

## **Develop a Sensor System to Calculate the Mutual Pressure Between the Socket and Limb in Amputation above the Knee**

**Dr. Raed Najjar\***  
**Dr. Yara Mohammad\*\***  
**Ghader Ali\*\*\***

(Received 12 / 9 / 2019. Accepted 11 / 11 / 2019)

### **□ ABSTRACT □**

This research aims to develop a system of thin slice sensors that rely on the principle of variable electrical resistors and invested in the calculation of the mutual pressure between the socket and limb prosthesis from above the knee because this pressure is important in determining the efficiency of the prosthesis as the quality of the prosthesis depends on The quality of the socket and the quality of the socket in turn are linked to the optimal distribution of pressure on loadable and non-loadable areas. In five cases of prosthesis alignment through the angle between the knee axis and the socket axis, pressure was calculated for an amputee above the knee at the age of 35 years. The patient was satisfied and it was found that the most suitable angle or the studied condition ranged between 14 - 16 degrees in the front direction corresponding to the direction of normal walking

**Keywords:** alignment, thin slice sensors.

---

\* Associate Professor - Design and Production Engineering, Dep -Mechanical & Electrical College - Tishreen University- Lattakia – Syria.

\*\* Assistant Professor –Industrial Engineering, Dep - Mechanical college -University Of Alandalus - Tartos- Syria.

\*\*\*Postgraduate Student - Design and Production Engineering, Dep - Mechanical & Electrical College- Tishreen University- Lattakia – Syria- E-mail :[gaderali1989@gmail.com](mailto:gaderali1989@gmail.com)

## تطوير نظام حساسات لحساب الضغط المتبادل بين القميص والجذمور في البتر من ما فوق الركبة

د. رائد نجار\*

د. يارا محمد\*\*

غدير ابراهيم علي\*\*\*

(تاريخ الإيداع 12 / 9 / 2019. قُبِلَ للنشر في 11 / 11 / 2019)

### □ ملخص □

يهدف هذا البحث إلى تطوير نظام من الحساسات الشرائحية الرقيقة التي تعتمد على مبدأ المقاومات الكهربائية المتغيرة و استثمارها في حساب الضغط المتبادل بين الجذمور و قميص طرف صناعي من ما فوق الركبة لما لهذا الضغط من أهمية في تحديد كفاءة الطرف الصناعي حيث أن جودة الطرف الصناعي تتوقف على جودة القميص و جودة القميص بدورها ترتبط بالتوزيع الأمثل للضغط على المناطق القابلة للتحميل و المناطق غير القابلة للتحميل. تم حساب الضغط لمصاب بالبتر من ما فوق الركبة يبلغ من العمر 35 عاماً و ذلك في خمس حالات لتسامت الطرف الصناعي من خلال الزاوية بين محور الركبة الصناعية و محور القميص، تم وضع معايير لتقييم كفاءة القميص و زوايا التسامت المثالية بالاعتماد على نظام الحساسات و التجربة و رضى المصاب و تبين أن زوايا التسامت المثالية للحالة المدروسة تراوحت بين 14 - 16 درجة في الاتجاه الأمامي الموافق لاتجاه المشي الطبيعي .

الكلمات المفتاحية: التسامت ، الحساسات الشرائحية

\*أستاذ مساعد- قسم هندسة التصميم والانتاج - كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية - جامعة تشرين- اللاذقية-سورية.

\*\*مدرسة- قسم الهندسة الطبية - كلية الهندسة الطبية - جامعة الأندلس - طرطوس - سورية.

\*\*\*طالب دراسات عليا- قسم هندسة التصميم والانتاج - كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية - جامعة تشرين- اللاذقية-سورية.

**مقدمة:**

يعتبر الضغط بين القميص والطرف المبتور معياراً ضرورياً في تقييم التصميم الجيد للطرف . إن عدم الراحة في ارتداء الطرف الصناعي في البتر السفلي يتوقف على توزيع الإجهادات المتبادلة بين الطرف المبتور و القميص وهو ما يعرف بمناطق الراحة (PR) pressure-relief و مناطق التسامحات (PT) pressure-tolerant تسمح تقنيات الهندسة باستخدام الحاسوب بتحسين آلية تصنيع قميص الطرف الصناعي و بالتالي تحسين عملية المشي والقيام بالنشاطات الروتينية اليومية [1].

من الضروري التحديد الدقيق للضغط المتبادل بين القميص والجزمور لما لذلك من أهمية في تقييم كفاءة الطرف الصناعي الطريقة الأنسب لذلك هي استخدام حساسات الضغط التي تعتمد على المبدأ البيزوكهربائي و المستخدمة في تحديد قيم الضغط بين السطوح المتماسة الميزة الأهم في هذه الحساسات هي سماكتها المنخفضة التي لا تشكل أي سماكة إضافية بين القميص والجزمور [2] و بالتالي نستطيع قراءة الضغط مباشرة من خلال وضع الحساسات في المناطق التي نريد معرفة الضغط فيها أثناء الحركة في كل لحظة من اللحظات و فهم الآلية التي يتوزع فيها الضغط الداخلي بين القميص والجزمور بشكل ملائم لا يسبب ازعاجاً للمصاب [3] ، إن معظم مشاكل عدم التوافقية بين القميص والجزمور تنتج عن التصنيع السيء لنظام استناد القميص وعدم الالتزام بمناطق التحميل المسموحة على الطرف. التوزع المختلف للضغط بين القميص والطرف الصناعي يعد عاملاً أساسياً في تصميم القميص وتناسبيته [4]، مستخدموا الأطراف الصناعية السفلى يطبقون ضغطاً مختلفاً خلال الحياة الروتينية اليومية، حيث أن الأنسجة الرخوة والجلد في الطرف المبتور غير مخصص لتلقي هذه الأوزان، ولذلك فإن هذا النسيج يكون أكثر عرضة للتقرحات ، كما أن الضغط المختلف خلال المشي أيضاً قد يؤدي إلى أذيات مختلفة في الجلد [5] .

**1- نظام تحميل الوزن**

يحتوي نظام تحميل الوزن ضمناً على نظام آخر و هو نظام الاستناد و هو عبارة عن المناطق و السطوح الداخلية من القميص التي تستند مباشرة وتلامس مناطق التحميل سواء للبتر من ما تحت الركبة أو من ما فوق الركبة نظراً لأهمية نقاط الاستناد تتم تسمية القميص برمته حسب اسم نظام نقاط الاستناد (مناطق الاستناد المسموحة على الجزمور) وكمثال على ذلك القميص من النوع PTB: قميص الوتر الرضفية - patellar tendon-bearing (PTB) جاءت التسمية من استناد الضواغط على وتر الرضفة [6] .

**2- تسامت الطرف الصناعي**

يعتبر تسامت الطرف الصناعي من أهم الإجراءات التي تحقق جودة الطرف الصناعي و يعرف التسامت بأنه مجموعة الوضعيات و الزوايا التي يتم ترتيب أجزاء الصرف الصناعي على أساسها بحيث تعطينا أفضل أداء للطرف الصناعي. يرتبط التسامت بشكل مباشر بخط الحمل و هو عبارة عن حامل القوة الأساسية الناتجة عن مركبات رد فعل الأرض و يرتبط خط الحمل بنظام توزيع الوزن ( نظام الاستناد ) و بالتالي نستطيع القول أن التسامت له الدور الأساسي في توزيع الحمل حيث أن اختلاف صغير في الزاوية التسامتية لأجزاء الطرف الصناعي يسبب تغييراً كبيراً في توزيع الأحمال بين القميص و الجزمور [7] . ان معرفة زوايا التسامت المثلى التي تحقق التوزع الأمثل للضغط ينعكس إيجاباً على تطوير نظام الاستناد [8] .

## أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية هذا البحث في قدرته على التحديد الدقيق للضغط في أي منطقة من مناطق الجذومر بما فيها الأماكن التي يجب أن تتحمل ضغطاً أثناء الاستخدام و المناطق التي يجب تخفيف الضغط فيها و مراعاة خصوصيتها التشريحية و الحصول على القيم الحقيقية للضغط المتبادل بين القميص و الجذومر من خلال تطبيق دارة من الحساسات الشرائحية و التي لا تسبب أي سماكة إضافية بين القميص و الجذومر و تعمل بالمبدأ البيزوكهربائي من خلال قياس الضغط في كل لحظة من اللحظات سواء في طور الاستناد او طور التآرجح وبالتالي المعرفة الحقيقية لقيم الضغط و التي تساعدنا في فهم التوزعات المثلى للضغط و بالتالي القدرة على التحكم بالتسامت الأنسب للطرف الصناعي ومعايرته بشكل مثالي، إضافة إلى تأمين الراحة التامة للمصاب والتخلص من مشاكل التقرحات والجروح الناتجة عن عدم التوافقية التصميمية بين القميص والجذومر مما يترتب عليه في النهاية توفير الإقتصادي المترتب على عملية إعادة تصنيع القميص مرات عديدة بسبب عدم امكانية الاستمرار مع الطرف البديل .

## منهجية البحث:

يتبع هذا البحث المنهجية التطبيقية applied research من خلال تطوير دارة الحساسات و استخدامها بشكل تجريبي على المصابين و متابعة الحالة و معرفة قيم الضغط المتبادل بين القميص و الجذومر . مع ملاحظة أن التقنية البحثية المستخدمة هي التقنية التجريبية والتقنية التحقيقية positiv techniques و هذا البحث لا يعتبر دراسة إحصائية و إنما هو دراسة استقصائية و تحليلية.

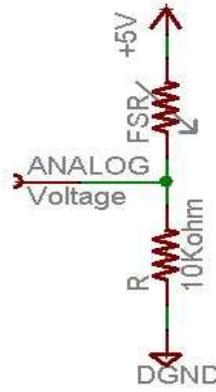
## طرائق البحث و مواده:

### 1- منظومة الحساسات الرقائعية:

تم استخدام حساسات قياس الضغط الرقائعية والمصممة خصيصاً لقياسات ضغط السطوح المتلامسة من أجل قياس قيم الضغط المتبادل بين القميص و الجذومر خلال طور الاستناد الحد الأعلى الذي يستطيع الحساس قياسه يصل إلى 1114 kpa تم وضع الحساسات على المناطق الأساسية بين القميص و الجذومر وأخذ القراءات بشكل مباشر في كل نقطة من النقاط ضمن فواصل زمنية يتم تحديدها مسبقاً .

### 2- وصف الدارة:

حساس الضغط (Force Sensor Resistance) FSR هو عبارة عن مقاومة متغيره تتغير قيمة هذه المقاومة حسب درجة الضغط المطبق عليها .وهو أحد الحساسات التماثلية والذي يمكننا من معرفة الضغط المتولد خلال واحدة المساحة . وحتى نستطيع ان نقرأ هذا التغيير عن طريق المنافذ التماثلية يجب أن يكون التغيير الداخل على المنافذ التسلسلية فولتية متغيرة وليست مقاومة، و بالتالي يجب ان نستخدم تقنية تسمى مقسم الجهد voltage divider . ولو فرضنا ان لدينا مصدر جهد VCC وكان لدينا مقاومتين R1,R2 فإذا تم توصيل المقاومتين على التوالي كما في الصورة التالية.



الشكل (1) مقدار الفولتية الواصلة الى الحساسات

فأن مقدار الفولتية على المقاومة R تعطى بالقانون:

$$V_R = (R / (FSR + R)) * V_{CC}$$

فأن مقدار الفولتية على المقاومة FSR تعطى بالقانون:

$$V_{FSR} = (FSR / (FSR + R)) * V_{CC}$$

هذا القانون من القوانين المهمة في الدارات الكهربائية حيث نستطيع من خلاله تطبيق جهد أقل من مصدر الجهد لدينا وذلك بتغيير قيمة المقاومات المستخدمة، في حالتنا هذه FSR هي المقاومة المتغيرة و R هي المقاومة الثابتة سوف تتغير مقاومتها FSR عند الضغط على حساس القوة ومن ثم تتغير قيمة الفولتية بطريقة متساوية لتغير المقاومة وبهذه الطريقة نستطيع قراءة هذا النوع من الحساسات التي تعتمد على تغير المقاومة و هذه القيمة سوف نستفيد منها في الحصول على الضغط.

### 3- الحساسات المستخدمة:

تم استخدام ثلاث حساسات شرائحية مربعة الشكل، توضع في مناطق مختلفة من السطح المتبادل بين القميص و الجزمور حسب الحاجة و الحالة المدروسة و تمتاز بالمواصفات التالية المذكورة في الجدول (1):

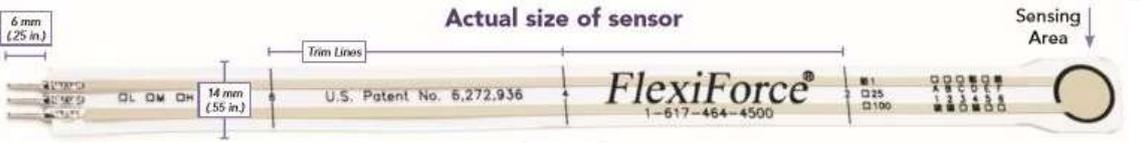
الجدول (1) مواصفات الحساسات الثلاثة ذات الشكل المربع

	[38.1 mm] x [38.1 mm]	المنطقة الحساسة
	[0.46 mm]	السماكة
	1114kpa	مجال تحسس الضغط
	Better than 0.5%	الدقة
	1-2 μsec	زمن الاستجابة
	-30°C to +70°C	درجة حرارة العمل

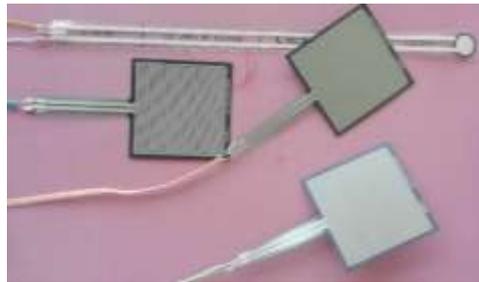
كما تم استخدام حساس رابع إضافي له شكل دائري و سطح حساسية ضيق يفيد في التحديد الدقيق للضغط في مناطق تركيز الضغط ذات السطوح الصغيرة لذلك يتم استخدامه في مناطق الاستناد التي يتوقع فيها ظهور مرتفع للضغط مثل

وتر الرضفة في حالة البتر من ما تحت الركبة و عظم الاسكيوم ( عظم في أسفل الحوض يستند عليه قميص الطرف الصناعي ) في البتر من ما فوق الركبة و له المواصفات المذكوره في الجدول (2) تم وصل الطرف الأول من الحساس إلى التغذية و الطرف الثاني عن طريق مقاومة متغيرة إلى الأرضي و من نفس نقطة الطرف الأول للمقاومة أخذنا الإشارة التماثلية إلى الأردوينو و تم اتباع نفس الإجراء من أجل الحساسات الأربعة الشكل (2) يبين الحساسات الأربعة المستخدمة و الشكل (3) يبين الرسم التوضيحي لوصل الحساسات مع دائرة المتحكم أردوينو و المقاووات الأومية المستخدمة.

