

## التحليل النظري لتأثير خشونة السطح على الأداء الهيدروديناميكي للمحامل نوع 5220

علي خالد محمد علي

مدرس مساعد

جامعة تكريت ، كلية الهندسة ، قسم الهندسة الميكانيكية

E-mail : eng\_ali\_khalid@tu.edu.iq,eng\_ali\_1977@yahoo.com

(الاستلام:-2016/12/13 ، القبول:- 2017/02/22)

### الخلاصة

تم في هذا البحث دراسة التأثير الطوبوغرافي لخشونة سطحي المحامل والمتدرجات الأسطوانية في المسند ذو الرقم التسلسلي 5220 على أداء التزييت الهيدروديناميكي في منطقة الاقتراب من الناحية الترابولوجية، وذلك من خلال إيجاد تأثير خشونة السطحين على قيمة سمك شريحة الزيت المحيطه بالمسند وبالتالي تأثيره على الضغط المتولد من العمود الدوار . حيث تم استخدام معادلة رينولد وحلها عددياً باستخدام طريقة الفروقات المحددة على شبكة مكونة من خمسة عقد في كل نقطة من نقاط المسند من خلال مساحة الشريحة الثنائية البعد بالاتجاه المحيطي والمحوري ، وبأستخدام برنامج Matlab. R2013b أظهرت النتائج عند مواصفات محددة للمسند ومعدل خشونة سطحية عالية التشغيل للمسند والمتدرجات تصل الى (18.2  $\mu\text{m}$ ) فإننا نلاحظ إنخفاض سمك شريحة الزيت بمقدار 49% مما يؤدي الى إرتفاع أقصى قيمة للضغط الكلي المحصور بينهما من (65.74 M. Pas.) ( عند إهمال الخشونة السطحية ) الى 748.6 M. ( Pas.) مما يحسن قدرة المسند على رفع أحمال العمود الدوار لتصل الى (18.78 K.N.) عند الأخذ بخشونة سطحي المسند والمتدرج.

### الكلمات المفتاحية

خشونة السطح ، المحامل المتدرجة الأسطوانية ، السطوح المقترية ، المساند، سمك شريحة الزيت ، معادلة رينولد ، الخشونة المرئية والدقيقة، التزييت الهيدروديناميكي، كراسي التحميل، التزييت الهيدروديناميكي، كراسي التحميل.

### 1- المقدمة

تعرف كراسي التحميل على إنها عبارة عن آلة ميكانيكية تتألف من جزئين أو أكثر مرتبة مع بعضها بحيث تسمح للتحميل والحركة النسبية بينهما. وأحد أنواعها هو المحامل المتدرجة والتي تتكون من الحلقة الداخلية (inner ring) والحلقة الخارجية (outer ring) والمتدرجات الأسطوانية (Cylindrical rollers) والحلقة أو القفص (cage) [1]. وتكون حركة المتدرجات مزيج من حركة انزلاقية (sliding) و أخرى تدرجية (rolling) بحيث تصنع خطوط تماس (في حالة إهمال التشوه المرن) عند حركتها على السطح المتحركة عليه ، لذلك فإن هذا النوع من المحامل يمكن أن يتحمل الأحمال القطرية والسرعة العالية [2].

تؤثر خشونة الاسطح في اداء السطوح المقترية بطرق مختلفة حيث تعد طوبوغرافية سطوح المساند من العوامل المؤثرة في ادائها حتى عند وجود سائل تزييت بينها. وحتى في الاسطح الناعمة عند مستوى الخشونة المرئية macroscopic level فإن النتوءات او البروزات الغير مرئية الموجودة على تلك الاسطح في مستويات الخشونة الدقيقة microscopic level تؤثر في الاداء الكلي للمسند عن طريق تأثير الضغط المتولد بسمك شريحة الزيت والاحتكاك بين السطحين.

وبالتالي فإن هذا الاحتكاك سوف يؤدي الى توليد حرارة تؤثر على درجة حرارة الزيت المستخدم وتقلل من أدائه الهيدروديناميكي مما يسبب حدوث خسائر في الطاقة المصروفة والمستهلكة في المسند وحدث تلف ولبيان مع مرور الوقت في المعدن ما يعني خسائر مادية واقتصادية مؤثرة وغير منظورة. ومع تطور امكانيات الحاسبة الالكترونية على نمذجة نظريات التلامس والتزييت في السطوح المقترية اصبح من الضروري الملححة دراسة تأثير خشونة الاسطح سواء كانت الخشونة المرئية او الدقيقة / micro roughness/ macro roughness على اداء تلك الاسطح عند مختلف الظروف التشغيلية وعدم اهمالها من تلك الدراسات حتى مع التطور التقني في مجال الحاسبات الالكترونية، يبقى من الصعوبة التعامل مع تغير خشونة السطوح في الحاسبات والنتائج، وذلك لان شكل المقطع الذي يتم دراسته تأثير خشونته والنتوات والبروزات الموجودة عليه هي لطول محدد وصغير جدا مقارنة مع طول السطوح الكلية لكن ذلك لا يمنع من دراسة تأثير الخشونة وعدم اهمالها كليا [3].

باستخدام طرق نمذجة تريبولوجية مختلفة تم دراسة تأثير خشونة الاسطح سواء على مستوى خشونة مستعرض احادي البعد كما قام به الباحثان (Tzeng & Saibal) [3] ، او على مستوى خشونة مستعرض وطولي ثنائي البعد كما قام به الباحث (Christensen) [4] ، وهي دراسات مبكرة لتأثير الخشونة على الاداء الهيدروديناميكي لتزييت المساند ، بعض الطرق والتي منها طريقة البحث الحالية مبنية على ايجاد عوامل تعوض عن خشونة الاسطح في نمذجة هذا النوع من المساند باستخدام معادلة رينولد.

### التزييت الهيدروديناميكي:

رغم كون أن معظم أسس وقوانين الموانع قد تم وضعها من قبل العالم نيوتن، إلا أن التفسير العلمي لتأثير طبقة الزيت في أداء المساند قد تم في أواخر القرن التاسع عشر، وبشكل عام فإن تفسير مبادئ التزييت الهيدروديناميكية قد تم التوصل إليها مع تجارب أبحاث العالم (Tower) [5] إضافة إلى الأسس النظرية التي وضعت من قبل العالم (Reynolds) [6]. تعتمد نظرية التزييت الهيدروديناميكي على مبدأ يتلخص بوجود مائع التزييت بين السطوح المقترية والذي ينتقل باتجاه السطح المتحرك خلال منطقة ضيقة مما يؤدي إلى رفع ضغط الزيت في تلك المنطقة فيؤدي الى فصل الأسطح عن بعضها البعض حتى بوجود الحمل المسلط على تلك الأسطح ، ومن أهم التطبيقات لنظرية التزييت الهيدروديناميكية هي كراسي التحميل [7].

