50%)

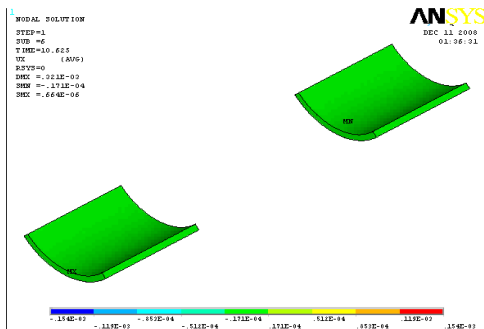
الشكل (9): توزيع الإجهاد باتجاه المحور (Y) على المحامل.



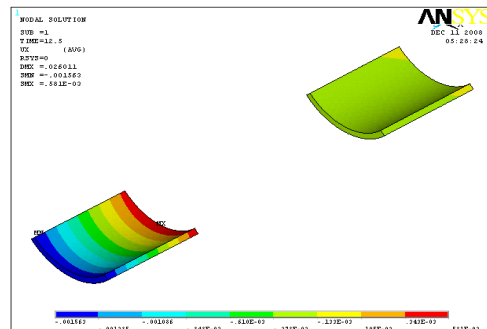
الشكل (10): تغيير قيم الإجهاد الأساسي الأعلى للمحمل الأيسر مع حالات عدم المحاذاة.



الشكل (11): تغيير قيم الإجهاد على المحور (Y) للمحمل الأيسر مع حالات عدم المحاذاة.

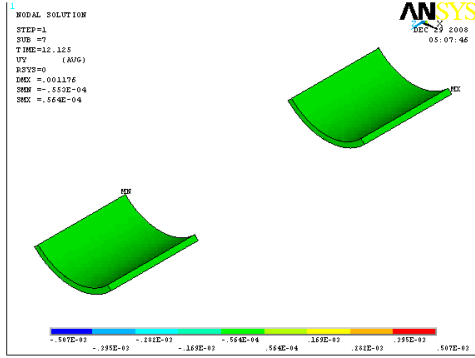


a: Case (1): 100%  
(لا توجد محاذاة)

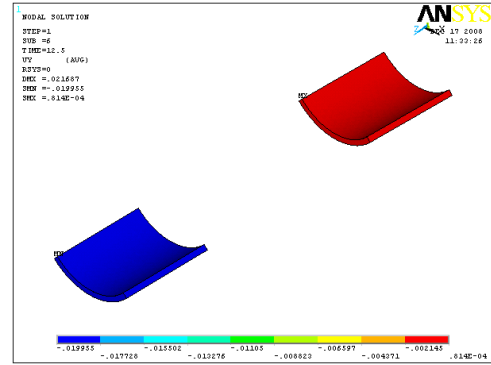


b: (Case 6): 50%  
(في حالة كون نسبة التلامس 50%)

الشكل (12): توزيع الإزاحات على المحامل باتجاه المحور (X).

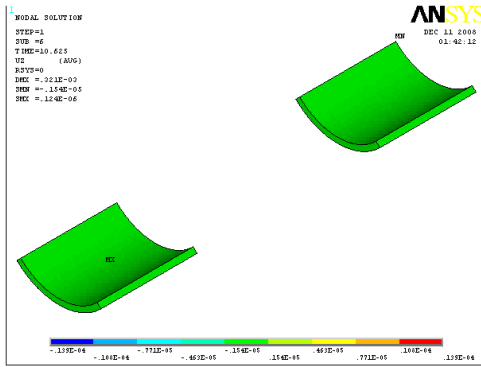


a: Case (1): 100%  
(لا توجد محاذاة)

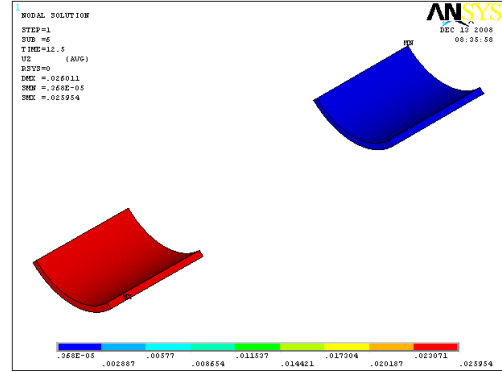


b: (Case 6): 50%  
(في حالة كون نسبة التلامس، 50%)

الشكل (13): توزيع الإزاحات على المحامل باتجاه المحور (Y).

