تحليل الصلابة لمقعد من مصر القديمة باستخدام طريقة العناصر المحددة
Stiffness Analysis of a stool from Ancient Egypt Using Finite Element Method

د. أماني أحمد مشهور
أستاذ مساعد، قسم التصميم الداخلي والأثاث، جامعة دمياط، مصر.
نانسي طلـــــعت زغلول
معيــد، قسم التــصميم الداخـــلي والأثاث، جامعة دمياط، مصر.

ملخص البحث Abstract:
إن تصميم الأثاث لا يقوم فقط على دراسة الشكل وعلاقته بالجانب الشخصي والاجتماعي والثقافي للمصمم ولكنه يحتاج إلى دراسة الخامة وخصائصها وعلاقتها بالشكل والأحمال والقوى الواقعة عليها، في سبيل الوصول إلى منتج ذو جودة عالية دون هدر للخامة في عمل اختبارات على منتجات الأثاث. وتعد مصر القديمة واحدة من أقدم الحضارات التي عرفتها البشرية، والتي كانت أولى الحضارات التي قامت بالدراسة والتنقيب في مختلف الفنون. ودائما ما كان يتم البحث عن التقنيات المتقدمة للتطوير في مختلف المجالات والأغراض العامة كإنتاج الأثاث. فأثاث مصر القديمة قد بقي إلى يومنا هذا محتفظا بنفس القدر من الصلابة. فمازالت تستخدم في العصر الحالي مبادئ النجارة الأولى التي ابتكرت في مصر القديمة. ولذلك فإن هذا البحث يهدف إلى عمل تحليلات الصلابة لمقعد من أثاث مصر القديمة باستخدام المنهج التاريخي والمنهج الوصفي وكذلك المنهج التجريبي باستخدام طريقة العناصر المحددة . استخدمت طريقة العناصر المحددة لعمل تحليلات الصلابة للمقعد باستخدام برنامج الكومبيوتر . ©ANSYS وبناء على تلك التحليلات فقد تم التوصل إلى عدد من الملحوظات العملية. فأثاث مصر القديمة قد صمم مع الأخذ بعين الاعتبار الجوانب الجمالية والجوانب الوظيفية والجوانب المتعلقة براحة الإنسان. فقد استخدم المصريين القدماء الشيكال المنخفض في الأثاث من أجل تحقيق صلابة أكثر. وقد قاموا بتطوير تعشيقة النقر واللسان بشكل رأسي وهو ما يسمح بزيادة الصلابة في الأثاث بشكل كبير عن غيرها الأفقية. وقد استخدمت قاعدة التثليث الإنشائية في الأثاث الخاص بهم لتصميم أثاث اخف واكثر صلابة. وكانت هذه النتائج بمثابة الأساس الجيد للتنقيب عن المزيد من الدراسات للأثاث مصر القديمة للاستفادة منه عند تصميم الأثاث المعاصر.

كلمات دالة Keywords:
تحليلات الصلابة
Stiffness analysis
طريقة العناصر المحددة
Finite Element Method (FEM
التصميم المقعر
Concave design
الأشغال الشبكية
Lattice work
قاعدة التثليث.
Triangulation

Paper received 11th July 2017, accepted 18th August 2017, published 1st of October 2017

مقدمة Introduction:

لقد مر الأثاث عبر مختلف العصور بتغييرات كثيرة في الطراز المستخدم، إلا أن البنية الأساسية له لم تتغير منذ ألاف الأعوام. بدأت تلك الأنواع التي نستخدمها في وقتنا هذا في الخروج للحياة في مصر عام 2560 ق.م. ففي عهد بناء أهرامات الجيزة كانت مصر واحدة من أكثر الحضارات تقدما وإنتاجا في جميع المجالات الحياتية . فقد وجدت عناصر التصميم والقطع التي نراها الأن في جميع الأشكال والأنواع. وهي بذلك وضعت اكثر من مثال سواء في الفنون أو العمارة أو العلوم واكثر من ذلك. لقد خلص أول من زار مصر في العهد الحديث إلى أن المصريين امتلكوا مهارة خاصة في الكثير من المجالات بما فيها مجال الميكانيكا والهندسة. , (PERROT, et al., 1883) (Pynt et al., 2010) أن اللغة الهيروغليفية القديمة وتسجيل الأحداث قد أعطى الباحثين المعاصرين أفكارا وحقائق عن أنشطة حياتهم اليومية. لقد سجلوا وجود الأثاث في معظم أو كل أنشطتهم الحياتية.

الأثاث في مصر القديمة مميز ومبهر لسببين. إن السبب الأول هو أن أثاث تلك الحضارة – بخلاف غيرها من الحضارات الأخرى - قد عاش لزماننا هذا وظل في حالة جيدة. والسبب الثاني هو الحرفية العالية والتصميم الذي وجد عليه. (Fischer, 1996) ولهذه الأسباب فأثاث مصر القديمة يعد مصدر أساسي للمعلومات في مجال تصميم الأثاث وهيئته البنائية في العالم القديم. إن المصريين القدماء قد قاموا باختراع الأثاث لكل الأغراض بما فيه من التعاشيق والوصلات التي تستخدم في العصر الحالي كالنقر واللسان، الغفاري، وغيرها . وهذه الفنيات وحدها سمحت بإبداع قطع أثاث جميلة التكوين وخالدة والتي لم توجد في أي مكان في العالم في ذلك الوقت. وخلال هذه المرحلة أيضا ابتكر المصريين القدماء تكنولوجيا الثني بالبخار، الماركيتري، التغطية بالقشرة الخشبية وأيضا استخدموا العديد من الخامات النفيسة (Black, 2011) .

إن تصميم الأثاث فن تطبيقي يتطلب المعرفة بالعديد من المجالات والتي تدخل في صميم ذلك الفن، كان حتما أن يؤخذ في الاعتبار أثناء تصميم الأثاث ليس فقط الشكل الجمالي والاعتبارات الوظيفية، بل وأيضا المتطلبات اللازمة لتحقيق القوة والصلابة في البنية. فمن اجل إعطاء فكرة شاملة عن الأثاث في مصر القديمة لابد أن يتم دراسة هذا الأثاث وبنيته والأجزاء والعناصر المكونة له. فالبنية والخامة ، والتقنية لابد وأن يتم دراستها كلا على حدة. للحصول على معلومات قيمة للاستخدام في الوقت الحالي لابد وأن يتم اتباع تحليلات منهجية. للوصول إلى معلومات ضرورية يمكن اللجوء الهيا في الدراسات والأبحاث المستقبلية.