يتم تصميم المحامل المتدرجة لأسناد حمل العمود الدوار في مرحلة بداية التحميل خصوصاً عن طريق منطقة الأنتصال والتلامس الفعلي بين معدن الى معدن مع المتدرجات من خلال مساحة صغيرة نسبياً تمثل منطقة التلامس والتي تتطلب تزييت قليل نسبياً [8].

يستفاد من عملية التزييت الهيدروديناميكي في المحامل المتدرجة في فصل السطوح المتحركة بعضها عن بعضها وتقليل الاحتكاك واللبيان بينها ، ويتم ذلك عادة باستخدام الشحم (grease) بنسبة (90%) لما له من ميزات مهمة ، منها أنه يعطي احتكاكاً واطناً نسبياً ويتحمل درجات حرارة عالية، ويرتفع ضغطه عند السرعة الواطنة و لا يحتاج إلى سداة (sealing) كبيرة ومدة صلاحيته عالية [9] . بينما يستخدم الزيت (oil) إذا تطلب تقليل درجة الحرارة المتولدة بين طبقات الزيت الناتجة عن (السرع العالية والأحمال العالية) ، أو إذا كان المسند معرضاً إلى حرارة خارجية [10] .

## 2- التحليل النظري:

لغرض وصف طبيعة التزييت الهيدروديناميكي هندسيا في المساند، فإننا نحتاج الى تفسير وتحويل وصف منطقة الاقتراب والتزييت الهيدروديناميكي من الوصف الفيزيائي الى التحليل والتفسير الرياضي للنموذج. هذه الطبيعة المعقدة تحتاج التي تبسيط بعض التفسيرات من اجل التوصل الى حلول متكاملة وذلك من خلال اهمال بعض المتغيرات الفيزيائية من اجل حل المشكلة بطريقة مقنعة. عملية تبسيط المشكلة تعطي المجال لعزل المؤثرات الفيزيائية ودراسة تأثير كل عامل منها بمعزل عن باقي المؤثرات والعوامل المؤثرة في النظام.

في موضوع التزييت الهيدروديناميكي فان هنالك بعض المخرجات المهمة مثل قوة الاحتكاك، الضغط، سعة الحمل المسلط على السطوح، سمك شريحة الزيت، درجة الحرارة ومقدار الجريان. قوة الاحتكاك وسعة الحمل المسلط هي مواصفات تتعلق بصورة مباشرة مع اداء المحامل. معظم معاملات الاحتكاك تكون قليلة تصميمياً في المتدرج ، لذلك يتم تصنيع معظم المساند بحيث تكون قيم معاملات الاحتكاك فيها قليلة [11] .

في هذا البحث تم التركيز على مخرجات الضغط المتولد تحت تأثير الحمل وسرعة دوران العمود ومواصفات محددة للزيت وقيم ثابتة فرضياً للحرارة وطوبوغرافية المسند ممثلة بالانحراف المعياري لخشونة السطوح المقترية للمتدرجات الاسطوانية (rollers) والحلقة الداخلية للمسند (inner ring) ، ومن خلال إيجاد سمك شريحة الزيت (h) و المشتقة الأولى لها في السطوح المقترية لكل حالة من حالات حركة المسند (الانزلاقية والتدرجية) ، يتم بعد ذلك حل المعادلات التفاضلية الحاكمة لمعادلة رينولدز عددياً بطريقة الفروقات المحددة (Finite Difference Method) ، حيث يتم حساب ضغط الزيت المحصور في كل نقطة موجودة من منطقة التماس (نتيجة لوجود حركة نسبية بينهما، إذ تم افتراض أن الحلقة الخارجية ثابتة والحلقة الداخلية تدور). وبمعادلة ضغط الزيت المستخرج لكل نقطة بالمساحة المؤثر فيها نحصل على قوة عمودية على سطح الجزء المتحرك (شعاعية)، وتحليل هذه القوى إلى مركبتين إحداها عمودية باتجاه الحمل الخارجي حيث إن محصلتها الكلية تعادل حمل العمود الدوار، والأخرى مماسية، ليتم بعدها رسم علاقات مختلفة وذلك لتقييم أداء المسند ذو المواصفات وظروف العمل ومواصفات الزيت [12] وطوبوغرافية المسند [13] المحددة في الجدول رقم (2).

يتم تحليل وتجزئة الحركة بين المتدرجات والحلقة الداخلية للمسند الى حركتين هما: انزلاقية وتدرجية ، حيث تحدث الحركة انزلاقية نتيجة انزلاق سطح الحلقة الداخلية للمسند على سطح المتدرج في أثناء دوران الحلقة، بينما تحدث الحركة التدرجية بتدرج المتدرجات فقط على سطح الحلقة الداخلية للمسند في أثناء دورانه ، وقد تكون مزيج من كلا الحركتين.

حيث تم باستخدام المعادلات الرياضية اشتقاق معادلة سمك شريحة الزيت في حالة دوران الحلقة الداخلية وسكون المتدرجات كما يأتي :

$$h = \frac{AC \sin[180-(\alpha-\theta)-\sin^{-1}\left[\frac{AB}{AC} \sin(\alpha-\theta)\right]]}{\sin(\alpha-\theta)} - \frac{AC \sin(180-2 \sin^{-1}\left[\frac{AB \sin(\alpha-\theta)}{AC}\right])}{\left[\frac{AB \sin(\alpha-\theta)}{AC}\right]} - R \dots \dots (1)$$

أما في حالة دوران المتدرجات وسكون الحلقة الداخلية فإن سمك شريحة الزيت سوف يكون:

$$h = \frac{AC \sin\left[180-\left(\alpha-\frac{d \cdot X}{r}\right)-\sin^{-1}\left[\frac{AB}{AC} \sin\left(\alpha-\frac{d \cdot X}{r}\right)\right]\right]}{\sin\left(\alpha-\frac{X}{r}\right)} - \frac{AC \sin\left(180-2 \sin^{-1}\left[\frac{AB \sin\left(\alpha-\frac{d \cdot X}{r}\right)}{AC}\right]\right)}{\frac{AB \sin\left(\alpha-\frac{d \cdot X}{r}\right)}{AC}} - r \dots \dots \dots (2)$$

وبعدها يتم حساب سمك شريحة الزيت تحت تأثير خشونة سطحي الحلقة الداخلية للمسند والمتدرجات، بعد ذلك يتم إيجاد سمك شريحة الزيت النوعية (Specific oil film thickness  $h_s$ ) أو سمك شريحة الزيت المحلية (Local oil film thickness  $h_t$ ) حيث أن [14]:

$$h_t = h + \delta_1 + \delta_2 \dots \dots \dots (3)$$

حيث تمثل ( $\delta_2$  &  $\delta_1$ ) سعة الخشونة العشوائية لسطحي الحلقة الداخلية للمسند والمتدرج. وبأخذ توزيع كاوسيان للارتفاعات فيتم التعويض عنها بالانحراف المعياري لخشونة السطحين ( $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ) على التوالي ، ومن ثم إيجاد الخشونة المركبة للسطحين ( $\sigma$ ) المتمثلة بالمعادلة التالية :