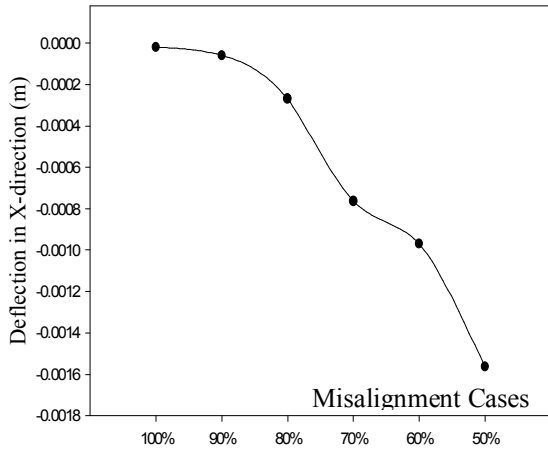


a: Case (1): 100%  
(لا توجد محاذاة)

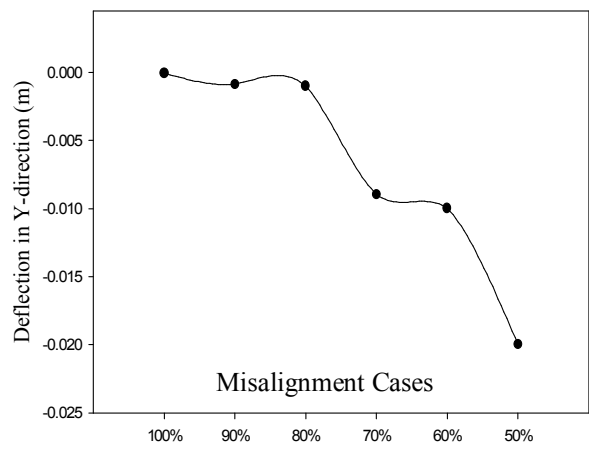


b: (Case 6): 50%  
(في حالة كون نسبة التلامس، 50%)

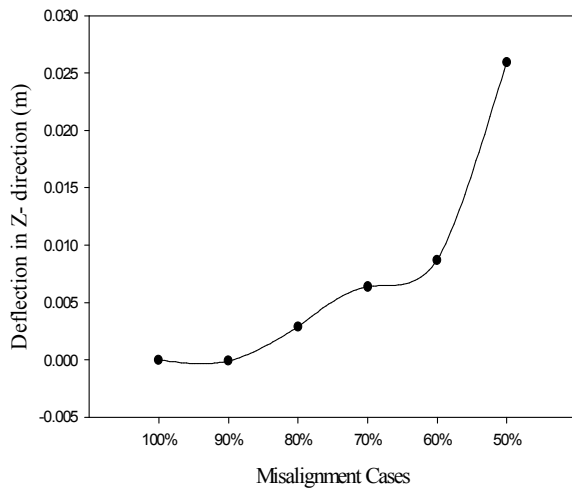
الشكل (14): توزيع الإزاحات على المحامل باتجاه المحور (Z).



الشكل (15): تغيير قيم الإزاحات للمحمل الأيسر باتجاه المحور (X) مع حالات عدم المحاذاة.



الشكل (16): تغيير قيم الإزاحات للمحمل الأيسر باتجاه المحور (Y) مع حالات عدم المحاذاة.



الشكل (17): تغيير قيم الإزاحات للمحمل الأيسر

باتجاه المحور (Z) مع حالات عدم المحاذاة.

4- إن زيادة الإجهادات في جهة معينة (محمل من محامل الفرن)، يعني تمركزها في هذه الجهة وانخفاضها أو انعدامها في الجهة الأخرى (عادة الجهة المقابلة) وهذا ما يفسر السقوط المستمر للبطانة النارية الموجودة داخل الفرن وفي مناطق معينة (عادة تكون تحت الحلقات الساندة)، بسبب تمركز الإجهادات فيها مما يؤدي إلى تشوه لدن لهذه المنطقة.

#### المصادر

1. Cement Manufacturing Courses (ASEC), "kilns and Preheater systems course", Egypt, (2005).
2. سلطان جمال نايف, مجيد سعد عز الدين. "حساب وزن واستقامة الفرن الدوار في معمل سمنت حمام العليل الجديد واقع حال الفرن", مكتب الخدمات الفنية والهندسية في المعهد التقني في الموصل, (2003).
3. Warner I., "Rotary Kiln Loading, Rock Products", (1953).
4. Seaman W. C., "Chemical Engineering Process", (1951).
5. Bayard R. A., "Chemical and Metallurgical Engineering", (1953).
6. FLSmidth Company, "Crank and Ovality Inspection of Kilns", FLSmidth Company Parts and Service Division, (2001).
7. Coz Diaz. J.J, Rodriguez F., Garcia P.J., "Design a Finite Element Analysis of a Wet Cycle Cement Rotary Kiln" University of Oviedo, Spain (2001).
8. Saeed M. M, "Stress Analysis and Adjustment of a Rotary Kiln in The New Hammam Al-Allah Cement Company", M.Sc Thesis. University of Mosul, Iraq (2006).
9. Staad Pro 2004 Online Manual and Help.
10. Help of The ANSYS Program V9.0.
11. Heran E. J., "Mechanics of Materials", Pergamon International Library, (1997).
12. Tahir H. T., "Mechanical Design of Moldboard Plow Bottom Throe Stresses Analysis and Performance Measurement", Ph.D. Thesis. University of Mosul, Iraq (2004).
13. Najim M. K., "Reduction of Thermal Stresses in Spur Gear Using Axial and Radial Holes", Ph.D. Thesis Submitted. University of Mosul, Iraq (2008).