يصنف الأثاث بجميع فئاته تبعا لهيئته البنائية إلى فئتين رئيسيتين وهما الأثاث الهيكلي وأثاث المسطحات. وحيث أن الأثاث الهيكلي هو الاوسع انتشارا واستخداما، فان المقعد بشكل خاص يعكس مثال خالد وجيد للأثاث الهيكلي في مصر القديمة لما فيه من قيم تصميمية مع بساطة التكوين، مما القى عليه الضوء ليكون محلا لهذه الدراسة. فبالرغم من ابتكار العديد من أنواع وأشكال الأثاث على مر التاريخ المصري. إلا أن المقاعد هي الأكثر انتشارا واستخداما في البيت المصري القديم و في مجال العمل على حد سواء. وقد تطورت تلك المقاعد فيما بعد لتكون في هيئة المقعد وتعددت أنواع وجودة تلك المقاعد تبعا لمكانة المالك (Killen, 1994). ولدراسة المقعد من أثاث مصر القديمة بشكل دقيق ومفصل قامت تلك المحاولة لتحليل الهيئة البنائية له لمعرفة مواطن الضعف والقوة في البنية. وتعرف الهيئة البنائية على أنها مجموعة من الأجزاء او العناصر التي تجتمع بشكل أو آخر لتحـــــقيق القوة والثبات تجاه الأحمال المختلفة . (Sección Bilingüe del IES Pedro de Valdivia) .

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

أهداف البحث Objectives:

إن الهدف من هذه الدراسة هو محاولة الوصول لمفاهيم متعلقة ببنية الأثاث والخروج بقيم تصميمية من مصدر تاريخي غني كمصر القديمة وذلك عن طريق تحليل الصلابة لبنية الأثاث في مصر القديمة بمختلف مكوناتها، ومقارنة النتائج لتحديد تأثير الشكل على الصلابة في البنية. فقد تم عمل تقديرات تقريبية لحسابات النتائج الخاصة بصلابة البنية باستخدام طريقة العناصر المحددة .

استخدمت طريقة العناصر المحددة لتحليل هياكل الأثاث الخشبي. تم تحديد تأثير الشكل الهندسي على سلوك البنية للمقعد في هذه الدراسة باستخدام هذه الطريقة. وتم إجراء هذا البحث على مقعد من مصر القديمة مصنوع من الخشب يرجع إلى سقارة عام 1539 – 1295 ق.م. هذا المقعد مطابق في الشكل والهيئة لاثنين من بين أربعة مقاعد وجدت في مقبرة الملك توت عنخ أمون وهو أيضا مواز لعدد من المقاعد الأخرى من مقابر خاصة للأسرة الثامن عشر. (Brooklyn) .

منهج البحث Methodology:

استخدم المنهج التاريخي في تجميع المادة العلمية والمنهج الوصفي والتحليلي في تحليل الشكل والخامة والهيئة بالإضافة إلى استخدام المنهج التجريبي. أجريت الدراسة على احد نماذج المقاعد الموجودة في أثاث مصر القديمة لعمل تحليلات الصلابة. وبناء عليه فقد تم تعيين مواضع القوة في المقعد من خلال تحليل صلابة البنية الخاصة به باستخدام طريقة العناصر المحددة حيث دراسة تأثير الجلسة المقعرة والدعامات في الفراغ ما بين الجلسة (الأعمال الشبكية) والشيكال بالإضافة إلى تعشيقة النقر واللسان الراسية ما بين الأرجل والجلسة. وقد تمت مقارنة نتائج التي تم الحصول عليها من كل حالة بالنموذج الأصلي للمقعد.

الإطار النظري Theoretical Framework:

- **طريقة العناصر المحددة لتحليل الهيئة البنائية للأثاث**

أن الأثاث يوجد في العديد من الأشكال والهيئات المختلفة يصعب تحليل القوى والأحمال عليها حسابيا وذلك يرجع إلى طبيعتها المعقدة. وللتعامل مع مثل هذه الحالات، يتم الاتجاه إلى التحليل الرقمي باستخدام الحاسب الآلي. وهناك أسلوبين أساسيين من الطرق الرقمية لتحليل الهيئة البنائية وهما طريقة العناصر المحددة Finite element method وطريقة الاختلاف المحددة Finite difference method. وفيما يتعلق بالأثاث يتم استخدام طريقة العناصر المحددة.

تستخدم طريقة العناصر المحددة في التحليل الرقمي للهيئة البنائية والعناصر المكونة لها لتمثيل الوظيفة الكلية بشكل متكامل. وتعد طريقة العناصر المحددة طريقة لتحليل سلوك الخامة والنظام بأكمله تحت تأثير مختلف العوامل الخارجية (القوى، الحرارة، الكهرباء..... الخ). واستخدمت هذه الطريقة لحل المشكلات الهندسية فقط تحديدا بدايات عام 195. إلا أنها تلقت المزيد من الاهتمام خلال العقود الماضية حيث أنها أداة شاملة وقوية تساهم في تحقيق حالة من الاتزان في النظام بالكامل . وفيها تتم عملية تمثيل البنية عن طريق نمذجتها بحيث يتم تقسيمها إلى نظام مكافئ من العناصر الأصغر، وفيها تحليل البنية يشير إلى تحديد مقدار التحرك لكل نقطة (الإزاحة) والإجهادات داخل كل عنصر والتي تمثل مجتمعة سلوك البنية المعرضة للأحمال.

وفيما يتعلق بالأثاث فيعتبر مصممي الأثاث عالميا أن طريقة العناصر المحددة هي طريقة جيدة لتحليل البنية حيث يمكن نمذجة جميع عناصر القطعة عن طريق المحاكاة الرقمية ومن ثم تجرى التعديلات المطلوبة بسهولة عن طريق الوسائل المتوفرة من خلال تلك النمذجة، وبالمثل حسابات الأحمال على المنتج المصمم (Nurgul Tankut, 2014) فعن طريق استخدام برامج الحاسب الآلي يتم تحليل انتشار القوى والإجهادات الداخلية في عناصر البنية، والذي يسمح بالتأكد من قوة النظام لمقارنة عدة متغيرات على نفس النظام. وحيث تعد الأخشاب ذو أهمية خاصة بالإضافة إلى أن مصادرها عرضة للاستنزاف مما يجعل استخدام الخامة بشكل أكثر كفاءة ضرورة ملحة. وبشكل عام فانه من الهام جدا تعريف خصائص خامة الخشب بشكل صحيح خلال هذه التحليلات الهندسية إلى بيئة الحاسب الآلي لتطوير حل ملائم لهذا الغرض.