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \dots \dots \dots (4)$$

وحيث أن  $\Lambda$  يمثل مؤشر شريحة الزيت والتي تعتمد على مواصفات خشونة السطح+ وأقل سمك للشريحة ، كما في المعادلة التالية [15]:

$$\Lambda = \frac{h_{min}}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}} \dots \dots \dots (5)$$

بعد ذلك يتم إيجاد معدل سمك شريحة الزيت ( $h_t$ ) بالأعتماد على قيمة ( $\Lambda h$ ) والتي تمثل حالة التزييت للمسند سواء كان تزييت كامل للمسند أو تزييت جزئي للمسند (حيث أن قيمة ( $h$ ) تمثل سمك شريحة الزيت بدون الأخذ بنظر الاعتبار خشونة السطح) كما في المعادلة التالية : [14]

$$\left. \begin{aligned} h_t &= h \\ h_t &= \frac{h}{2} \left[ 1 + \operatorname{erf} \left( \frac{\Lambda h}{\sqrt{2}} \right) \right] + \frac{1}{\Lambda \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\Lambda h)^2}{2}} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \Lambda h &\geq 3 \text{ ( full lubrication)} \\ \Lambda h &< 3 \text{ (partial lubrication) } \dots \dots (6) \end{aligned}$$

ويستخدم معادلة رينولد :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{h^3}{\mu} \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{h^3}{\mu} \frac{\partial P}{\partial z} \right) = 6U \frac{\partial h}{\partial x} + 12 \frac{\partial h}{\partial t} \dots \dots \dots (7)$$

وبتبسيط المعادلة وبفرض أنه لا يوجد عصر في المحمل (no squeeze) وأن لزوجة الزيت ثابتة (isoviscous) وإعتبار إن سمك شريحة الزيت ( $h$ ) ثابت بالاتجاه المحوري ( $Z$ ) ، لكون الحلقة الداخلية والمتدرجات المحصور بينهما الزيت محوريهما متوازيين ، يتم حل معادلة رينولد مرتين ، الأولى لحساب الضغط تحت تأثير سمك شريحة الزيت في حالة دوران الحلقة الداخلية وسكون المتدرجات ، والثانية لحساب الضغط تحت تأثير سمك شريحة الزيت في حالة دوران المتدرجات وسكون الحلقة الداخلية ، وذلك باستخدام الحل العددي بطريقة الفروقات المحددة ( Finite Difference Method) ذات المخطط خماسي العقدة ( five node scheme ) ، الموضحة في المخطط الشبكي في الشكل رقم (3) ، لنحصل بعدها على المعادلة التالية:

$$P_{i,j} = A_1 P_{i+1,j} + A_2 P_{i-1,j} + A_3 P_{i,j+1} + A_4 P_{i,j-1} - A_5 \dots \dots \dots (8)$$

ويستخدم البرنامج الحاسوبي Matlab R-2013-b عند المواصفات والطوبوغرافية والسرعة المحددة للمسند ، وتطبيق الشروط الحدودية (Boundary Conditions) بالاتجاه المحيطي (Annually) وكذلك بالاتجاه المحوري (Axially) تم إيجاد الضغط وكذلك تم استخراج القوى المؤثرة في المسند عند كل عقدة أو نقطة من نقاط المسند.

### 3- النتائج والمناقشة:

بالاعتماد على لزوجة الزيت و الشكل الهندسي ومواصفات المسند وسرعة دوران العمود وطوبوغرافية المسند المتمثلة بخشونة سطحي الحلقة الداخلية والمتدرجات الأسطوانية والتي تحدد طبيعة القوى الفاعلة التي تؤثر في شكل منطقة الاقتراب ، تم الحصول على النتائج التالية :

$$\begin{aligned} \theta_{roller} = 0 &\longrightarrow 9.6933^\circ , \alpha_{roller} = 0.1692^\circ \\ \theta_{l.ring} = 0 &\longrightarrow 56.2039^\circ , \alpha_{l.ring} = 0.9806^\circ , \Lambda = 1.7095 \end{aligned}$$

نلاحظ من الشكلين رقم (4) و (5) طبيعة تغير سمك شريحة الزيت ( $h$ ) محيطيا ، وذلك في حالة سكون المتدرجات ودوران الحلقة الداخلية ، وكذلك في حالة دوران المتدرجات وسكون الحلقة الداخلية على التوالي ، بدون تأثير الخشونة وتحت تأثيرها عن خشونة سطحية قليلة أي أن عملية التشغيل والأنهاء على سطح المسند عالية مما يجعل خشونة السطح دقيقة وصقيلة والتي تصل معدل الانحراف المعياري أو معدل الجذر التربيعي (Root mean square) لها الى ( $18.2 \mu m$ ) ، إذ يحكم هذه العلاقة طبيعة الشكل الهندسي للمسند وطبيعة شكل سطحي الاقتراب (convergence) وطوبوغرافية سطحي المسند وكذلك مقدار لزوجة الزيت. كما ونلاحظ أن منحنى سمك شريحة الزيت في حالة الأخذ بنظر الاعتبار خشونة سطحي المتدرج تكون منحدر وأقل منه في حالة أهمل الخشونة وحيث أن قيمة حالة التزييت كانت أقل من 3 مما يعني تزييت جزئي في المسند ، وبالنتيجة فأن السطوح ذات الخشونة العالية أو التي تمتلك بروزات وفتوات سطحية عالية يكون سمك شريحة الزيت فيها أكبر من حالة الخشونة السطحية القليلة ، وبالتالي فإنها تتسبب إنخفاض

الضغط المتولد بين العمود والحلقة الداخلية للمسند ، وينتج عن ذلك عدم قدرة المسند على رفع أحمال العمود الدوار عند تلك السرعة مما قد يسبب حصول تلامس واحتكاك بين نتوءات وبروزات السطوح فينتج عنه تولد حرارة في الزيت وبالتالي حدوث التآكل والبليان في المسند وأستهلاك في الطاقة ، وبالتالي خسائر مادية وأقتصادية .

نلاحظ من الشكل رقم (6) والذي يمثل ضغط شريحة الزيت في حالة دوران الحلقة الداخلية للمسند وسكون المتدرج بدون تأثير الخشونة السطحية حيث أن أعلى قيمة للضغط هي 65.74 M.Pas .

