جامعة القاهرة
كلية الآثار
قسم ترميم الآثار

دراسة المشكلات الإنشائية للأسقف الخشبية فى المباني الأثرية الإسلامية وطرق علاجها مع التطبيق على أحد النماذج المختارة

Study of structural deficiencies in wooden ceilings of Islamic archaeological buildings and their restoration techniques with application on a chosen ceiling

لنيل درجة الدكتوراة فى الآثار من قسم ترميم الأثار

مقدمة من الباحث

مصطفى ماهر مصطفى إسماعيل شريف

تحت إشراف

أ.د.نسرين محمد نبيل الحديدى
أستاذ - قسم ترميم الأثار
كلية الأثار – جامعة القاهرة

أ.م.د. ياسر يحيى أمين عبد العاطى
أستاذ مساعد - قسم ترميم الأثار
كلية الأثار– جامعة القاهرة

2017

كلية الآثار

الدراسات العليا

الإجازة

أجازت لجنة المناقشة هذه الرسالة للحصول على

درجة دكتور في الآثار من قسم ترميم الآثار

بتقدير ممتاز بمرتبة « الشرف الأولى » .

بتاريخ

بعد استيفاء جميع المتطلبات

اللجنة

الاسم	الدرجة العلمية	التوقيع
1- أ.د/ نسرين محمد نبيل الحديدى - أستاذ		
2- أ.د/ ياسر يحيى أمين عبد العاطى -أستاذ مساعد		
3- أ.د/ جمعة محمد محمود عبد المقصود -أستاذ		
4- أ.د/ جيهان عبد الرحمن أحمد حمدى -أستاذ مساعد		

الشكر والتقدير

لا يسعنى إلا أن أتقدم بالشكر إلى الله عز وجل على أن وفقني في أن أتم هذه الدراسة كما لا يسعني إلا أن أتقدم بالشكر والتقدير إلى الأستاذة الدكتورة /**نسرين محمد نبيل الحديدى** أستاذ ترميم الآثار، كلية الآثار – جامعة القاهرة، على ما بذلته من جهد وتوجيه الباحث حتى يتسنى له إخراج هذا البحث جزاها الله خيرا.

كما أتوجه بالشكر والتقدير إلى الأستاذ الدكتور/**ياسر يحيى أمين عبد العاطى** الأستاذ المساعد الترميم الإنشائى – كلية الآثار – جامعة القاهرة، على ما بذله من جهد وتوجيه ونصح للباحث والذى لم يدخر شيئا ولا وقتا ومجهودا حتى يتم العمل بهذه الصورة، فجزاه الله عني خيرا.

كذلك أتوجه بالشكر والتقدير إلى **الأستاذ الدكتور/ جمعة عبد المقصود** أستاذ ترميم الآثار ووكيل كلية الآثار جامعة القاهرة لشؤون الدراسات العليا على موافقة سيادته على مناقشة الرسالة .

وأتقدم بأسمى آيات الشكر والتقدير إلى **الأستاذة الدكتورة / جيهان حمدى** أستاذ مساعد الهندسة المدنيه بكلية الهندسه جامعة بنها على قبول سيادتها مناقشة الرسالة.

وأتوجه بالشكر والتقدير إلى **الأستاذ الدكتور / محمود مرسى** رئيس معمل النسيج بالمعهد القومى للقياس والمعايرة على مساعدته لى فى إجراء الأختبارات الفيزيائية بالرساله.

وأشكر الدكتور / أكمل على بمتحف الحضارة على مساعدته لى فى إخراج وتنظيم المراجع الأجنبية بالرسالة.

وأتوجه بخالص الشكر لشركة المشروعات الهندسية و للمهندس / عبد الفتاح محمد مدير مشروع ترميم مسجد جانم البهلوان على تسهيل أعمال الجانب التطبيقى بالمسجد.

وأتقدم بالشكر والتقدير للأستاذ /هشام توحيد بوزارة الآثار على مساعدة لى فى إعداد الرسومات الهندسية بالرسالة.