أن الخامة المستخدمة محور رئيسي في مدى تحمل المقعد للأحمال الواقعة عليه تبعا لاختلاف النوع. أيضا النوع الواحد قد تختلف خصائصه نتيجة لزراعته في بلد عن أخرى وكذلك من فترة زمنية لأخرى. بالإضافة إلى طبيعة التربة التي تختلف من مكان لأخر. مما قد يسبب اختلافات كبيرة لطبيعة الأخشاب المستخرجة من تلك الغابات. وكذلك قد تختلف الأخشاب في طبيعتها من شجرة لأخرى نتيجة اختلاف أبعاد هذه الشجرة وعمرها وعدد فروعها وتتالى الحلقات العمرية وبالتالي خصائص الألياف بها. كذلك في نفس الشجرة قد تختلف خصائص جزئية عن جزئية أخرى نتيجة اختلاف موضع التغذية بالنسبة للجذور واختلاف مواضع الألياف وطريقة قطع الشجرة واستخراج الألواح الخشبية منها. كذلك أن نفس القطعة قد تختلف في خصائصها عبر الزمن لتفاعلها مع الطبيعة والمؤثرات المناخية لتكتسب رطوبة أو خامة معينة (و ذلك لمسامية خامة الخشب) أو قد حسب طبيعة المكان الموضوعة فيه.

إن الأثاث إنما يصمم بالشكل الصحيح ليؤدي الوظيفة المنوطة به على الوجه الأمثل ودون التعرض لأي مشكلات خلال عملية التشغيل. وللتأكد من ذلك في الواقع الحقيقي يتم عن طريق تنفيذ نموذج للتصميم " prototype" ومن ثم تتطبق عليه اختبارات الأداء، والذي يعد خطوة خامة جدا في عملية التصميم والتي تعد غير مفعله بالشكل الكامل في مصر وبالأخص في محافظة دمياط (بدر، 2016). لكن هذه المرحلة تكلف المصمم الكثير من الجهد والوقت خاصة وأن تم التعديل على التصميم لأكثر من مرة إلى أن يلاقي متطلبات التصميم، بالإضافة إلى تكاليف إنتاج ذلك النموذج، وأيضا إمكانية إنتاج اكثر من نموذج حتى الوصول للمنتج النهائي، إنتاج اكثر من نموذج باختلاف الخامة. (Ioannis Ntintakis, 2013) لذلك فإن طريقة العناصر المحددة للتصميم هي الخطوة الأكثر ملائمة وفعالية من حيث توفير الوقت والجهد والمال بالإضافة إلى المرونة في عمل التصميم وتعديله.

يعد الهدف النهائي من هذه العملية هو تفسير وتحليل النتائج لاستخدامها في عملية التصميم. وتحديد أماكن حدوث أكثر التشوهات والإجهادات في البنية نتيجة الأحمال الواقعة عليها يعد جزء هام لاتخاذ قرار التصميم. (Logan, 2007) حيث يتمكن المصمم من محاكاة التصميم وأحمال التشغيل وتعديله تبعا لمتطلباته مع الحفاظ على القدر الكاف من القوة والصلابة بواسطة جهاز الحاسب الآلي الشخصي الخاص به ومن ثم إخراج تصميم ناجح مكتمل التفاصيل جاهز للتنفيذ . حيث أن برامج التحليل الإنشائي قد سمحت بمحاكاة المنتج محل الدراسة بدءا بعملية النمذجة للشكل الواقعي إلى تحديد أوضاع الاستخدام وتطبيق الأحمال ومن ثم الخروج بالنتائج، فقد حدث التحام بين أنظمة التصميم بمساعدة الكومبيوتر، وطريقة العناصر المحددة ولم تعد هناك الحاجة لعمل نموذج مادي واختباره.

و بالرغم من أن تصميم الأثاث يقوم في معظم الأحوال على الخبرات والتقاليد المتبعة في الصناعة. حيث انه لا يقوم احد الصناع بتحليل القوى الداخلية داخل عناصر البنية. قام مجموعة من الباحثين بإبداء الاهتمام في الموضوع وكان أول من قام بذلك هو Eckelman عام 1967. فقد قدم مفهوم هندسة التصميم وتصميم القوة لمجال الأثاث لأول مرة. فقد وضح أن الأثاث يمكن وأن يصمم بناء على اعتبارات القوة كغيره من الإنشاءات والمباني. (Eckelman, 2003) فأوضح لأول مرة أن المقعد يمكن أن يتم تحليله بناء على الأحمال. وأوضح أن تصميم الصلابة للأثاث يقوم أولا على تحديد قيم الأحمال الخارجية على البنية، ثم تحديد انتشار القوى الداخلية ومن ثم حساب أبعاد العناصر والتعاشيق بطريقة

رياضية في كلا من الأثاث الهيكلي وأثاث المسطحات، فقد كانت عملية تحليل بنية الأثاث بشكل دقيق عملية معقدة حسابيا. وقام بدراسة وتطوير العديد من التعاشيق الفنية المستخدمة في الأثاث الهيكلي وأثاث المسطحات، بالإضافة إلى ذلك قام بدراسة الصلابة في طبقة الغراء وتأثيرها على الصلابة في البنية. (Analysis and design of furniture frames, 1969) وقد قام أيضا بعد بتطوير مجموعة من برامج الحاسب الآلي لتحليل وتصميم هياكل الأثاث. (Eckelman, 1970).

و لحقه العديد من الأبحاث التي تحدثت عن ميكانيكا الأجسام الصلبة والأثاث بواسطة فريق عمل في بولندا بقيادة Smardzewski، والذي قدم بالمثل أبحاث ومنشورات غاية في الأهمية (Jerzy Smardzewski، 2011)(Smardzewski, 1998) . قان وفريقه بنشر العديد من الدراسات والتي تعاملت مع طريقة العناصر المحددة. وقد كان الهدف من تلك الدراسات هو تحديد أبعاد العناصر والتعاشيق في حين توفر القدر الكاف من القوة والحد الأدنى من الخامة المستخدمة. أيضا قام باتخاذ الصلابة كأداة للتصميم وبدأوا في تحليل ودراسة مختلف خصائص التعاشيق بالعديد من المتغيرات على البنية (Kasal, Ali ; Smardzewski, Jerzy ;, 2016) (Smardzewski, 2004) .

قام ايضا كلا من Kasal and Puella (1995) بفحص التحليلات والاختبارات المعملية الخاصة بالكراسي والأرائك وارف الكتب. بالإضافة إلى ذلك، قد قاموا بدراسة التعاشيق ما بين العناصر الخشبية في المقعد بالتفصيل. وأخرين قاموا بدراسة أثاث المسطحات. (Mohammad Derikvand, 2014). واثبت في العديد من الدراسات أن الطريقة الرقمية كطريقة العناصر المحددة تعد فعالة وقابلة للتطبيق على الهيئة البنائية لتصميم الاثاث (Seid Hajdarević, 2015) (DŽINČIĆ) (Mehmet Nuri Yildirim, 2015) (Nurgul Tankut, 2014).