بينما في الشكل رقم (7) والذي يمثل ضغط شريحة الزيت في حالة دوران الحلقة الداخلية للمسند وسكون المتدرج مع تأثير الخشونة فأننا نلاحظ أن قيمة الضغط الأعلى هي 748.3 M.Pas وذلك بسبب تأثير الخشونة السطحية المنخفضة للحلقة الداخلية للمسند والتي تعمل خفض قيمة سمك شريحة الزيت مما يؤدي الى ارتفاع الضغط في المنطقة المقترية وبالتالي زيادة قابلية رفع حمل العمود الدوار . أما في حالة زيادة خشونة أسطح المسند فأن ذلك سوف يؤدي الى زيادة سمك طبقة شريحة الزيت في منطقة السطوح المقترية للمسند أسفل العمود الدوار وأقترابها في بقية المناطق العلوية من المسند والتي يكون الزيت فيها قليل ، مما يؤدي الى تلامس واحتكاك نتوءات وبروزات المتدرجات والحلقة الداخلية للمسند ومن ثم تولد حرارة عالية في المسند والزيت وبالتالي تقليل كفاءة المسند وأنخفاض قيمة الضغط المتولد بين سطحي المسند ، مما يؤدي الى عدم قدرة الزيت على رفع حمل العمود الدوار وبالتالي حدوث التآكل والبليان في سطوح المسند .

الشكل رقم (8) يوضح ضغط شريحة الزيت في حالة دوران المتدرج وسكون الحلقة الداخلية للمسند بدون أخذ تأثير الخشونة وتظهر فيه أن أقصى قيمة للضغط هي 473.09 Pas. وهذه القيمة قليلة نسبياً بسبب صغر قطر المتدرج .

أما في الشكل رقم (9) فيظهر فيه ضغط شريحة الزيت في حالة دوران المتدرج وسكون الحلقة الداخلية تحت تأثير خشونة سطحي المسند والذي يصل الى قيمة 1494.5 Pas. وهو يعادل ثلاثة أضعاف ضغط المتدرج تقريباً في حالة إهمال مقدار الخشونة السطحية ، وهذا مما يعطي أهمية لدراسة تأثير الخشونة السطحية حتى في المتدرجات الصغيرة رغم كون ضغطها غير مؤثر تقريباً مقارنة مع ضغط الحلقة الداخلية للمسند .

يظهر في الشكل رقم (10) الضغط الكلي لشريحة الزيت في حالة دوران المسند بدون تأثير الخشونة ، حيث تصل أقصى قيمة الى 65.74 M. Pas. بينما يظهر في الشكل رقم (11) الضغط الكلي لشريحة الزيت في حالة دوران المسند مع تأثير الخشونة ، حيث تصل أقصى قيمة الى 748.6 M. Pas. حيث أن السطوح الملساء والصقيلة تعمل على خفض قيمة شريحة الزيت تحت العمود الدوار وبالتالي تعمل على زيادة الضغط في منطقة الأقتراب بين السطوح مما يعطيها حماية أكثر من التآكل والبليان حتى في حالة كون التزيت جزئي حول العمود الدوار ، بينما في نتائج المصدر رقم [16] ظهرت أقصى قيمة للضغط بمقدار 360 M.Pas. ، وسبب ذلك هو الاختلاف في العوامل التي افترضت عند إجراء هذا البحث عن تلك التي افترضت في المصدر المشار إليه أعلاه .

في الأشكال من (6) - (11) تظهر المنحنيات الثلاثية الأبعاد طبيعة توزيع ضغط الزيت المحصور بين المتدرجات والحلقة الداخلية للمسند بالاتجاه المحيطي (X) للمتدرج وفقاً لحالة حدود الضغط عند سرعة (300) r.p.m ونلاحظ منها تأثير طوبوغرافية سطحي المسند على مقدار الضغط الناتج منه. وحيث أن قيمة حالة التزيت كانت أقل من 3 مما يعني تزيت جزئي في المسند ولكون سمك شريحة الزيت عند خشونة سطحية دقيقة محددة (إنهاء تشغيلي عالي للسطوح) فإن ذلك يفسر سبب كون أن منحنى نتائج الضغط في حالة أخذ الخشونة لسطحي المتدرج كانت أعلى من حالة إهمال خشونة السطحين ، حيث أن انخفاض منحنى سمك شريحة الزيت أدى الى زيادة الضغط المتولد بين سطحي المسند والمتدرج وبالتالي ضغط وسرعة جريان عالية في منطقة الأقتراب بين السطوح مما يؤدي الى تخفيض درجة حرارة الزيت وحماية أعلى للمسند وقابلية عالية على رفع أحمال العمود الدوار .

إن النتائج المستحصلة تتطابق من حيث طبيعة التوزيع بالاتجاه المحيطي مع نتائج المصدر رقم [16] ، مع الاختلاف بقيمة الضغط المتولد نتيجة لعدة عوامل مختلفة افترضت عند إجراء هذه الدراسة وكانت مختلفة عن تلك التي

افتترضت في المصدر أعلاه منها (نوع الزيت المستخدم و درجة حرارة الزيت التي تؤثر في لزوجة الزيت ، وكذلك سرعة المسند وإهمال تأثير خشونة سطحي المسند).

في الأشكال رقم (12) و (13) يظهر مقدار القوة العمودية الكلية لشريحة الزيت في حالة دوران المسند في حالة إهمال تأثير الخشونة السطحية وفي حالة عدم إهمال تأثير الخشونة على التوالي ، ونلاحظ أن قوة الرفع قد تضاعفت بمقدار العشرة أضعاف في حالة كون السطوح صقيلة وذلك بسبب زيادة الضغط الناتج في السطوح المقترية، وبالتالي فإن زيادة الخشونة السطحية تعمل على خفض مقدار القوة الرافعة للعمود الدوار والعكس صحيح أيضاً.

#### 4- الاستنتاجات:

لقد تبين من التحليل النظري مايلي :

1- خشونة الأسطح العالية في المساند تتسبب بزيادة سمك طبقة الزيت مما يتسبب بإنخفاض الضغط المتولد بين العمود والحلقة الداخلية للمسند وخصوصاً في السرعة الواطئة ، وبالتالي عدم قدرة المسند على رفع أحمال العمود الدوار مما قد يسبب حصول تلامس بين نتوات وبروزات الخشونة الظاهرية أو الدقيقة وبالنتيجة حدوث فشل في المسند .

2- إنخفاض قيمة خشونة أسطح المسند يتسبب بإنخفاض قيمة مؤشر شريحة التزيب  $A$  وبالتالي إنخفاض خاصية التزيب حول المسند عن طريق  $(A h)$  أي أن التزيب يكون جزئياً حول المسند فينتج عنه إنخفاض قيمة سمك طبقة الزيت النوعية الكلية وبالتالي زيادة الضغط المتولد لرفع حمل العمود الدوار ، ولزيادة كفاءة التزيب يتم رفع سرعة المسند مما يضمن حدوث تزيب كلي حول العمود الدوار.