وأتقدم بالشكر العميق للمهندس / مصطفى بخيت مدير مشروع ترميم وكالة قايتباي والأستاذ/ محمود عبد الراضى مدير الترميم الدقيق على توفير الأخشاب المستخدمه فى الجانب التجريبي بالرساله.

وأتقدم بخالص التقدير للدكتور / محمد عبد الرازق بوزارة الآثار والأستاذ الدكتور / هشام طاهر الليثى أستاذ الهندسه المعمارية بكلية الهندسة جامعة الفيوم على مساعدتى بتوفير الكثير من المادة العلمية التى أسهمت بدور كبير فى إثراء الرساله.

وأتقدم بخالص الشكر للأستاذ / أسامة عامر المعيد بقسم ترميم الآثار ،كلية الآثار، جامعة القاهرة على مساعدته لى فى تنفيذ أعمال الجانب التجريبي بالرسالة.

وأتقدم بالشكر والعرفان بالجميل إلى مؤسسة Barakat Trust بجامعة Oxford ببريطانيا على ما قدموه من دعم مادى كان له كبير الآثر فى تنفيذ أعمال الجانب التجريبى والتطبيقى بالرسالة.

إهداء

أهدى هذا العمل إلى أمى الحبيبه التى طالما وقفت بجانبى وشجعتنى كثيرا لإتمام هذا العمل فجزاها الله عنى خير الجزاء.

كما أهدى هذا العمل إلى زوجتى وأبنتى لارا ولين

كما أهدى هذا العمل إلى أبى و أخوتى الأعزاء

فهرس الموضوعات	الصفحة
فهرس الموضوعات	أ
فهرس الصور	ج
فهرس الأشكال	ش
فهرس الجداول	ظ
مقدمة البحث	غ
الهدف من البحث	ك
ملخص البحث	ل
الأعمال السابقة	و
الفصل الأول **دراسة أنواع الأخشاب و تطور مواد وطرق بناء الأسقف الخشبية في المباني الأثرية الإسلامية**	
1-1- أنواع الأخشاب المستخدمة فى الأسقف الخشبية الأثرية و طرق النجارة المتبعه فى صناعتها	1
1-1-1-طبيعة تكوين الأخشاب	2
1-1-2-دراسة أنواع الأخشاب الشائع إستخدامها فى الأسقف الخشبية	3
1-1-3-الطرق الفنية المستخدمة فى تصنيع ونجارة الأسقف الخشبية	7
1-1-4- الوصلات الخشبية فى الأسقف الخشبية	12
1-2- الأخشاب ودورها الإنشائي فى المباني الأثرية الإسلامية	21
1-2-1-نبذة عن الأخشاب الإنشائية	21
1-2-2-مميزات الأخشاب كمادة بناء إنشائية	22
1-3- تصنيف طرز الأسقف الخشبية فى المباني الأثرية الإسلامية و تطورها	26
1-3-1-الأسقف الأفقية	26
1-3-2-الأسقف الجمالونية	51
الفصل الثانى **مظاهر وعوامل تلف العناصر الإنشائية في الأسقف الخشبية بالمباني الأثرية الإسلامية**	
2-1- طرق فحص الأخشاب المستخدمة كعناصر إنشائية	54
2-1-1- فحص الحالة الإنشائية للمبنى	55
2-1-2- فحص حالة الخشب	56
2-2-عوامل ومظاهر التلف الإنشائى للأسقف الخشبية	59
2-2-1-عوامل تلف طبيعية داخلية	59
2-2-1-1-العيوب الطبيعية للأخشاب	59
2-2-1-1-1-العقد الخشبية	59
2-2-1-1-2-عيوب أتجاه الألياف وترتيبها فى الأخشاب	61
2-2-1-1-3-خشب النشأ (الحديث)	63
2-2-1-1-4-إجهادات النمو فى الأخشاب	64
2-2-1-1-5- جيوب الراتنج	66
2-2-1-1-6-الخشب ذو الألياف المتعاكسة (الشد والأنضغاط)	67
2-2-1-1-7-الحريق	69