- **تصميم وبنية المقعد**

وجد الأثاث الجنائزي في أثاث مصر القديمة في المقابر حتى نهاية الدولة الحديثة. وكانت هذه دائما ما تعد محاولة لجلب المصريين متاعهم معهم إلى الحياة الأخرى. (Brooklyn) فاستخدم المصريين القدماء عدد من أنواع أثاث الجلوس بدءا من المقاعد المنخفضة إلى المقاعد القابلة للطي والكراسي ذات مساند الظهر واليد. (Egypt) أن تطور هذه الأغراض العملية البسيطة قد أدى إلى إبداع أنواع جديدة من الأثاث. (PEPLER-HARCOMBE, 2011) إلا أن المقعد يعد النوع الأكثر استدامة وانتشارا من قبل المصري القديم في حياته اليومية. بالرغم من ذلك، فقد وجدت الأدلة القاطعة على استخدام المقاعد من قبل الأثرياء في الأسرة الثامنة عشر . (Pynt , et al., 2010)

شكل 1: مصر القديمة ,مقعد ,سقارة, 1539-1295 ق.م. .مقعد خشبي .متحف بروكلين.

إن بنية المقعد محل الدراسة على درجة عالية من الدقة في التصميم حيث تتكون من اربع ارجل رفيعة اتصلت من الأسفل برأس أفقية ومن الأعلى على رأس الجلسة المقعرة. لقد تم ملئ الفراغ في المنطقة ما بين الجلسة والرأس السفلى بدعامات تسمى الأعمال الشبكية من الأربع جوانب للمقعد. ودائما ما يشكل ذلك المقعد من جلسة مزدوجة التعقير.(Killen, 1994)

إن المقاعد في مصر القديمة كانت اصغر منها في العصر الحالي ويرجع ذلك إلى اختلاف مقاييس جسم الإنسان ف ذلك العصر . حيث أن متوسط طول قامة الإنسان في مصر القديمة يعد اقصر من متوسط طول قامة الذكر في الوقت الراهن. ذلك بالإضافة ان نسب عظام الفخذ اصغر وارتفاعها اقل. مما انعكس على ارتفاع المقعد والذي يعد محور هام عند تصميمه. وبالإضافة إلى ذلك فان الارتفاع المنخفض للمقعد يعطي وضعية اكثر راحة للجلوس حيث يمكن تمديد الأرجل إلى الأمام مما يوفر الراحة للمنطقة خلف الركبتين في هذا الوضع حيث تظل غير معرضة للاحتكاك مع الجلسة. وبالإضافة إلى ذلك فان الدولة الحديثة توفر أدلة وفيرة على استخدام المرآة للمقاعد المنخفضة وأرجلهم منحنية اسفل الجسم وأيضا على الأرض بحيث تكون الركب مثنية إلى الأعلى من مستوى الجلسة وقد تم تمثيل الرجال أيضا بذلك الأسلوب ولكن بشكل اكثر ندرة. (Fischer, 1996)

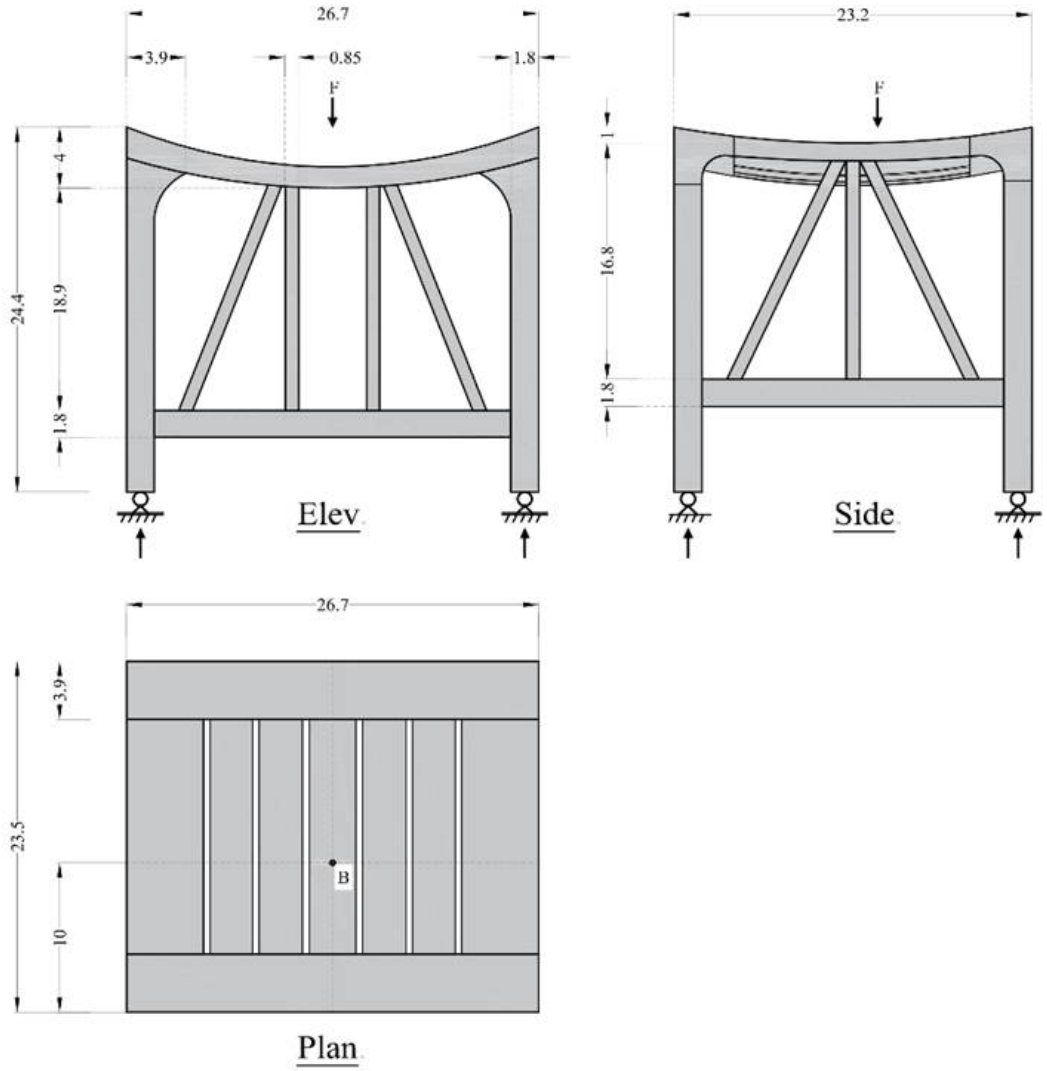
لقد سيطرت التقاليد على جميع جوانب الحياة في مصر القديمة. إن تقاليد الجماليات والأثاث فقد بنيت بما يتماشى مع روح الشعب المصري ولذلك فقد قدست الخطوط المستقيمة واعتبرت اكثر نبلا من غيرها المنحنية. وبالرغم من ذلك فقد تبنى المقعد الشكل المنحني للجلسة والذي اعتبر الشكل الأساسي في الدولة الحديثة. وترجع المقاعد ذات الجلسة مزدوجة التعقير إلى العهد المتقدم الدولة الحديثة. إنها أعدت لتزود بوسادة تستخدم لدعم المنحنى الطبيعي للجزء من الجسم اسفل الظهر. أيضا ومن خلال الأدلة المصورة والنصية عرف أن المصريين القدماء قد استخدموا الكراسي التي تدعم الجلوس بأوضاع مقبولة ثقافيا واجتماعيا والمقاعد المهيأة بالشكل الكافي لتوفير الإتزان وتدعم الوظيفة التي يقوم بها الجالس. (Pynt , et al., 2010) ولذلك فان الشكل المقعر للجلسة قد استخدم أولا وقبل كل شيء لغرض وظيفي. وفي هذا التصميم تكون الجلسة مكونة دائما أما من رؤوس خشبية مقعرة أو الحبال المنسوجة والتي تمر من خلال ثقوب في الحروف الخاصة باطار الجلسة. (Killen, 1994) أن إعطاء الجلسة ذلك الشكل المقعر من قطعة خشبية واحدة لعملية صعبة ولذلك فانه من الغالب قد تم عملها عن طريق ثني شرائح الخشب. (PEPLER-HARCOMBE, 2011) حيث أن تقنيات الثني بالبخار قد اكتشفت في ذلك الوقت ومن الأرجح أن تكون طبقت لعمل الشكل المقعر . (Pynt , et al., 2010)