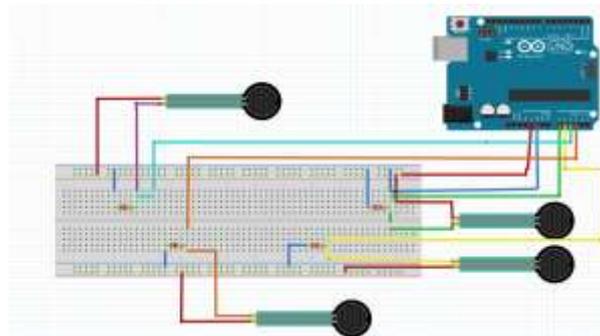
الجدول (2) مواصفات الحساس الدائري رقم 4



السماعة	الطول	العرض	قطر المنطقة الحساسة	زمن الاستجابة
0.203mm	191mm	14mm	0.375 mm	5µsec



الشكل ( 2 ) الحساسات الأربعة المستخدمة في الدارة



الشكل (3) الرسم التوضيحي للدارة المستخدمة

#### 4- تركيب الحساسات:

تم وضع الحساسات الأربعة على أربع مناطق من الجذمور و كل مرة في مستوي مختلف لثلاث مرات و بالتالي سوف نتعامل مع ( حساسات 4\*3 مستويات ) موقعا مختلفا من الجذمور و في كل موقع من هذه المواقع سوف نتعامل مع عشرات القراءات على كامل مرحلة الخطوة .المستويات الثلاثة في حالة البتر من ما فوق الركبة هي: ( مستوي عظم الاسكيوم - وسط الجذمور - أسفل الجذمور ) تم التركيز على منطقة عظم الاسكيوم من خلال استخدام الحساس الدائري الخاص ذو السطح الفعال الصغير من اجل الحصول على قيمة القراءة الدقيقة و ذلك بسبب خصوصية هذه

المنطقة من حيث التصميم الخاص بالقميص حيث تعتبر من النقاط الهامة في التحميل أثناء التصميم و الاستخدام اللاحق للطرف البديل.

#### 5- القراءات:

كل حساس يعطي قراءة واحدة كل جزء بال عشرة من الثانية اذن سوف يكون مخطط الزمن مقسماً إلى أجزاء بال عشرة من الثانية من بداية الخطوة حتى نهايتها تم استخدام أسلاك نقل الإشارة بأقطار شعرية لا تؤثر على السماكات و بالتالي ليس لها أي أثر على تباعد القميص عن الجذمور. تم الاختبار في حالة السير على أرضية منبسطة و هي الأكثر شيوعاً لدى المصابين بالبتر السفلي و لعشر خطوات متتالية و أخذ المتوسط الحسابي لها و تسجيل القراءات و رسم المخططات البيانية لكل حالة من حالات التسامت المختبرة سوف يتم تقييم القراءات من خلال معيارين للضغط الأول يصف الضغط بين منطقة الإسكيوم و منطقة مفصل الورك و الثاني يصف الضغط بين نهاية عظم الفخذ و أسفل الجذمور و هما منطقتان غير قابلتان للتحميل.

#### 6- بيانات المصاب:

تم أخذ المعلومات الأساسية للمصاب و ترتيبها في الجدول (3) وتم الاعتماد على كرونومتر في بعض القراءات و البوصلة الحساسة من أجل معرفة و معايرة تغير الزوايا بدقة .

الجدول (3) البيانات العامة للمصاب:

35	العمر ( سنة )
77	الوزن kg
177	الطول cm
26	طول الجذمور cm
الأيمن	جهة البتر
عامان	مدة الاستخدام
لم يكن يعاني من آفات أو آلام في جذموره.	الملاحظات
لا تقل عن 5 ساعات يومياً	مدة الاستخدام اليومي

هناك أمر هام يجب الانتباه إليه من أجل دقة القراءات و هو الضغط الدائم و المستمر في وضع الراحة و الناتج عن حالة الإرتداء و التداخل بين القميص و الجذمور حيث يجب طرح هذه القيمة من القيمة النهائية في كل منطقة من المناطق الإثنا عشر التي تم قياس الضغط فيها حيث قيست هذه القيم في وضع الجلوس بعد ان قام المصاب بارتداء الطرف الصناعي فوق الحساسات و اخذ القراءات بزوايا ركية تقارب 115 درجة و هي حالة الراحة و ذلك من أجل تسجيل الاجهادات المتبادلة بين القميص و الجذمور كما يظهر في الجدول (4) .

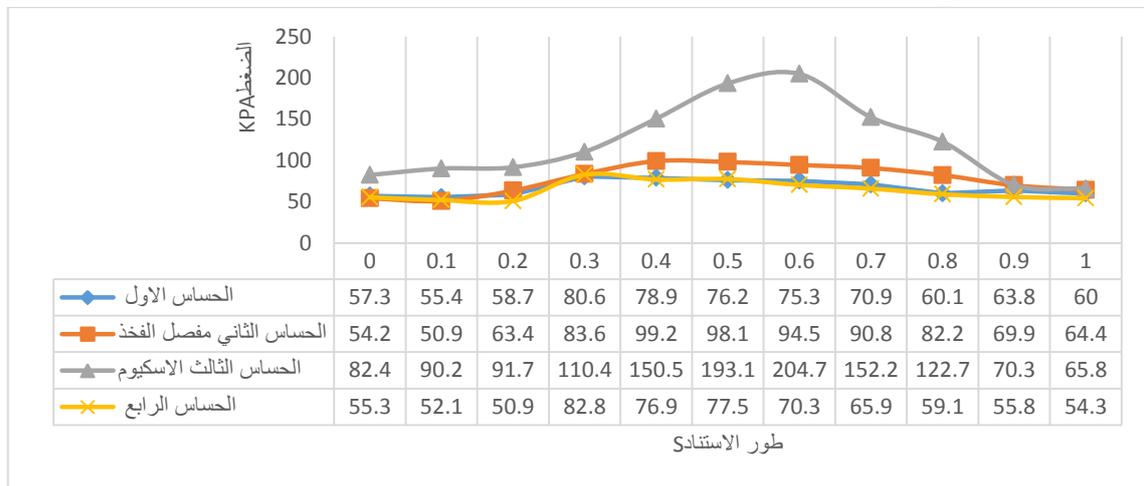
الجدول (4) تأثير التداخل بين القميص و الجذمور في حالة الراحة

الحساس الرابع	الحساس الثالث	الحساس الثاني	الحساس الأول	تأثير التداخل خلال عملية الارتداء $kpa$
0.9	0.5	2.4	1.2	المستوي الاول
0.1	2.7	2.4	3.1	المساوي الثاني
0.8	2.1	2.2	1.6	المستوي الثالث

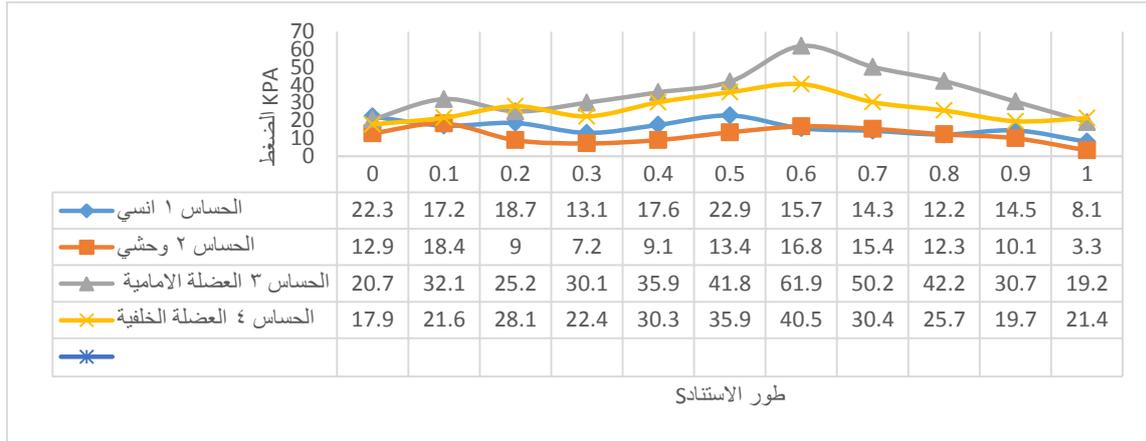
تمت الدراسة على خمس زوايا للتسامت بين محور القميص ومحور الركبة الصناعية و هذه الزوايا هي ( 12 - 14 - 16 - 18 - 20 ) و تحديد قيم الضغط خلال المشي لعشر خطوات و أخذ المتوسطات الحسابية في خطوة واحدة و رسم المخططات البيانية في كل حالة من حالات التسامت السابقة المذكورة .