2-2-1-1-8-اللحاء	69
2-2-2-عوامل تلف بيئية خارجية	70
2-2-2-1-زيادة وقت التعرض للأحمال	70
2-2-2-2- التلف الميكانيكي (الإنشائى)	72
2-2-2-3-تأثير قوى القص للبراطيم الحاملة للسقف الخشبى	76
2-2-2-4-تكسر الألواح الخشبية (ألواح التطبيق)	77
2-2-2-5-التقوس والألتفاف	78
2-2-2-6-ظاهرة التشرخ	78
2-2-2-7-المحتوى الرطوبى للأخشاب	79
2-2-2-8-تأثير العوامل البيئية	80
2-2-2-9-تأثير قوى الضغط	87
2-2-2-10-تأثير قوى الشد	90
2-2-2-11- تأثير قوى الأنحناء	91
2-2-3-التلف البيولوجى للعناصر الإنشائية فى الأسقف الخشبية	92
2-2-4- التلف الكيميائي	106
2-2-5-تخثر وتلف الأخشاب الأثرية بتأثير نواتج صدأ المعادن	109
2-2-6-تأثيرالحرائق على الأخشاب	111
الفصل الثالث **دراسة معملية للخصائص الفيزيائية والميكانيكية للأخشاب**	
مقدمة	**114**
3-1-الخصائص الفيزيائية للأخشاب	114
3-1-1-دراسة الخصائص الفيزيائية للأخشاب بشكل عام	115
3-1-1-1-الوزن	115
3-1-1-2- الكثافة	115
3-1-1-3-الوزن النوعى	116
3-1-1-4-محتوى الرطوبة	116
3-1-1-5- الأنكماش	119
3-1-1-6-التمدد الطولى	119
3-1-1-7-معامل مقاومة الأنتشار البخارى	119
3-1-1-8-اللون	120
3-1-1-9-اللمعان	121
3-1-1-10-الرائحة	121
3-1-1-11-النسيج والتعريق والشكل	121
3-1-1-12- السطح والملمس	122
3-1-1-13-نفاذية الضوء	122
3-1-2-دراسة مقارنة لأخشاب الصنوبر	123
3-1-3-دراسة بعض الخصائص الفيزيائية لعينات من أخشاب الصنوبر	126

3-1-3-1-أختبار المحتوى الرطوبى	126
3-1-3-2- قياس الكثافة	127
3-1-3-3-أختبار أمتصاص الماء	128
3-2- الخصائص الميكانيكية للأخشاب	129
3-2-1-المقاومة	135
3-2-2-الصلادة	137
3-3-دراسة معملية لبعض الخواص الميكانيكية للأخشاب	139
3-3-1-أختبار مقاومة الضغط عموديا على الألياف	139
3-3-2-أختبار مقاومة الضغط موازيا للألياف	142
3-3-3- أختبار مقاومة الشد	144
3-3-4-أختبار مقاومة الأنحناء	147
الفصل الرابع **دراسة تجريبية لتقييم طرق العلاج المتبعة فى علاج مشكلات العناصر الإنشائية الخشبية**	
مقدمة	152
4-1-الأختبارات	152
4-1-1- المواد والطرق	152
4-1-2- مراحل التقادم المعجل	153
4-2-أختبار مقاومة الأنحناء لعينات خشبية صغيرة الحجم	154
4-2-1- إجراء الأختبار	154
4-2-2- معالجة العينات الخشبية الصغيرة	159
4-2-2-1-شرائح ولفائف البوليمرات المسلحة بالألياف	159
4-2-2-1-1-مكونات البوليمرات المسلحة بالألياف	160
4-2-2-1-2-مميزات ال FRP	162
4-2-2-2-الإيبوكسى (كيما بوكسى 150)	162
4-2-3-طرق العلاج	163
4-2-4-نتائج أختبار قياس قوى مقاومة الإنحناء	167
4-3-أختبار مقاومة الانحناء لعينات متوسطة الحجم	170
4-3-1-المواد والطرق	170
4-3-2-علاج العينات الخشبية	176
4-3-3-نتائج أختبار قياس قوى مقاومة الإنحناء	185
4-4-أختبار مقاومة الأنحناء لعينات خشبية كبيرة (نفس حجم البراطيم الآثرية)	186
4-4-1-تجهيز العينات الخشبية	186
4-4-2-أختبار مقاومة الثنى (الأنحناء) للعينات الخشبية	188
4-4-3-سلوك العينات الخشبية أثناء إجراء أختبار مقاومة الأنحناء	190
4-4-4-معالجة العينات الخشبية	198
4-4-5-تحليل نتائج أختبارات عينات الأخشاب بالأبعاد الكاملة للبراطيم	213
4-4-6- نتائج أختبار مقاومة الانحناء للعينات كبيرة الحجم	219