يعد المقعد ذي الأعمال الشبكية شائع بشكل كبير بين جميع طبقات المصريين وقد تم تمثيله بشكل واسع في مقبرة ثيبان. وهي تعد طريقة تعتمد على تزويد شرائح خشبية لتوفير الدعم. بحيث تحتوي الفراغ اسفل الجلسة على دعامات راسية ومائلة. بعض هذه الدعامات مثبت عن طريق تعشيقة النقر واللسان بالجلسة والبعض الآخر مثبتة بإسفين في المكان. (Killen, 1994) هذه الدعامات المائلة تتبع قاعدة التثليث وهي قاعدة إنشائية تقوم على عمل التكوين المثلثي لزيادة الصلابة في البينية لزيادة الصلابة والقوة مع السماح باستخدام ارجل أطول واكثر رشاقة . (PEPLER-HARCOMBE, 2011)

- **دراسة الأحمال على المقعد من خلال تطبيق طريقة العناصر المحددة**

باستخدام احد برامج التحليل الإنشائي ANSYS تمت بمحاكاة المقعد بدءا بعملية النمذجة للشكل الواقعي إلى تحديد أوضاع الاستخدام وتطبيق الأحمال ومن ثم الخروج بالنتائج. تصميم المقعد والأبعاد والحمل عليه موضحة في الشكل 2

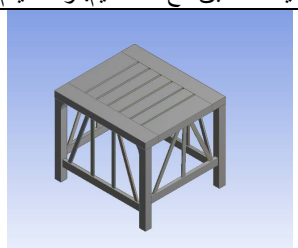
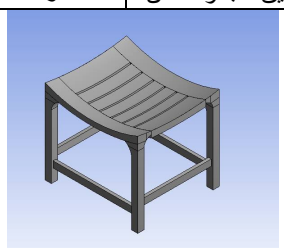
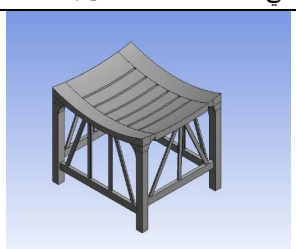
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



شكل 2 :تصميم المقعد وابعاد العناصر المكونة للبنية والقوة الواقعة عليه

طبقت قوة راسية F=1300 N على منتصف الجزء العلوي من الجلسة، ويظهر رد فعل الأرض عند الركائز على كلا من المسقط الأمامي والمسقط الجانبي . واستخدم هذا الحمل لتحديد تصرف البنية حينما تخضع لتلك القوة عند النقطة B و تم تعيين الأحمال وموضع التحميل تبعا للمعايير الأوروبية لاختبار الأثاث .

– مرحلة النمذجة : أن عملية نمذجة التصميم هي عملية محاكاة شكل القطعة والعناصر المكونة لها والعلاقات بين الأجزاء بحيث تتطابق مع التصميم. وذلك يتم عن طريق مجموعة من الإمكانات المتوفرة داخل البيئة الافتراضية لبرنامج الحاسب الآلي بالإضافة إلى إدخال كافة الأبعاد للأجزاء المكونة لها. وحيث أن هذا البرنامج يعمل على العديد من المجالات كالسوائل وغيرها، فانه يتم اختيار البند الخاص بالبناءات الاستاتيكية. ويقوم المصمم باختيار الأنسب من بين الأوامر داخله بما يتلاءم مع التصميم إلى أن يتم الانتهاء من محاكاة الشكل الخارجي للقطعة. (Smardzewski, 1996) تصميم وكانت المتغيرات في ثلاث حالات شكل 3 .

		
1- شكل الجلسة: تم عمل التحليلات للمقعد في الحالة الأولى بشكلين للجلسة. الشكل الأول مقعر والثاني مسطح لمعرفة ما اذا كان التأثير إيجابي ام سلبي للشكل المقعر للجلسة.	2- الدعامات اسفل الجلسة: تم عمل التحليلات في الحالة الثانية في وجود الدعامات ما بين الجلسة والشيكال وبدونها لمقارنة كم الصلابة الذي توفره	3- تعشيقة النفر واللسان ما بين الجلسة والأرجل: في الحالة الثالثة تم تحليل المقعد بشكله الأصلي وفي وجود تعشيقة النقر واللسان الراسية وأيضا تم تحليله مع استبدال تعشيقة النقر واللسان الراسية باخري أفقية.

شكل3: نماذج المقعد المعدة للتحليل في البيئة الافتراضية

خصائص الكتلة: خصائص الكتلة تمثل خصائص العناصر في البنية ، كالخصائص المختلفة للخامة والأبعاد الخامة المقترحة لإنتاج. حيث أن الخامات تلعب دور غاية في الأهمية في قوة وصلابة الأثاث وإمكانية نجاحه في التصدي لأحمال التشغيل من عدمه. ومن ذلك المنطلق كان تعريف الخامة إلي بيئة العمل الافتراضية جزء لا يتجزأ من عملية المحاكاة حيث يبنى عليها العديد من القرارات في المراحل اللاحقة.