القدم المستخدمة لدى المصاب من النوع الثابت sach و الركبة من النوع الهيدروليكي ذات القفل الاحتكاكي أما القميص فهو مصنوع من الياف الكربون و راتنج البولي استر غير المشبع و مدعم ببعض القطع من ألياف الكربون . سوف يتم استعراض قيم الضغط على كامل طور الخطوة خلال الزوايا الخمسة التي تمت معايرة التسامت على أساسها في الأشكال ( من 4 حتى 18 ) علماً أن كل زاوية من هذه الزوايا تم استخدامها بشكل تجريبي لمدة يوم كامل من قبل المصاب حسب استخدامه اليومي المعتاد و تسجيل ملاحظاته ومدى الرضى عن الطرف خلال هذا الاستخدام، إن المعايرة لدرجة واحدة في اليوم لم تبدي فروقات واضحة و بالتالي تمت المعايرة على أساس درجتين في كل يوم كما تم ذكره أعلاه.

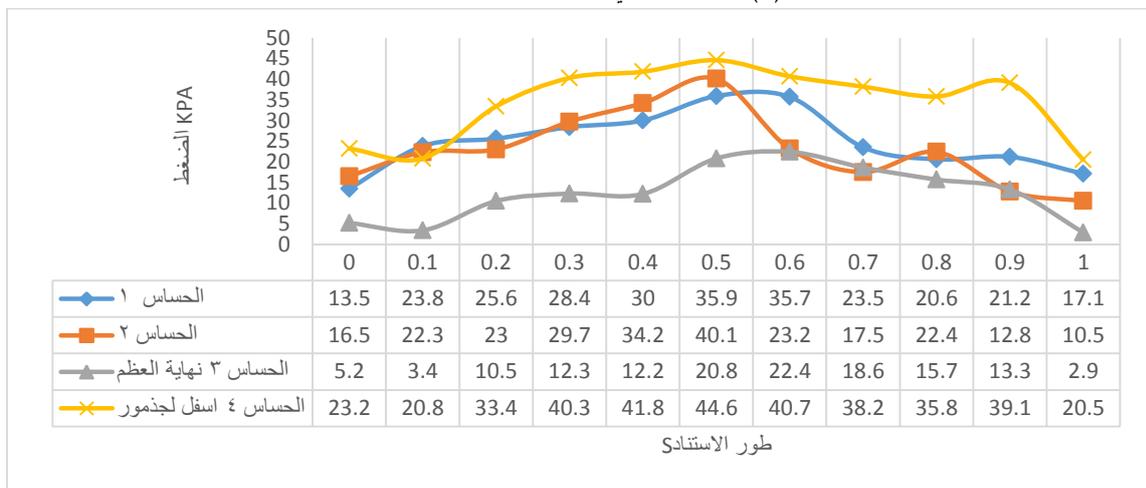
❖ الزاوية الأولى 12 درجة:



الشكل (4) المستوي الأول منطقة الإسكيوم عند الزاوية 12

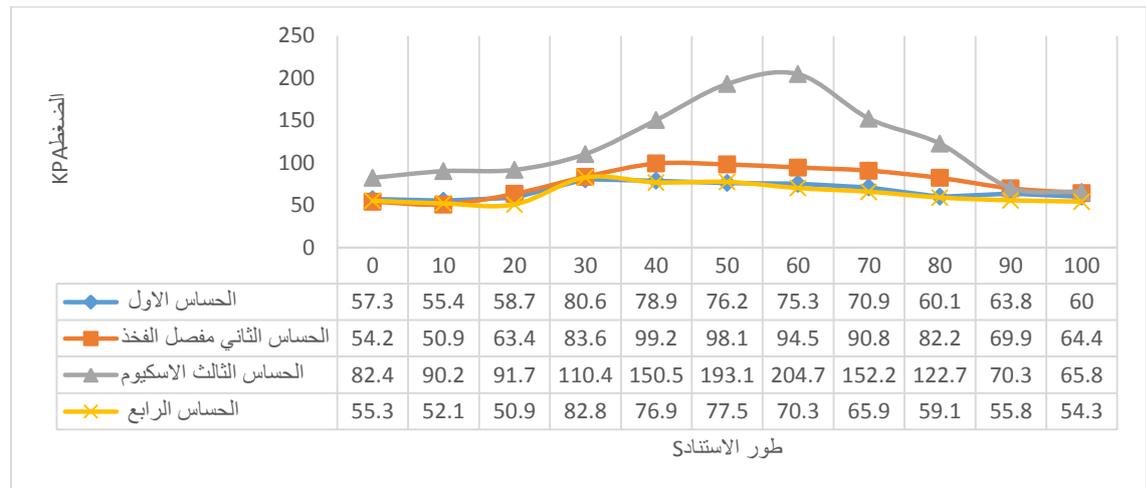


الشكل (5) المستوى الثاني منتصف الجذومر عند الزاوية 12

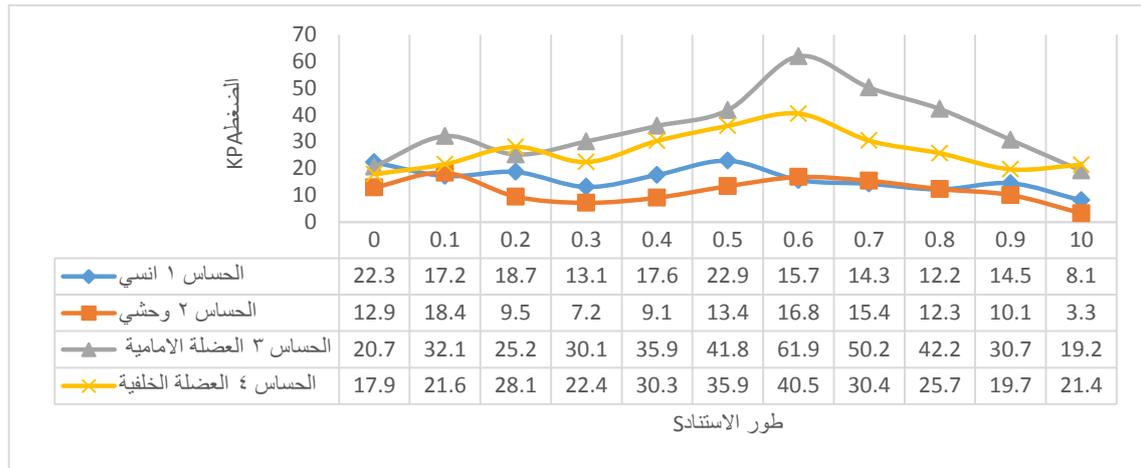


الشكل (6) المستوى الثالث اسفل الجذومر عند الزاوية 12

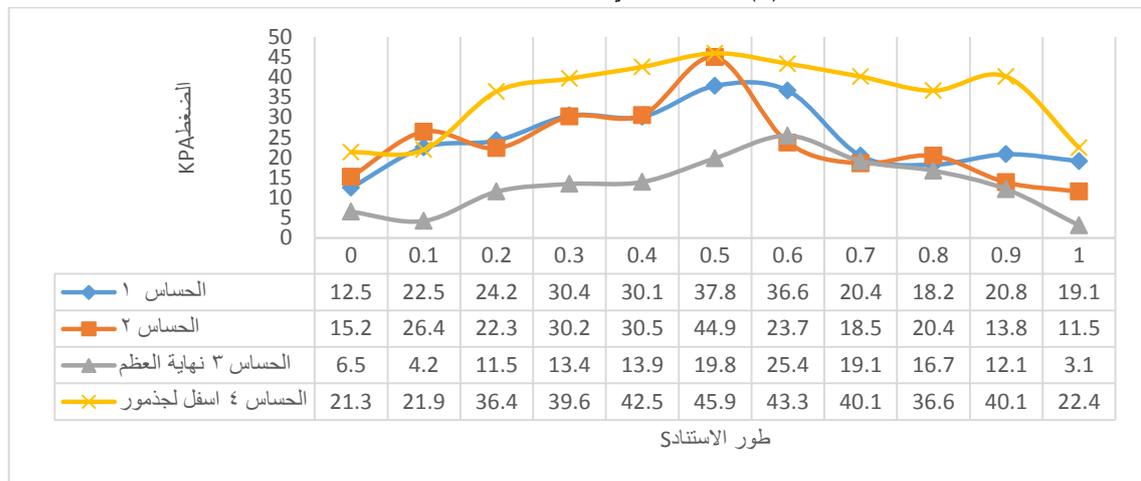
❖ الزاوية الثانية 14 درجة :