4-5- النتائج	226
الفصل الخامس **دراسة تطبيقية لعلاج وصيانة الأسقف الخشبية بمسجد جانم االبهلوان**	
5-1-نبذة تاريخية عن المسجد	228
5-2-وصف المنشأة	228
5-3-الوصف المعمارى للسقف الخشبى الشمالى الغربى	238
5-4-تسجيل لمظاهر التلف بسقف مسجد جانم البهلوان	243
5-5-عوامل التلف المؤثرة على السقف الخشبى بمسجد جانم البهلوان	251
5-6-دراسة الأخشاب المكونة للسقف الخشبى	252
5-7-الأختبارات الميكانيكية	252
5-8-مقترح التدخل	257
5-9-التدعيم الإنشائى للسقف الخشبى المزخرف	259
5-10-توصيات ترميم سقف الظلة	268
إستنتاجات الدراسة	272
التوصيات	273
المراجع العربية	275
المراجع الأجنبية	283
ملخص البحث باللغة الإنجليزية	1-4

فهرس الصور

رقم الصورة	الموضوع	رقم الصفحة
1-1	توضح طريقة إزالة القشرة الخارجية للشجرة-أوسلو.النرويج	9
2-1	توضح البلطة التى تستخدم فى عملية تقطيع الجزء الدائرى من الشجرة ، ويظهر فى الصورة الأنواع والأحجام المختلفة للبلطة.	9
3-1	توضح طريقة عمل حزوز عمودية على طول ساق الشجرة	9
4-1	توضح شكل الحزوز العمودية	9
5-1	توضح الباحث أثناء مرحلة التدريب على عمليات تصنيع البراطيم الخشبية	9
6-1	توضح شكل الشجرة بعد إزالة الجزء الدائرى لها من أحد الجوانب ، وتظهر الصورة محاولة النجار فى تهذيب وضبط عملية التقطيع	9
7-1	توضح أحد أنواع الفارات المستخدمة فى عملية تنعيم وصقل سطح البراطيم(تستخدم من خلال شخص واحد)	10
8-1	توضح فارة تستخدم من خلال شخصين تستخدم فى عملية تنعيم وصقل سطح البراطيم	10
9-1	توضح كيفية علام المقاسات المطلوبة لعمل الألواح الخشبية	11
10-1	توضح عملية نشر وتقطيع الأشجار للحصول على ألواح خشبية بأستخدام المنشار اليدوى	11
11-1	توضح طريقة حفر وصلة النقر واللسان بأستخدام بنطة كبيرة والأزميل	11
12-1	توضح طريقة حفر وصلة النقر واللسان بأستخدام بنطة كبيرة والأزميل	11
13-1	توضح الشكل النهائى لوصلة النقر واللسان	12
14-1	توضح إستخدام سعف النخيل فى إعداد وصلة الزاوية بمسجد جانم البهلوان	15
15-1	توضح شكل الحفر الغائر فى سعف النخيل لإعداد وصلة الزاوية	15
16-1	توضح العروق الخشبية التى يثبت بها سعف النخيل المعد لوصلة الزاوية	15
17-1	السقف الجنوبى لمسجد جانم البهلوان المستخدم به وصلة الزاوية	15
18-1	توضح مراحل تطور الخشب ابتداء من الحجم الجزئى الصغير إلى الحجم الكلى الإنشائى	22
19-1	أ.توضح تكسية البرطوم الدائرى بثلاثة ألواح خشبية ليصبح مربعا.ب.شكل البرطوم الدائرى بعد التكسية –ج.الشكل النهائى للبراطيم. منزل البقرولى برشيد.نقلا عن شركة العقاد	27
20-1	توضح النعل – مسجد خاير بك	27
21-1	توضح الهرنائى (السهم الأسود) والقطرونية (السهم الأبيض) – خاير بك	29
22-1	توضح الطبالى فى سقف مقعد منزل قايتباى.	30
23-1	سقف الإيوان الجنوبى بمدرسة السلطان الأشرف برسباى وتظهر الصورة السقف المسطح الذى يخفى فوقه البراطيم الخشبية الحاملة للسقف .	34
24-1	توضح تركيب السقف البسط المزدوج	35
25-1	توضح سقف دهليز الدخول إلى مسجد وسبيل الشيخ المطهر	40
26-1	توضح طريقة تثبيت البراطيم الخشبية على الجدران بأحد منازل رشيد.	40
27-1	توضح الشكل النهائى للسقف الخشبى بعد تركيب كل البراطيم الخشبية وقبل تركيب الألواح الخشبية	40
28-1	توضح طريقة تثبيت البراطيم الخشبية على الكمرات بأحد منازل رشيد.	41