نظرا لعمر المقعد وطبيعة البيئة التي وجد بها لألاف الأعوام هناك صعوبة في تحديد خصائص ثابتة للخامة المستخدمة أو التي تم استخدامها في مصر القديمة لاستخلاص النتائج النهائية وتحديد مدى تأثير القوى على الهيئة البنائية لشكل المقعد. (GEREKE, Thomas, 2016) ومن هنا فانه من الضروري تعريف خامة الخشب داخل البرنامج وذلك عن طريق إدخال الخواص الميكانيكية للخامة (USDA، 2010) والتي تتمثل في خواص المرونة وخواص القوة . (Seid Hajdarević, 2015) (Silvana (Igor DŽINČIĆ) Prekrat, 2010) وفي المقعد محل الدراسة استخدمت خامة خشب القرو داخل البيئة الافتراضية للبرنامج جدول 1 .

جدول 1: الخواص الميكانيكية لخامة خشب القرو (USDA, 2010)

الكثافة (جم/سم3)	معامل المرونة الخطية			معامل المرونة في اتجاه القص			نسبة بواسون					
	EL	ER	ET	GLT	GLR	GRT	υLR	υLT	υRT	υTR	υRL	υTL
0.60	16.21	12.02	0.626	0.698	0.842	0.311	0.360	0.330	0.780	0.370	0.060	0.030

- الركائز: والتي تقيد حرية الجسم أو جزء منه في الحركة أو الدوران في احد الاتجاهات أو جميعها في بيئة الحاسب الآلي. ويعد تحديد الركائز عنصر هام جدا خلال عملية التحليل حيث انه بدون هذه تحديد الركائز تعد البنية حرة التحرك في الفراغ كجسم صلب دون أن تقاوم أي الأحمال الواقعة عليها. وفي الدراسة تم افتراض ان الركائز ثابتة.

(أ) (ب) (جـ) (د)

شكل 4:نماذج تمثيل المقعد والتعاشيق الفنية بين عناصره في البيئة الافتراضية

أ- نموذج التصميم الأصلي للمقعد ب- نموذج تصميم المقعد بجلسة مسطحة جـ - المقعد بدون دعامات ، د - المقعد بتعشيقة نقر ولسان أفقية .

- تفاصيل الأحمال: تعني بإدخال الأحمال المقدرة على البنية إلى بيئة الحاسب الآلي واللازمة لمعرفة القوى الداخلية والضغوط داخل العناصر. الأحمال على المقعد متماثلة لذا كانت التحليلات ثنائية البعد على الهيكل الأمامي من المقعد كافية وتفي بالغرض المطلوب. في الشكل 2، طبقت قوة راسية F=1300 N على منتصف الجزء العلوي من الجلسة. واستخدم هذا الحمل لتحديد تصرف البنية حينما تخضع لتلك القوة (point b) شكل 2 . تم عمل هذه التحليلات لعقد المقارنات فيما بينها وبذلك يمكن معرفة مواطن القوة في بنية المقعد واستخلاص قيم تصميمية يمكن اللجوء الهيا فيما بعد. شكل 2
- نوع وخصائص التحليل: يتم حساب الإزاحة (Displacement) أولا . الكميات الأخرى كالانفعال والجهاد وقوى رد الفعل تشتق بعد ذلك من إزاحة النقاط الرئيسية في البنية.(ANSYS) (ANSYS®, 2009)
- استخراج النتائج: ان جميع المراحل السابقة تمهد لمرحلة اظهار النتائج لمعرفة إذا ما كان التصميم يصلح للتنفيذ أم يحتاج الى اجراء المزيد من التحسينات عليه. تظهر النتائج مواضع حدوث التشكل او الإخفاق على البنية وأيضا يمكن اخراجها في صورة رسوم بيانية. ويساعد برامج الكومبيوتر المستخدم في اظهار شكل التشكل على الهيئة نفسها للجسم محل التحليل (Inv; LAEMLAKSAKUL) (Logan, 2007) وتتمثل النتائج في:
- التشوه الكلي في البنية (سم) Total deformation : أي التغير في شكل العناصر في البنية.
- الانفعال الكلي في البنية (مم) Equivalent Strain : اي التغير في ابعاد العناصر المكونة للبنية .
- الاجهاد الكلي في البنية (م باسكال) Equivalent stress : وهو القوة الداخلية المتولدة في وحدة المساحات في العناصر.
- قوى رد الفعل Reactio Forces : وهي القوى الناجة عن مقاومة الأرض للحمل الواقع على القطعة.

النتائج Results:

تظهر نتائج التحليلات العددية للبنية في الجدول رقم2 والمتضمنة التشكل الحادث في البنية، والحد الأقصى من الانفعال (التغير في الطول للعناصر المكونة للبنية) ، بالإضافة إلى الحد الأقصى من الإجهاد نتيجة لتعرض البنية لحمل 1300 نيوتن تم تطبيقها على منتصف الجزء الأعلى من الجلسة.

جدول 2 : النتائج العددية لنماذج المقعد

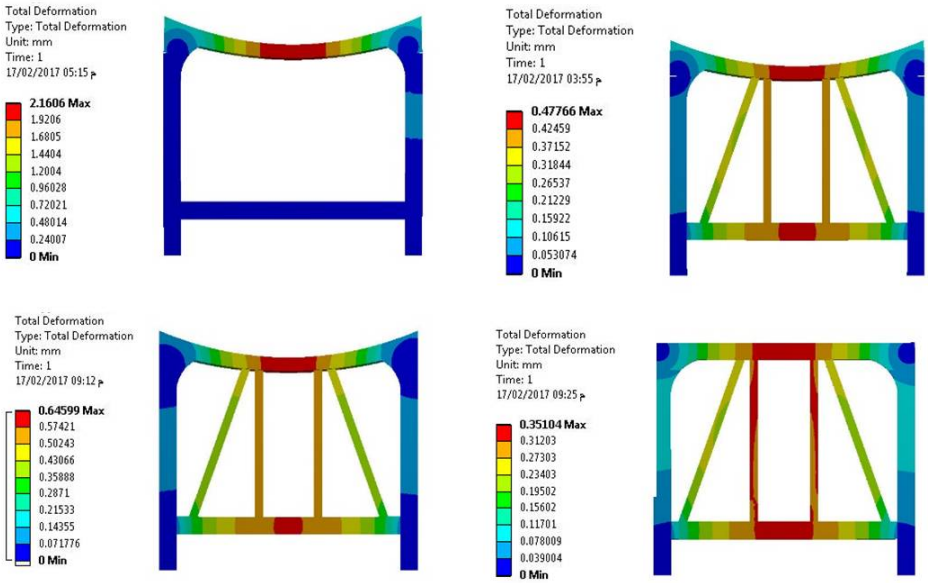
النتائج / النموذج	الإجهاد في البنية (م باسكال)	الانفعال في البنية(سم)	التشكل الكلي (مم)
التصميم الأصلي للمقعد	37.846	0.167	0.4777
تصممي المقعد بدون دعامات	58.762	0.355.	2.1606
تصميم المقعد بجلسة مسطحة	29.279	0.188	0.351
تصميم المقعد مع تعشيقة النقر واللسان المسطحة للربط بين الجلسة والأرجل	59.858	0.358	0.6459

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

يقاس الإجهاد بوحدة الليجا باسكال، يقاس الانفعال بوحدة السنتيمتـــــر، ويقاس التشكل الكلي بوحدة الملينـتر.