#### 5- التوصيات :

- 1- يوصي الباحث بدراسة تأثير خشونة سطوح المتدرج عند قيم مختلفة للخشونة السطحية ولمؤشر شريحة التزيب  $(A)$  وعند سرع مختلفة لدوران العمود وأنواع أخرى من المزيئات.
- 2- دراسة تأثير خشونة الأسطح في أنواع أخرى من المساند .

#### المصادر :

- 1- Robert P. Tata, P.E. "Principles and Use of Ball and Roller Bearings"; Course No.: M06-024; Credit: 6 PDH; CED Engineering.com- Continuing Education and Development, Inc. Copyright - 2011; 2.
- 2- NTN (New Technology Network) Corporation Catalog, Ball and Roller Bearings, CAT. No. 2202-IX/E, Copyright 2009, (Cylindrical Roller Bearings), B-77.
- 3- Tzeng ST, Saibel E. Surface roughness effect on slider bearing lubrication. SLE Trans 1967; 10:334-8.
- 4- Christensen H. Stochastic, models for hydrodynamics lubrication of rough surfaces. Int J Mech Eng 1970;184(55):1013-22.
- 5- Tower, B," Report on Friction experiments" Proc. Inst. Mech. Eng., 1884.)
- 6- Reynolds. O.O" On the theory of lubrication and its application to Mr. Beauchamp Tower Experiments. Phil. Trans. R. Soc. London 177:157-234 1886.
- 7- Halling, J., "Principles of Tribology ",Macmillan press LTD., 1979.
- 8- Advanced Vehicle Technology , by: Heinz Heisler, MSc. , BSc., F.I.M.I., M.S.O.E., M.I.R.T.E., M.C.I.T., M.I.L.T. , Formerly Principal Lecturer and Head of transport studies. , College of North west London, Willesden Center , London, UK, Second edition2002,CH-6, page 193 .
- 9- Michael. M. Khonsari & E. Richard Booser "Applied Tribology: Bearing Design and Lubrication " , U.S.A., 2001.
- 10- Kugel Fischer Georg Schäfer "Rolling Bearing Lubrication" Publ. No. WL 81 115/4 EA ,2002.

- 11- Fredrik Sahlin , Hydrodynamic Lubrication of Rough Surfaces, Licentiate Thesis, Lulea University of Technology , Department of Applied Physics and Mechanical Engineering , Division of Machine Elements ,LATEX- SE, ISSN : 1402-1757|ISRN:LTU-LIC--05/83, 2005,CH-2, 5.
- 12- PT components, INC , Link-belt marketing services , 7545 Rockville road , Box 802 , Indiana polis , In46205 .
- 13- Daejong Kim , Sanghoon Lee & Michael D. Bryant& Frederick F. Ling , Department of Mechanical Engineering, University of Texas at Austin, Austin, TX 78712 , Hydrodynamic Performance of Gas Microbearings , Vol. 126, OCTOBER 2004 Transactions of the ASME.
- 14- Basim Ajeel Abass & Mustafa Mohammed K. ,The Effect of Surface Roughness on Thermohydrodynamic, Performance in Misaligned Journal Bearings, Department of Mechanical Engineering/ College of Engineering/ University of Babylon, Al-Khwarizmi Engineering Journal, Vol. 6, No. 3, PP 61-76 (2010).
- 15- Assist. Prof. Dr. Ibrahim Ali Muhsin / University of tikrit / College of engineering and Assist. Inst.Ali A. Al-Ameer /University of Kufa/ College of engineering, Studying the effect of the surface roughness on the maximum eccentricity ratio and the load carrying capacity in the journal bearing, the second scientific conference of pure and applied science, special volume, No. 1, pp.83-101, August 2010.
- 16- M.O.A. Mokhtar & A. A. Abdel Ghany "Elastohydrodynamic behavior of rolling Elliptical contact: part I: pressure and temperature distributions" Journal of Tribology (1985).