29-1	توضح الشكل النهائى للسقف الخشبى بعد تثبيت البراطيم الخشبية على الكمرات بأحد منازل رشيد.	41
30-1	توضح السقف الخشبى من أسفل بعد الأنتهاء من التركيب بأحد منازل رشيد	41
31-1	توضح طريقة وضع البراطيم الخشبية على الجدار وخروجها من الناحية الأخرى وذلك لزيادة إستقرار البرطوم فى مكانه- مدرسة وقبة الناصر محمد بن قلاوون	42
32-1	توضح طريقة وضع البراطيم الخشبية لسقفين متجاورين على نفس الجدار - مدرسة وقبة الناصر محمد بن قلاوون	42
33-1	توضح طريقة وضع البراطيم الخشبية على قوائم خشبية عرضية فوق الأحجار – منطقة تحت الربع بالخيامية	42
34-1	توضح السقف من نوع لوحا وفسقية بقصر الأمير بشتاك	43
35-1	توضح السقف ذو القصع بسقف ضريح المنصور قلاوون	46
36-1	توضح السقف الجانبى لمدرسة وخانقاة الملك الظاهر برقوق من نوع السقف ذو القصع	46
37-1	توضح العروق الخشبية بسقف جامع الأزهر	47
38-1	توضح طريقة تركيب الكرادى الخشبية - خاير بك	48
39-1	توضح طريقة تركيب الكرادى الخشبية - خاير بك	48
40-1	توضح شكل الكرادى الخشبية - خاير بك	49
41-1	توضح سقف المدخل الجانبى لمسجد فيروز الساقى وتظهر البراطيم غير مهذبة وكذلك الألواح الخشبية	49
42-1	توضح سقف مدخل مرسة السلطان الأشرف برسباى	50
1-2	توضح تلف البراطيم الخشبية عند الأطراف.	55
2-2	توضح طريقة القياس بأستخدام جهاز الموجات فوق الصوتية	58
3-2	توضح أنواع العقد الخشبية	60
4-2	توضح الألياف الخشنة لبعض أنواع الأخشاب	63
5-2	توضح الإنهيارات الإنضغاطية	64
6-2	يوضح مظهر تشققات الخشب القطرية	65
7-2	توضح مظهر تشققات القلب	66
8-2	توضح مظهر جيوب الراتنج بالخشب	66
9-2	توضح السقف الخشبى بصحن بمسجد بيبرس الخياط عند الزيارة الأولى ويتضح إستقرار نوعى لحالة براطيم السقف	71
10-2	توضح شكل بداية الكسر لأحد براطيم سقف الصحن بمسجد بيبرس الخياط	71
11-2	توضح ظهور المشكلات الإنشائية بسقف الصحن بمسجد بيبرس الخياط بعد مرور ثلاثة شهور من الزيارة الأولى، وخاصة البرطوم (داخل الدائرة)	71
12-2	توضح الكسور والهبوط الذى حدث لبراطيم سقف الصحن بمسجد بيبرس الخياط	72
13-2	توضح الكسور والهبوط الذى حدث لبراطيم سقف الصحن بمسجد بيبرس الخياط	72
14-2	توضح تأثير زيادة الأحمال مع زيادة وقت التعرض لتلك الأحمال،وادى بنى حبيب بسلطنة عمان	76
15-2	توضح زيادة الأحمال فوق برطوم فى أحد منازل رشيد (التوقاتلى)	76
16-2	توضح تدهور حالة الالواح فوق البراطيم بقصر إسماعيل المفتش	77
17-2	توضح تقوس وألتفاف براطيم السقف الخشبى بمنازل رشيد	78
18-2	توضح التشققات الموجودة بالبراطيم الخشبية بمنازل رشيد	79