– يظهر مقدار التشكل في البنية الأصلية للمقعد يظهر في شكل رقم 4 (ا).

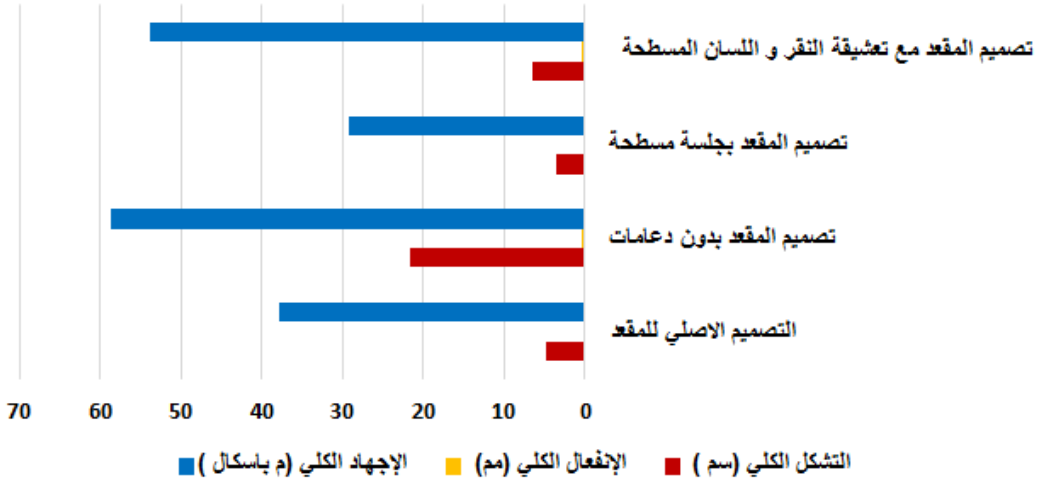
- تزداد الصلابة للمقعد إذا تم استبدال الجلسة بأخرى مسطحة شكل 4 (ب).
- تقل الصلابة بشكل كبير بإزالة الدعامات اسف الجلسة شكل 4 (ج).
- تقل أيضا الصلابة مع استبدال التعشيقة الأصلية بين الجلسة والأرجل بأخرى أفقية شكل 4 (د).



شكل 5 : تمثيل النتائج المستخرجة من البرنامج والتي توضح التشكل الكلي في البنية (التغير في الشكل)

المقعد بجلسة مسطحة

أ- التصميم الأصلي للمقعد، ب - المقعد بدون دعامات، جـ - المقعد بالجلسة المسطحة، د -المقعد بتعشيقة نقر ولسان أفقية



ب- شكل 6 : التمثيل البياني للنتائج

يظهر التمثيل البياني للنتائج شكل 6 مقارنة الحسابات العددية لتحليل التشكل الكلي للبنية في الهيكل الأمام لنموذج المقعد بالجلسة المقعرة والنموذج ذي الجلسة المسطحة. وأيضا تحليلات نموذج المقعد بالدعامات أسفل الجلسة والنموذج بدونها. بالإضافة إلى نتائج تحليل المقعد ذي تعشيقة النقر واللسان الراسية ما بين الجلسة والأرجل والأخرى الأفقية كما يتضح في شكل 6.

ظهر اقصى تشكل في البنية في النموذج بدون دعامات في حين كانت البنية ذات الجلسة المسطحة هي الأقوى في الصلابة. في النموذج شكل 4 رقم ا: حدث القدر الأكبر من التشكل في منتصف الجزء العلوي من الجلسة المقعرة بقدر 0.4776 مم ، في حين أظهرت البنية صلابة الشكل الأكبر في النموذج شكل 4 رقم ب بقيمة 0.3510 مم. حيث وجد فرق في مقدار التشكل فيما بينهم بمقدار 0.1266مم. أما عن الحالة الثانية في الشكل 4 رقم ج فقد حدث تشكل بمقدار 2.1606 مم في البنية مما يعني وجود فارق 1.682 مم فيما بين التشكل الحادث في نموذج المقعد في وجود الدعامات اسفل الجلسة والنموذج الآخر بدون دعامات. أما عن الحالة الثالثة وفي حالة استبدال تعشيقة النقر واللسان الراسية والمستخدمة في المقعد بأخرى أفقية شكل 4 رقم د فقد حدث تشكل بمقدار 0.6459. مما يعني وجود زيادة بمقدار 0.1683 في تشكل البنية نتيجة استبدال التعشيقة الراسية بأخرى أفقية.

تظهر النتائج أن البنية تصبح اقوى كلما تم تسطيح الجلسة. في حين تزيد الدعامات ما بين الجلسة والشيكال من صلابة المقعد. أيضا لتعشيقة النقر واللسان الأصلية في كرسي والمصنعة بشكل راسي تأثير إيجابي في زيادة صلابة المقعد. (Pynt , et al., 2010)

الخلاصة Conclusion

- من الصعب القيام بإجراء تحليلات تفصيلية للأثاث التاريخي

لصعوبة الحصول على بيانات دقيقة تخص خصائص الخامة بالإضافة لتعرضها للعديد من التغيرات نتيجة البيئة والعمر الخاص بالقطعة.

لم يتم تصميم الأثاث في مصر القديمة بناء على الشكل فقط بل أيضا مع الأخذ في الاعتبار الجانب البنائي والوظيفي وتبعا لمقاييس جسم الإنسان بما يحقق الراحة. بالرغم من أن الشكل المقعر للجلسة لم يضيف إلى صلابتها إلا انه تم تصميميه ليتلاءم مع الوظيفة المصمم لأجلها بالإضافة إلى البعد الجمالي.

- للشكل الهندسي وطريقة تجميع الأثاث تأثير كبير على صلابة البنية.
- يمكن استخدام قاعدة التثليث المستخدمة في الأعمال الشبكية في تصميمات الأثاث لزيادة الصلابة مع الاحتفاظ بالحد الأدنى من الخامة.
- استخدمت تعشيقة النقر واللسان الراسية في المقعد بدلا من غيرها الأفقية لإضافة مزيدا من الصلابة لبنية المقعد دون الحاجة إلى استهلاك خامات إضافية. يمكن استخدام هذه الوصلة الإضافة مزيدا من الصلابة لتصميمات الأثاث.
- استخدم المصري القديم الشيكل المنخفض لدعم الأثاث وزيادة صلابته، وذلك ما تم إثباته في احد الأبحاث المنشورة مؤخرا عام 2015،(Seid Hajdarević, 2015) .
- يمكن استخدام طرق التحليل العددي التي استخدمت في هذه الدراسة لعمل تحليلات تقريبية للمزيد من قطع الأثاث التاريخي الأكثر تعقيدا.
- لم تتناول هذه الدراسة الغراء ولا الدهانات التي تم استخدامها في المقعد مع الاعتراف بأهمية هذه المحاور في صلابة المقعد وهي تختلف من طبيعة خامة لأخرى.