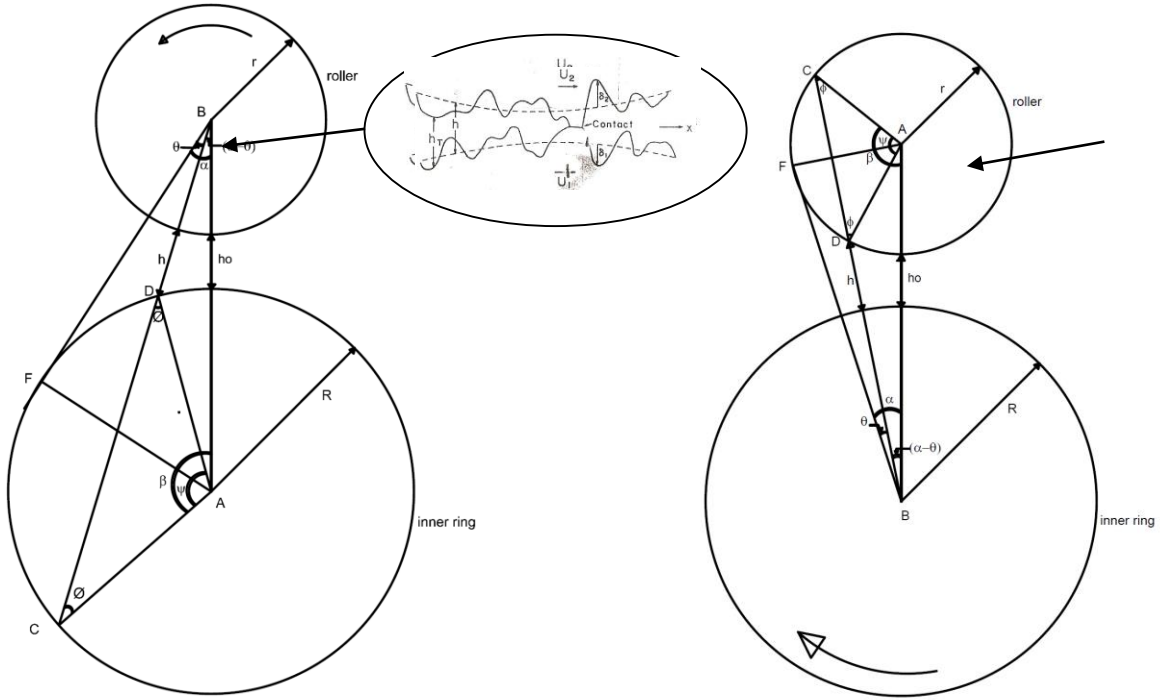
جدول رقم (1) الرموز المستخدمة في البحث

الوحدة	التوصيف	الرمز
m	نصف قطر المتدرجات للمسند	r
m	نصف القطر الخارجي لسطح الحلقة الداخلية للمسند	R
m	عرض المسند	L
m	الفاصلة (gap) بين سطح المتدرجات و الحلقة الداخلية للمسند في أثناء الحركة	e
m	سمك شريحة الزيت عند كل نقطة بالاتجاه المحيطي	h
m	أقل سمك لشريحة الزيت (e)	h <sub>0</sub>
r.p.m	السرعة الدورانية للمسند	N
m/s	السرعة الخطية للمسند	U
pa	ضغط الزيت عند كل نقطة بالاتجاه المحيطي	P
m	الإحداثي المحيطي و المحوري للمسند	Z ,X
s	الزمن	t
—	عوامل	A <sub>T</sub> A <sub>S</sub>
Newton	محصلة القوى باتجاه الحمل الخارجي الناتجة عن ضغط الزيت	F <sub>N</sub>
Newton	سعة التحميل للمسند (Load carrying capacity)	W
—	عداد العناصر بالاتجاهين المحيطي والمحوري على التوالي	i,j
—	عدد العناصر في الاتجاه المحيطي و المحوري	m, n,
m <sup>2</sup>	مساحة العنصر الواحد في المخطط الشبكي	a
Pa. s	اللزوجة الديناميكية للزيت	μ
Radian	الزاوية المركزية لمنطقة التقارب بين المتدرج والحلقة الداخلية للمسند	α
Radian	الزاوية المحيطة لكل نقطة على سطح المتدرج	Θ
---	مؤشر طبيعة شريحة المزيث	Λ
R.M.S	الأنحراف المعياري للخشونة المركبة وخشونة سطحي المسند والمتدرج	σ <sub>2</sub> ,σ <sub>1</sub> , σ
m	سعة الخشونة العشوائية لسطحي الحلقة الداخلية للمسند والمتدرج	δ <sub>2</sub> ,δ <sub>1</sub>
M	طول العنصر في الاتجاه المحيطي (x) و الاتجاه المحوري (z)	Δx ,Δz
---	دالة الخطأ	erf( )

جدول رقم (2) البيانات المستخدمة في البحث

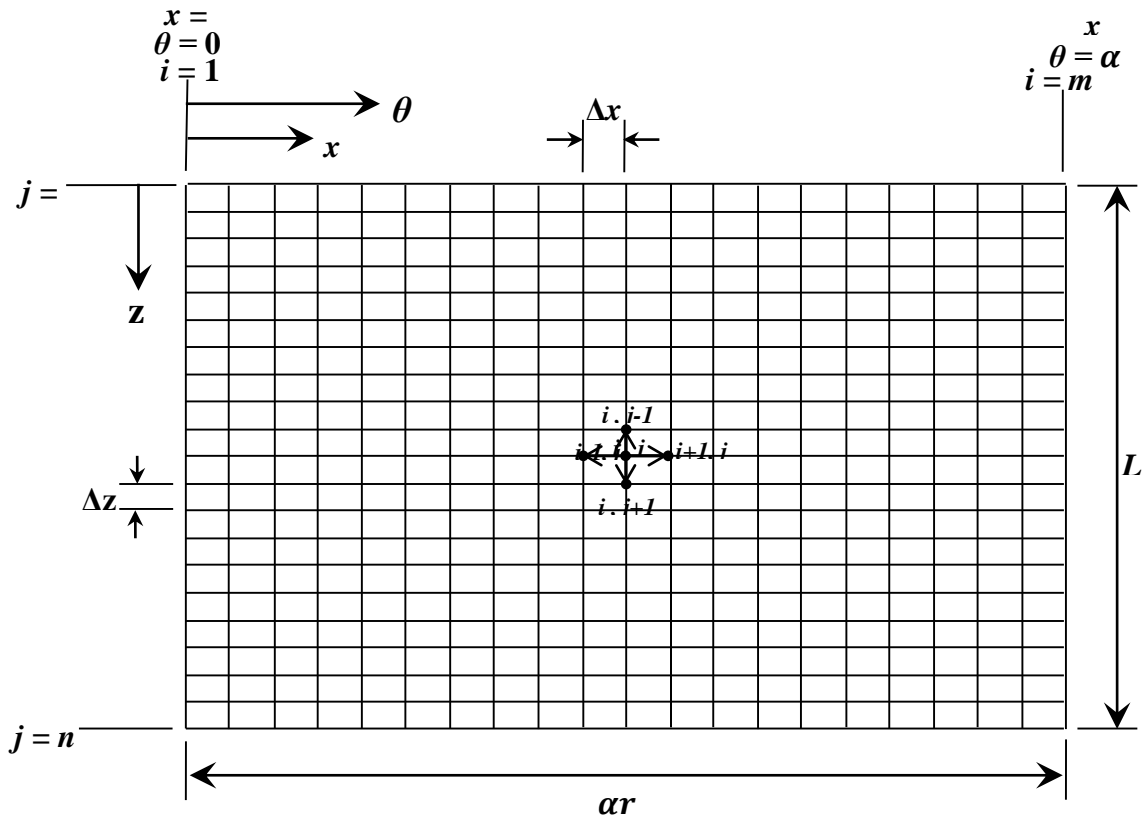
الوحدة	التفاصيل	العوامل
-----	Formed steel retainer (separable)	نوع المسند
—	(5220)	رقم المسند
m	(0.060325)	عرض المسند (L)
m	0.060503	نصف قطر السطح الخارجي للحلقة الداخلية للمسند (R)
m	0.010008	نصف قطر المتدرجات (r)
μm	44	الفاصلة المحصورة بين سطحي المتدرج والحلقة الداخلية للمسند في أثناء العمل (e)
—	VG68	نوع الزيت
C <sup>0</sup>	50	درجة حرارة الزيت
Pa .s	0.039	لزوجة الزيت (μ)
r.p.m	300	السرعة الدورانية للمسند
μm	18.2	خشونة سطح المتدرج والحلقة الداخلة للمسند (R.M.S)



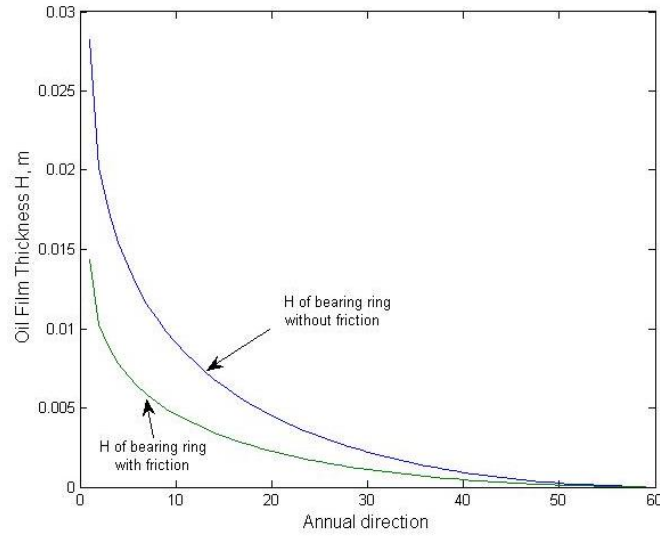


شكل ( 2 ) سمك شريحة الزيت للحالة (B)