الشكل (7) المستوي الأول منطقة الإسكيوم عند الزاوية 14

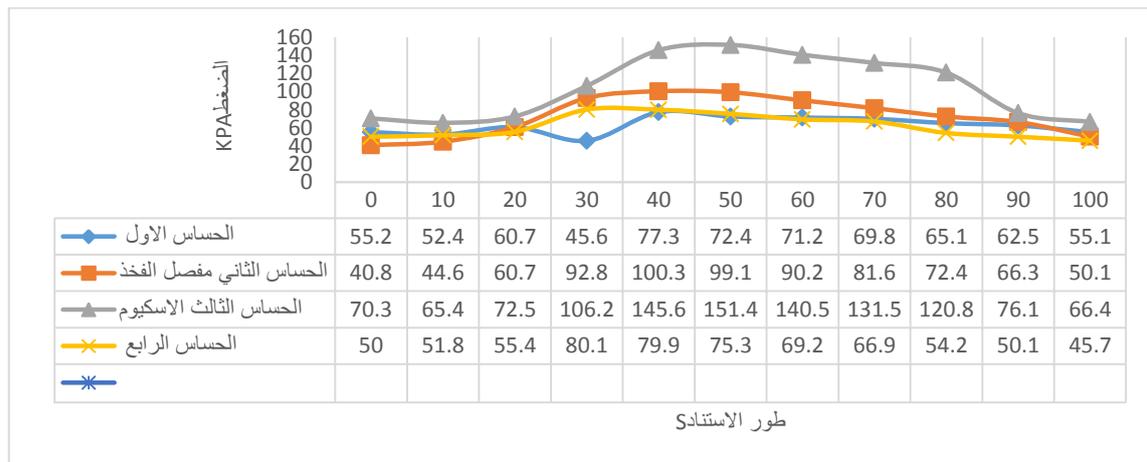


الشكل (8) المستوى الثاني منتصف الجذوم عند الزاوية 14

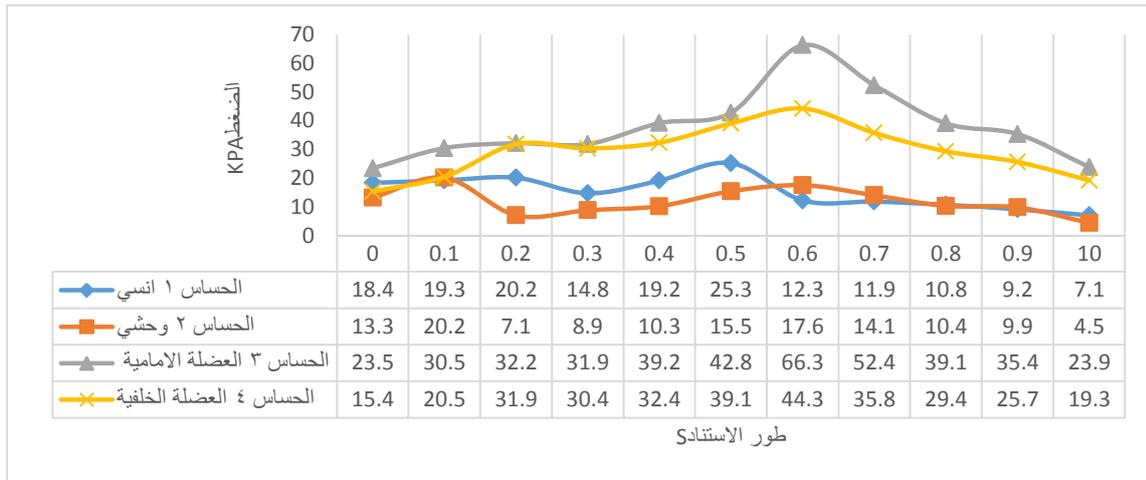


الشكل (9) المستوى الثالث اسفل الجذوم عند الزاوية 14

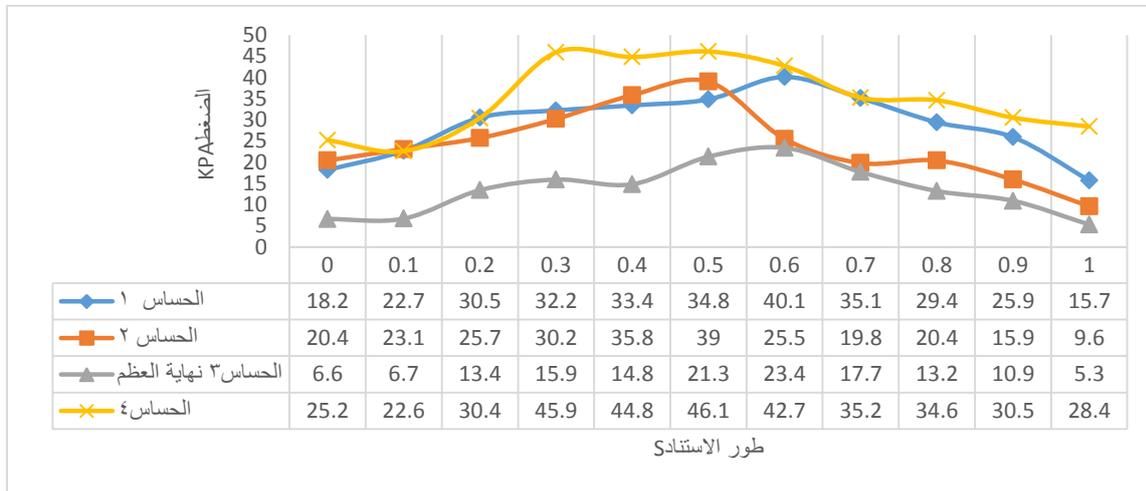
الزاوية الثالثة 16 درجة: ❖



الشكل (10) المستوى الأول منطقة الإسكيوم عند الزاوية 16

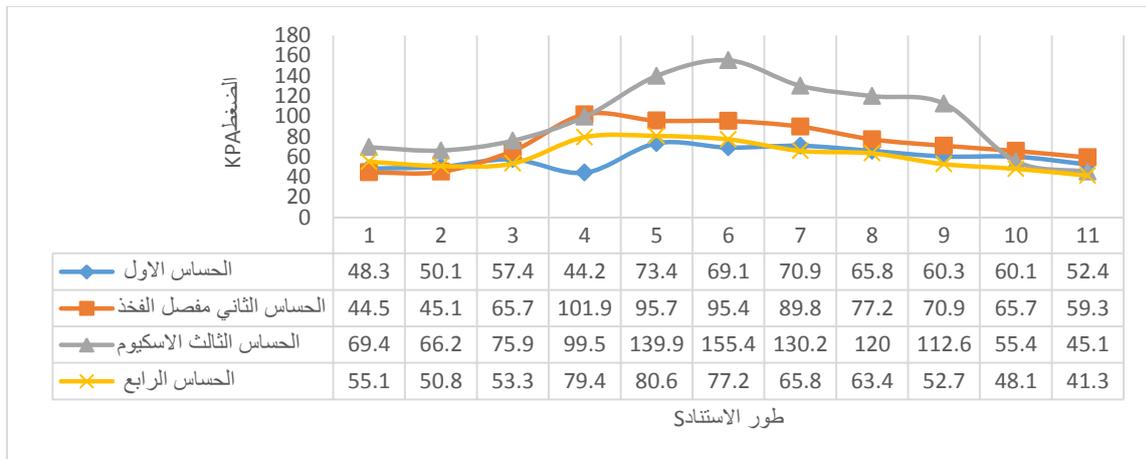


الشكل (11) المستوى الثاني منتصف الجذومر عند الزاوية 16

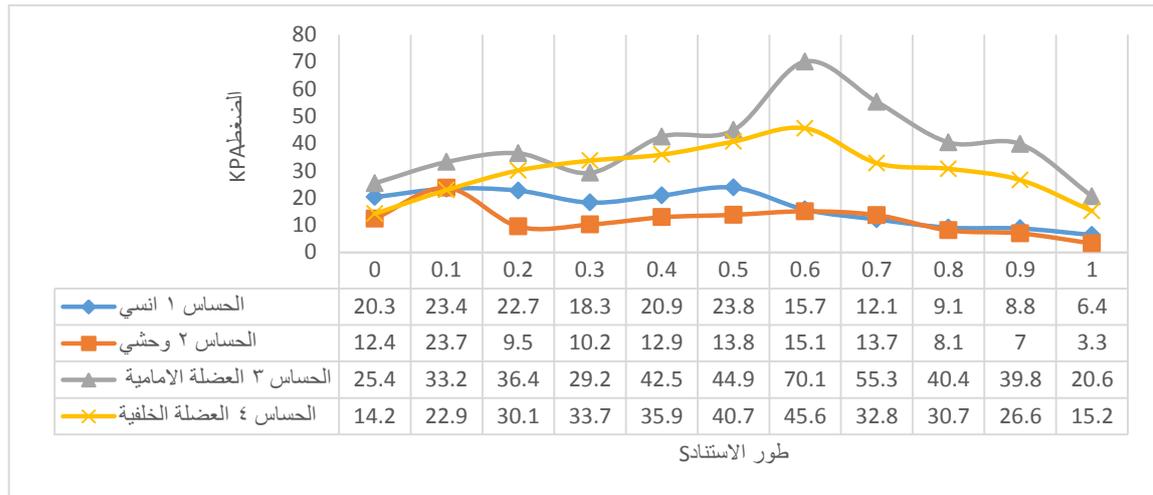


الشكل (12) المستوى الثالث اسفل الجذومر عند الزاوية 16

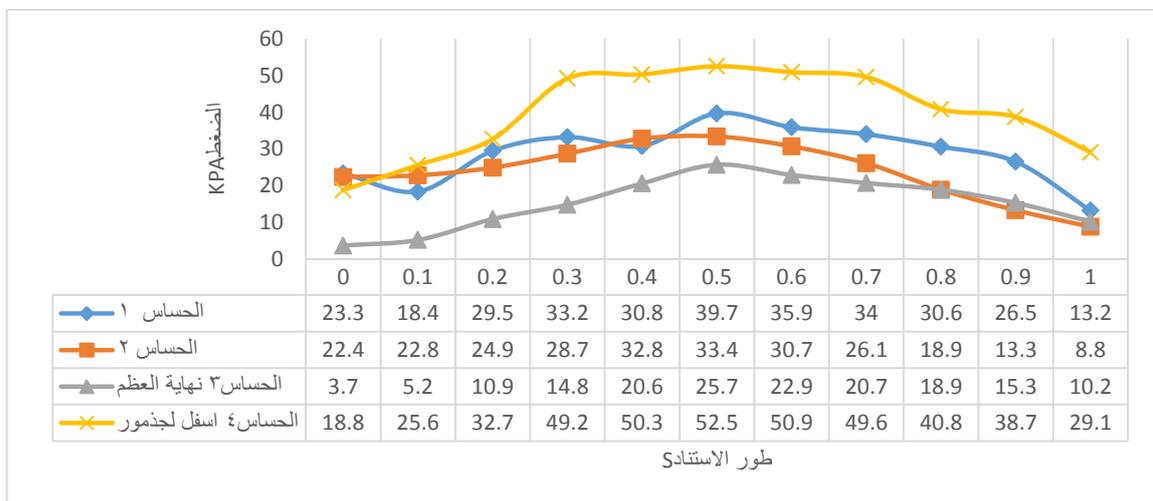
❖ الزاوية الرابعة 18 درجة:



الشكل (13) المستوى الأول منطقة الإسكيوم عند الزاوية 18

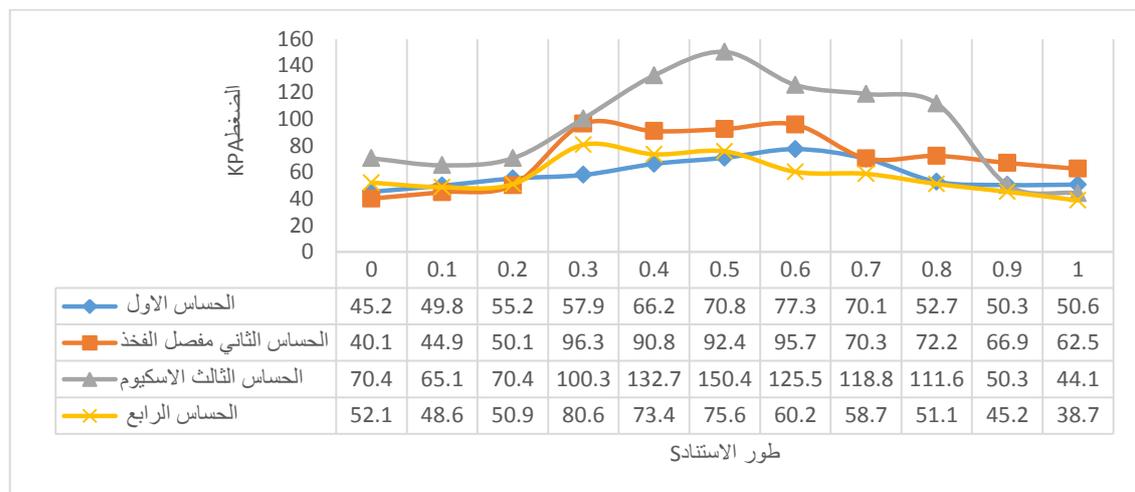


الشكل (14) المستوى الثاني منتصف الجذومر عند الزاوية 18

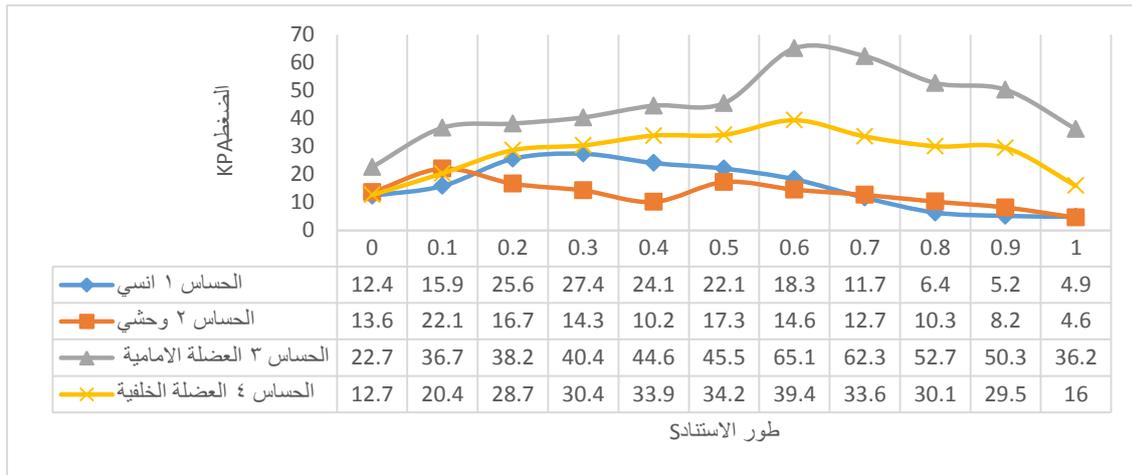


الشكل (15) المستوى الثالث اسفل الجذومر عند الزاوية 18

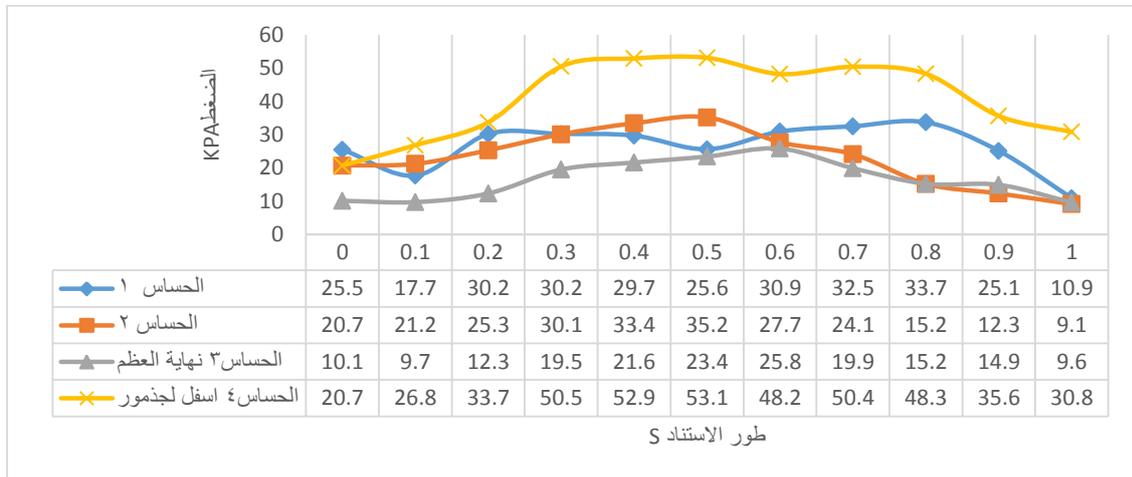
الزاوية الخامسة 20 درجة :  $\diamond$



الشكل (16) المستوى الأول منطقة الإسكيوم عند الزاوية 20



الشكل (17) المستوى الثاني منتصف الجذمور عند الزاوية 20



الشكل (18) المستوى الثالث اسفل الجذمور عند الزاوية 20

### النتائج والمناقشة:

يظهر التركيز في الإجهاد بشكل واضح في منطقة عظم الإسكيوم (المستوي الأول) في الحالات الخمسة المدروسة و هو أمر طبيعي و متوقع حيث أن هذه المنطقة من المناطق القابلة للتحميل حيث أن تصميم القميص يتم على هذا الأساس و كانت القيمة في حدود 160 Kpa في حين كانت القيم في باقي المناطق أقل من ذلك و خصوصا في منتصف الجذمور (المستوي الثاني) و ذروته من مرتبة ال 70 Kpa و تتركز في منطقة العضلة الأمامية و يعود السبب في ذلك إلى الحجم الكبير لهذه العضلة و تقلصها بشكل واضح مما يعطي نوعاً من الضغط الزائد على الحساس بين القميص و الجذمور . تعتبر منطقة (المستوي الثالث) من المناطق الحساسة و الهامة جداً في تصميم القميص و تحدد بدورها كفاءة الطرف الصناعي و جودته و إمكانية استمراره مع المصاب او عدمه، يجب أن تكون القيمة في هذه المنطقة منخفضة قدر الإمكان و هي لم تتجاوز ال 60 Kpa في المنطقة الأمامية من أسفل الجذمور. تمت الاستفادة من القراءات السابقة من خلال وضع معيارين للضغط كما يلي:

## 1- المعيار الأول:

تم فيه احتساب متوسط مجموع قيم القراءات في منطقة الاسكيوم ( الحساس 3 ) لكل حالة و متوسط مجموع قيم القراءات في منطقة رأس الفخذ ( الحساس 2) و حساب الفرق بين القراءتين و اعتباره دليلاً من خلاله نستطيع تقييم جودة قميص الطرف الصناعي حيث أن منطقة الإسكيوم من المناطق القابلة للتحميل بشكل أساسي للبتن من ما فوق الركبة و بالتالي يجب أن يكون الضغط فيها أكبر ما يمكن بينما منطقة رأس الفخذ من المناطق غير القابلة للتحميل و بالتالي يجب أن يكون التحميل فيها أقل ما يمكن و بالتالي فإن قيمة الفرق في الضغط بين هاتين المنطقتين يجب أن تكون أكبر ما يمكن حتى تتحقق قاعدة تحميل الوزن على هاتين المنطقتين و هذه القيمة هي ما قمنا بتسميته المعيار الأول إن هذه القيم مرتبة في الجدول (5).