المراجـــع References :

1. ANSYS Inc. Overview of Structural Analyses [Online] // ANSYS Academic Teaching - http://www.ansys.stuba.sk/html/guide_55/g-str/GSTR1.htm.
2. ANSYS® DesignModeler™ [Book]. - USA : ANSYS, Inc., 2009.
3. DŽINČIĆ Igor STRESS DISTRIBUTION IN CHAIR CONSTRUCTION [Conference] // CONGRESS SCIENTIFIC BOARD. - Belgrade : Belgrade University, Faculty of Forestry. - pp. 1298- 1309.
4. Eckelman , C.A. 1970. CODOFF - Computer Design of Furniture Frames: Part I - User's Manual. Purdue University Agr. Exp. Sta. Res. Bul. No. 857, 27 pp.
5. Eckelman Carl Textbook of product Engineering and Strength Design of Furniture [Book]. - UK : Purude University, 2003.
6. Eckelman C. A. and Suddarth S. K. Analysis and design of furniture frames [Journal]. - [s.l.] : Wood Science and Technology, 1969. - 3 : Vol. 3. - 10.1007/BF00367215.
7. Fischer Henry George Egyptian Studies III: Varia Nova [Book]. - New York : The Metroppolitan Museum of Art, 1996.
8. Furnitue Design In The Begining [Online] // J Black Design. - John Black, May 12, 2011. - Jan 18, 2017. - http://jblackdesign.com/furniture-design/in-the-beginning./
9. GEREKE, Thomas FINITE ELEMENT ANALYSIS OF WOOD ADHESIVE JOINTS [Journal] // PRO LIGNO. - 2016. - Vol. 12. - pp. 3-14.
10. Igor DŽINČIĆ STRESS DISTRIBUTION IN CHAIR CONSTRUCTION [Conference] // CONGRESS SCIENTIFIC BOARD. - Belgrade : Belgrade University, Faculty of Forestry. - pp. 1298- 1309.
11. Ioannis Ntintakis Furniture Design Optimization with FEA Analysis [Conference] // e-Conference on current issues in global furniture . - UK : Buckinghamshire new university, 2013. - pp. 14-21.
12. Jerzy Smardzewski Optimization of furniture testing , Annals of Warsaw University of Life Sciences. - 2011.65-60 الصفحات - .
13. Kasal, Ali ; Smardzewski, Jerzy ; Numerical Analyses of Various Sizes of Mortise and Tenon Furniture Joints [Journal] // Bioresources. - 2016. - 3 : Vol. 11. - pp. 6836-6853.
14. Smardzewski Geoffrey Egyptian woodworking and furniture [Book]. - [s.l.] : Shire Publications LTD, 1994.
15. LAEMLAKSAKUL VANCHAI Investigation of Performance of Laminated Bamboo Chair through Virtual Testing [Conference] // 10th WSEAS International Conference on MATHEMATICAL and COMPUTATIONAL METHODS. - THAILAND : Industrial Engineering Technology Department, King Mongkut's University of Technology North Bangkok. - pp. 39- 44.
16. Logan Daryl L. A First Course in the FiniteElement Method [Book]. - Canada : Nelson, 2007. - Fourth.
17. Mackerle Jaroslav Finite element analyses in wood research: a bibliography [Journal] // Wood Sci Technol. - 2005. - pp. 579–600.
18. Mehmet Nuri Yildirim FINITE ELEMENT ANALYSIS (FATIGUE) OF WOODEN FURNITURE STRENGTH [Conference] // The 27th International Conference Research for Furniture Industry. - Turkey : Creative Commons Attribution, 2015. - pp. 337-342.
19. Mohammad Derikvand Finite element analysis of stress and strain distributions in mortise and loose tenon furniture joints [Journal] // Journal of Forestry Research. - 2014. - p. 677−681.
20. Mustafa Hilmi ÇOLAKOĞLU Finite element analysis of wooden chair strength in free drop [Journal] // International Journal of the Physical Sciences. - 2012. - Vol. 7. - pp. 1105 - 1114.
21. Nurgul Tankut Finite Element Analysis of Wood Materials [Journal] // Scientific Journal

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

22. PEPLER-HARCOMBE ALETTA MARIA ANCIENT EGYPTIAN FURNITURE IN CONTEXT // Master Thesis. - SOUTH AFRICA : UNIVERSITY OF SOUTH AFRICA, 2011.
23. PERROT GEORGES and CHIPIEZ CHARLES A history of art in ancient egypt [Book] / trans. ARMSTRONG WALTER. - London : R. Clay, Sons, and Taylor, 1883.
24. Sección Bilingüe del IES Pedro de Valdivia [Online] // Contenidos de tecnología enInglés. - http://www.petervaldivia.com/structures..
25. Seid Hajdarević Stiffness Analysis of Wood Chair Frame [Journal] // Science Direct. - 2015. - Vol. 100. - pp. 746 – 755.
26. Silvana Prekrat Effect of Glueline Shape on Strength of Mortise and Tenon Joint [Journal] // DRVNA INDUSTRIJA. - 2010. - pp. 223-228..
27. Smardzewski J. Distribution of stresses in finger joints [Journal] // Wood Science and Technology- Springer. - 1996. - pp. 477-489.
28. Smardzewski Jerzy Effect of wood species and glue type on contact stresses [Journal] // Journal of Mechanical Engineering Science. - 2008. - Vols. 203-210.
29. Smardzewski Jerzy Numerical analysis of furniture constructions [Journal] // Wood Science and Technology. - [s.l.] : Springer, 1998. - Vol. 32. - pp. 273-286.
30. Smardzewski Jerzy Stress Distribution in Angle Joints of Skeleton Furniture [Journal] // Electronic Journal of Polish Agricultural Universities. - 2004. - Vol. 7.
31. Stool from Sennedjem's Tomb [Online] // Tour Egypt. - http://www.touregypt.net/featurestories/picture03212006.htm.
32. USDA Wood Handbook -Wood as an engineering material - .[كتاب] United States : Forest Products Laboratory ،2010.
33. Wooden Stool with Latticework Bracing [Online]. - Brooklyn Museum. - https://www.brooklynmuseum.org/opencollection/objects/3951.