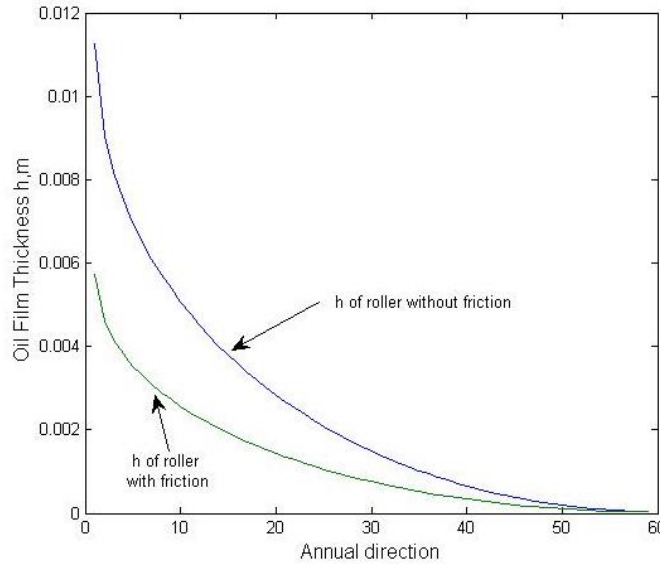
شكل ( 1 ) سمك شريحة الزيت للحالة (A)



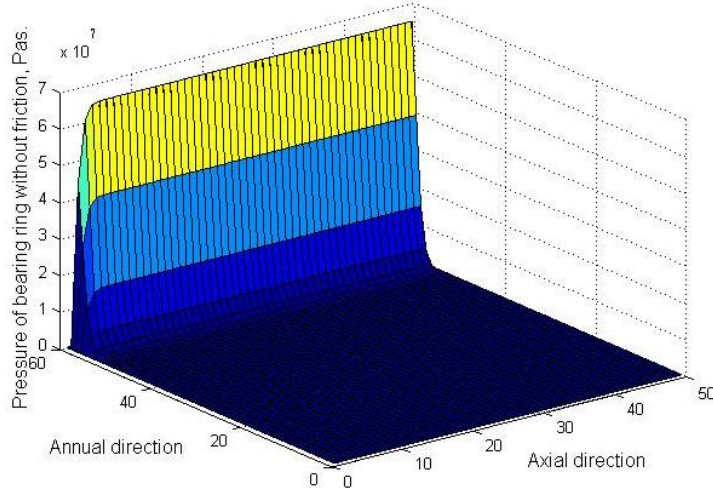
شكل ( 3 ) مخطط يمثل منطقة التماس بين المتدرجات والحلقة الداخلية للمسند



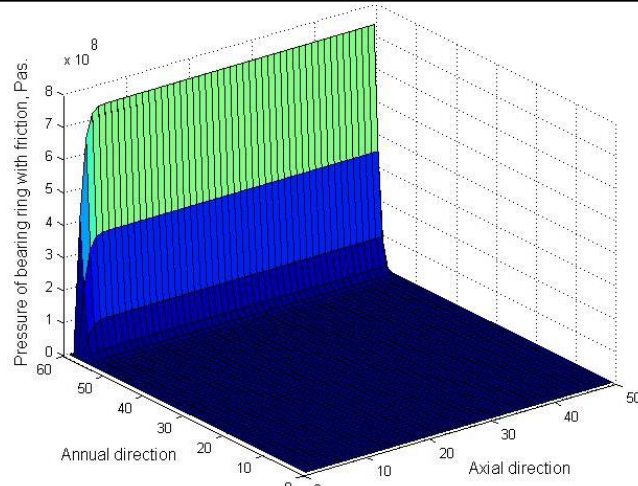
شكل رقم (4) سمك شريحة الزيت في حالة دوران الحلقة الداخلية للمسند وسكون المتدرج – مع وبدون تأثير الخشونة



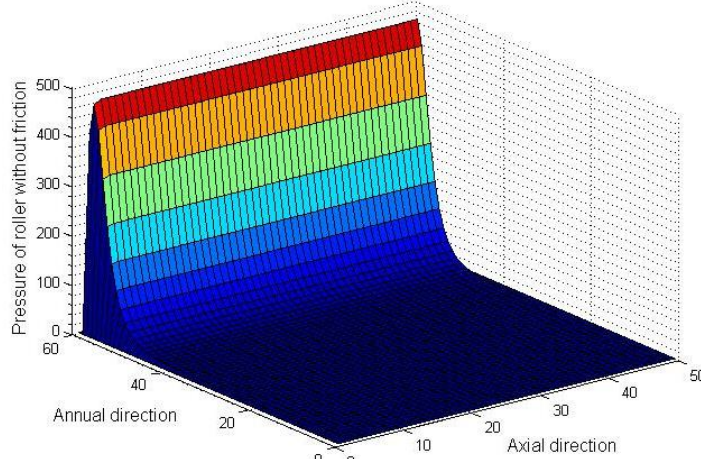
شكل رقم (5) سمك شريحة الزيت في حالة دوران المتدرج وسكون الحلقة الداخلية للمسند – مع وبدون تأثير الخشونة



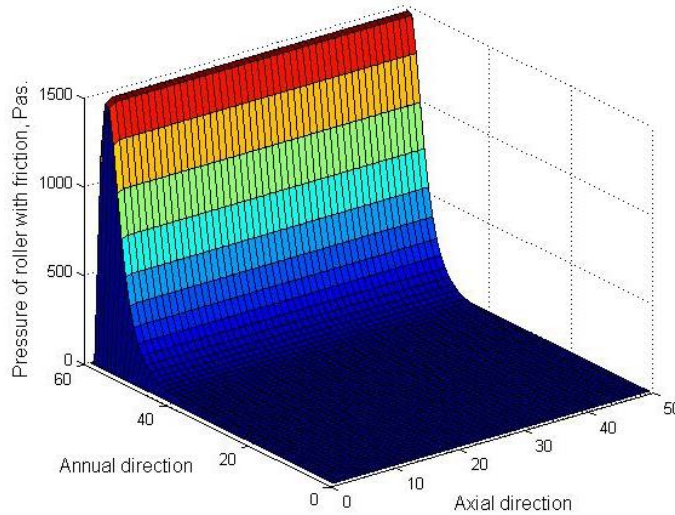
شكل رقم (6) ضغط شريحة الزيت في حالة دوران الحلقة الداخلية للمسند وسكون المتدرج – بدون تأثير الخشونة