الجدول (5) قراءات الضغط للحساس الثاني و الثالث عند المستوي الأول و المعيار الأول

الزاوية	متوسط مجموع قيم القراءات في منطقة الاسكيوم ( الحساس 3 ) kpa	متوسط مجموع قيم القراءات في منطقة رأس الفخذ ( الحساس 2 ) kpa	الفرق بين القراءتين ( المعيار الأول )
12	104.2455	72.62727	31.61818
14	121.2727	63.71818	57.55455
16	121.2727	77.38182	43.89091
18	97.23636	73.74545	23.49091
20	94.50909	71.10909	23.4

بلغت القيمة الأكبر للمعيار الأول 57.56 عند الزاوية 14 و بلغت قيمتها 43.9 عند الزاوية 16 بينما تناقصت هذه القيمة عند الزوايا المتبقية للتسامت، كما ذكرنا سابقاً فإن هذه القيمة أو المعيار الأول كما أسميناها يجب أن تكون قيمته أكبر و من أجل التأكد تم استخدام الطرف الصناعي لمدة يوم كامل حوالي الخمس ساعات و تقييم الكفاءة و ذلك عند كل وضعية من وضعيات التسامت الخمسة التي تمت معايرتها و ذلك من أجل مقارنة القيم التي حصلنا عليها من الحساسات و ترتيبها في الجدول (6) و كانت درجة الرضى المثالية من 10.

كان الرضى عن الطرف الصناعي عند الدرجات 14 - 16 مثالية و لم يتم تسجيل أي ملاحظة بينما سببت زوايا التسامت ذات القيم الأقل أو الأكثر من هذه القيمة ألماً في المنطقة الأمامية و الخلفية من أسفل الجذمور مع وجود علامات واضحة للضغط الزائد نتيجة تشكل عزم دوراني زائد في هذه المنطقة.

الجدول (6) رضى المصابين على الأطراف عند كل زاوية من زوايا التسامت

الزاوية	التقييم من 10	الملاحظات
12	5	ألم في المنطقة الخلفية من الجذمور
14	9	ملاءمة تامة للمشي و استخدام يومي يتجاوز الخمس ساعات
16	10	ملاءمة تامة للمشي و استخدام يومي يتجاوز الخمس ساعات
18	6	ألم في منطقة العضلة الأمامية للجذمور
20	5	ألم في أسفل البتير

**2- المعيار الثاني:**

و هو عبارة عن قراءتين الأولى هي متوسط مجموع قيم القراءات في منطقة نهاية العظم و الثانية هي متوسط مجموع قيم القراءات في منطقة أسفل الجزمور حيث أن هاتين المنطقتين يجب أن تكونا في الحدود الدنيا باعتبارهما من المناطق غير القابلة للتحميل مطلقا بالنسبة لنهاية العظم مع الحفاظ على ضغط منخفض جدا في منطقة أسفل الجزمور لأسباب وعائية تتعلق بتنشيط الدورة الدموية و تخفيف التورمات و الالتهابات و هذا المعيار هو عبارة عن قراءتين الأولى في منطقة نهاية العظم و الثانية في منطقة نهاية الجزمور و هذه القراءات مرتبة في الجدول (7).