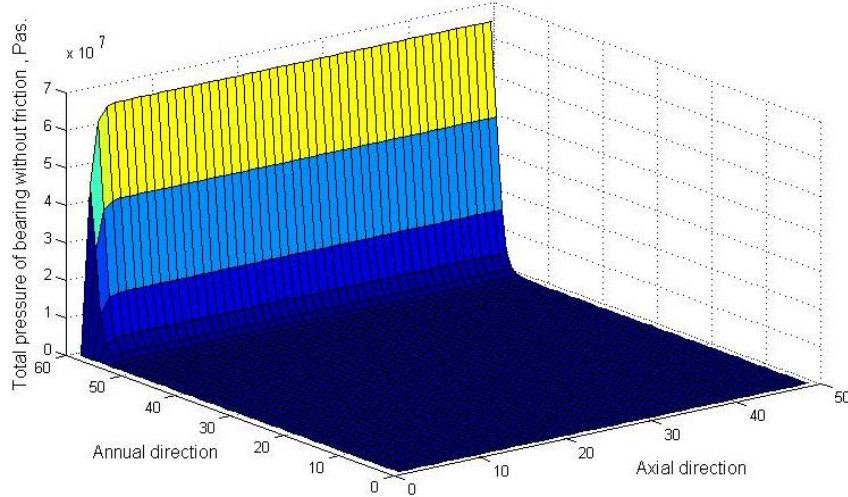
شكل رقم (7) ضغط شريحة الزيت في حالة دوران الحلقة الداخلية للمسدند وسكون المتدرج – مع تأثير الخشونة



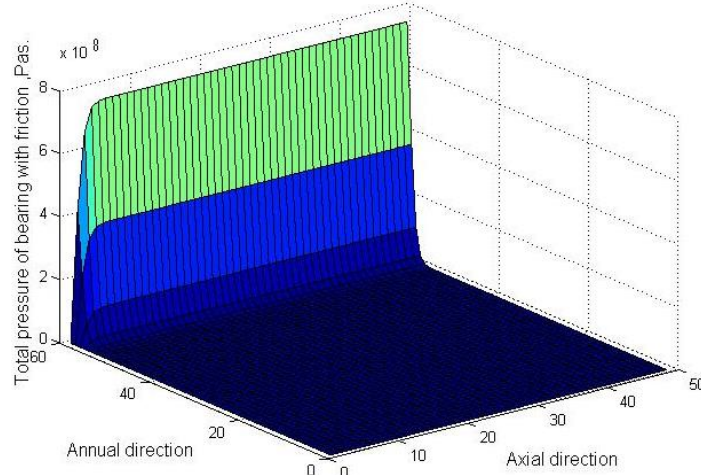
شكل رقم (8) ضغط شريحة الزيت في حالة دوران المتدرج وسكون الحلقة الداخلية للمسدند – بدون تأثير الخشونة



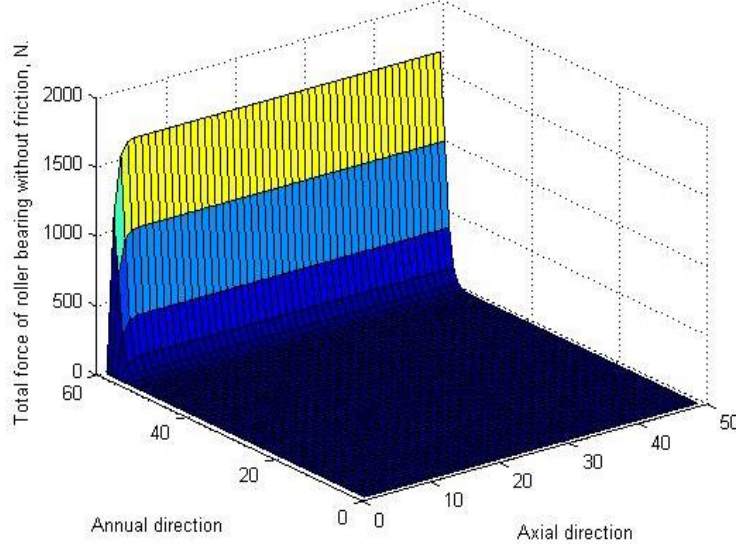
شكل رقم (9) ضغط شريحة الزيت في حالة دوران المتدرج وسكون الحلقة الداخلية للمسدند – مع تأثير الخشونة



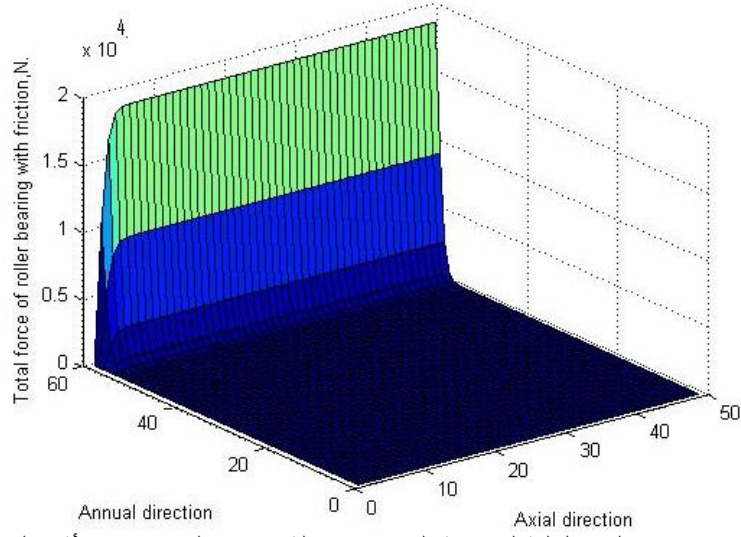
شكل رقم ( 10 ) الضغط الكلي لشريحة الزيت في حالة دوران المسند- بدون تأثير الخشونة



شكل رقم ( 11 ) الضغط الكلي لشريحة الزيت في حالة دوران المسند- مع تأثير الخشونة



شكل رقم ( 12 ) القوة الكلية لشريحة الزيت في حالة دوران المسند- بدون تأثير الخشونة



شكل رقم ( 13 ) القوة الكلية لشريحة الزيت في حالة دوران المسند- مع تأثير الخشونة

---

## Theoretical analysis of surface roughness effect on hydrodynamic performance for bearings type 5220

### Abstract

In this research, we studied the effect of surface roughness for bearings of inner ring and cylindrical rotor type 5220, on the hydrodynamic lubrication in performance convergence area by analyzing the effect of surface roughness on the oil film thickness around the bearing, then influence on generated pressure by rotating shaft. Matlab. R2013b program with finite differences method of five nodes grid used to solve Reynolds equation numerically. the results appear that when the roughness of bearing surfaces is  $18.2 \mu\text{m}$  (high finishing surfaces bearings), this will be decreasing 49% from the oil film thickness between surfaces, which cause increasing total pressure from (65.74 M. Pas.) (in rough surfaces) to (748.3 M. Pas.) which enhancing the ability of bearing to rising load of rotor shaft in the limited speed reach to (18.78 K.N.).