المعيار الثاني الذي تمت دراسته هو مقدار الضغط على نهاية عظم الفخذ الحر و نهاية الجزمور

الجدول (7) قراءات الضغط للحساسات أسفل الجزمور و نهاية عظم الفخذ

الزاوية	متوسط مجموع قيم القراءات في منطقة نهاية العظم kpa	متوسط مجموع قيم القراءات في منطقة أسفل الجزمور kpa
12	13.56364	35.46364
14	12.48182	34.400
16	13.24545	35.12727
18	15.35455	39.83636
20	16.54545	41.00

يجب أن تكون قيم المعيار الثاني أقل ما يمكن و ذلك يعود إلى أن هاتين المنطقتين من المناطق غير القابلة للتحميل و بالتالي يراعى أثناء تصميم القميص إعطاء الراحة في هاتين المنطقتين حيث بلغت القيمة لمتوسط مجموع قيم القراءات في منطقة نهاية العظم عند الزاويتين 14 و 16 على التوالي 12.48182 - 13.24545 و هي أخفض من القيم عند باقي زوايا التسامت و بلغت قيم متوسط مجموع القراءات في منطقة أسفل الجزمور عند الزاويتين 14-16 درجة على التوالي 34.400 - 35.12727 و هي أخفض من القيم المنخفضة عن باقي زوايا التسامت و هذا يؤكد ما ورد في الجدول (6) و الذي يعبر عن رضى المصابين عند كل زاوية من زوايا التسامت.

**الاستنتاجات والتوصيات:****الاستنتاجات:**

- ❖ القيم المرتفعة للضغط في المنطقتين الامامية و الخلفية من الجزمور يعود بشكل رئيسي إلى تقلص العضلة الفخذية الامامية و الخلفية و بالتالي زيادة واضحة في الحجم مما يسبب نوعا من الضغط الاضافي على الحساسات في هذه المناطق عند المستويات الثلاثة المدروسة.
- ❖ ان التوافق بين العمل التجريبي من خلال تركيب الحساسات و اخذ القراءات و الحصول على معايير توزع الضغط من جهه و ما بين رضى المصابين عن زوايا التسامت من جهة أخرى إنما تشير إلى إمكانية الاعتماد على نظام الحساسات في مرحلة التسامت و اصطفاك الطرف الصناعي النهائية التي يقوم بها المهندس أو فني الأطراف الصناعية قبل وضع الطرف في الخدمة من خلال حساب معاملات الضغط التي وضعناها في البحث و اعتماد الزوايا

الملائمة لكل حالة من الحالات المدروسة بالاعتماد على فرق الضغط الأعظمي بين المناطق القابلة للتحميل و المناطق غير القابلة للتحميل.

❖ ان الغاية من هذه العملية ليست فرض زاوية ثابتة و اعتبارها هي الزاوية الأمثل لجميع الحالات لان هذا الأمر مرفوض تماما فيما يخص مواضيع الأطراف الصناعية آخذين بعين الاعتبار الاختلافات في الأشخاص من حيث العمر و الجنس و الحالة الصحية و الوزن و طول الجذمور أي ان لكل مصاب زوايا تسامت ثلاثم حالته بشكل لا يسبب إساءة لمظهر المشي لديه، و بالتالي فإن استخدام الحساسات في حساب الضغط يمكننا من التنبؤ بزوايا التسامت الأمثل لاصطفاف الطرف الصناعي سواء للبتر من ما تحت الركبة او من ما فوق الركبة من خلال التحديد الدقيق للزوايا التي تعطينا التوزع الأمثل للضغط.

❖ ان السبب في انخفاض قيم الضغط بين القميص و الجذمور في حالة البتر من ما فوق الركبة عن القيم المتوقعه يعود للأسباب التالية:

- مساحة سطح التماس الكبير بين القميص و الجذمور مما يؤدي إلى توزع القوى على مساحات أكبر وبالتالي انخفاض قيم الضغط.
- الانسجة الرخوة في البتر من ما فوق الركبة و كمية العضلات الكبيرة مقارنة بالبتر من ما تحت الركبة.
- وجود بروزات عظمية و نهايتي عظم بالبتر من ما تحت الركبة بينما البتر من ما فوق الركبة تقتصر فيه الحالة على عظم الفخذ فقط.

#### التوصيات:

- 1- اختبار المشي في بيئات مختلفة
- 2- اجراء عمل مشابه لحالات البتر من ما تحت الركبة
- 3- اجراء عمل مشابه للبتر من ما تحت الركبة و تحديد مناطق الضغط المنخفض و المرتفع و معايير الكفاءة للطرف الصناعي .
- 4- اجراء عمل مشابه في حالة البتر العلوي و تحديد مناطق الضغط المنخفض و المرتفع و معايير الكفاءة للطرف الصناعي .
- 5- الاستفادة من القيم التي تم الحصول عليها في البحث من خلال ربطها مع بعضها و خلق معايير جديدة تحدد كفاءة الطرف بتحديد قيم و حدود الضغط بين القميص و الجذمور .
- 6- دراسة تأثير زوايا التسامت على خط الحمل و انزياحه.

#### References:

- 1- SAMIRA,K ,R ؛ HAIDER ,F2008 *Analysis of A below Knee Prosthetic Socket Material Journal of Engineering and Development* . Vol. 12, No. 2 ,127-136.
- 2- DINDIRIZZO, C, CH ؛ RIZZI ,C .*Knowledge-based design of lower limb prosthesis* Direttore della Scuola. Università degli Studi di Padova, INGEGNERIA DELLA PRODUZI CICLO XXIII.

- 3- LASZCZAK, P; MCGRATH, M, A; TANG, J,A; GAO, A, J; JIANG, A, L; BADER, B ,D; MOSERD,L . *A pressure and shear sensor system for stress measurement at lower limb residuum/socket interface*. a Faculty of Engineering and the Environment, University of Southampton, UK . 3 April 2016. *Medical Engineering and Physics* 38 695–700.
- 4- ALI, I; KUMAR, R; SINGH, Y 2014 *Finite Element Modelling and Analysis of Trans-Tibial Prosthetic Socket* Global Journal of Researches in Mechanical and Mechanics Engineering. Vol 14 22-29 .
- 5- KUMAR, L, P; CHOUDHURI, A, R 2011 *Analysis of trans tibial prosthetic socket materials using finite element method* Journal of Engineering. Vol. 31, No. 3, 762-768
- 6- RAITUKOVA, V,A, MICHALIKOVA, M, A, BWDNARCICOVA, L. A, BALOGOVA, A. A, ŽIVCAK, J. A 2014 . *Modelling of Mechanical and Mechatronic Systems*, Procedia Engineering, VOL . 96. 382 – 391.
- 7- WINSON C,C ; LEE, A; MING ,Z, A; XIAOHONG ,J; JASON ,T,M. *Finite Element Modeling of the Contact Interface Between Trans-Tibial Residual Limb and Prosthetic Socket* . 2004 Elsevier. Published in Medical Engineering and Physics 26(8):pp.655-662
- 8- XIAOHONG, J.MING, Z. WINSEON, L 2004 *Load transfer mechanics between trans-tibial prosthetic socket and residual limb-dynamic effects* University of Wollongong, VOL 19 230-245.