19-2	توضح تأثير الرطوبة على أخشاب الأسقف – وادى بنى حبيب بسلطنة عمان	84
20-2	توضح التلف الناتج عن تأثير الرطوبة على أخشاب الأسقف – وادى بنى حبيب بسلطنة عمان	84
21-2	يوضح الأنضغاط الناتج عن تأثير السقالات على الأخشاب	89
22-2	من كنيسة Mirteto إيطاليا يتضح فيها الأنهيارات الحادثة لأحد التكوينات الخشبية ، وهذه الأنهيارات نتجت عن تأثير الضغوط والأحمال للتكوين الخشبى نفسه على البرطوم الخشبى المستعرض الذى حدث له انحناء وبالتالى حدث حركه للدعامات الرأسية التى تعلوه وبدورها أدت إلى حدوث إنكسار فى البرطوم العلوى للجمالون الواقع على اليسار	89
23-2	توضح قوى الشد الناتجه عن وجود المسامير المعدنية مؤدية تمزق للألياف الخشبية	90
24-2	توضح السلوك الإنشائى للبراطيم الخشبية عند الأنحناء	91
25-2	توضح بداية كسر البرطوم الخشبى عن قرب.	91
26-2	توضح السلوك الإنشائى للبراطيم الخشبية عند الأنحناء حيث تظهر الصورة شكل الكسر الذى يحدث للبراطيم الخشبية عند زيادة الأحمال عليها وبالتالى زيادة قوى الإنحناء	92
27-2	توضح شكل الخنفساء التى تصيب الأخشاب	94
28-2	توضح الأنفاق التى تحدثها الخنفساء داخل الأخشاب	94
29-2	توضح النمل الأبيض عند مهاجمة الخشب	96
30-2	توضح الثقوب والنقر التى يحدثها النمل الأبيض فى الخشب	96
31-2	توضح الثقوب والنقر التى يحدثها النمل الأبيض فى الخشب	96
32-2	توضح شكل الإصابة بالبكتريا وتدهور حالة الخشب وتحوله إلى ما يشبه البودرة	99
33-2	توضح شكل الإصابة بالبكتريا وتدهور حالة الخشب وتحوله إلى ما يشبه البودرة	99
34-2	توضح شكل الإصابة بالبكتريا وتدهور حالة الخشب وتحوله إلى ما يشبه البودرة	100
35-2	توضح الإصابه بالعفن الأبيض	102
36-2	توضح الإصابه بالعفن البنى	103
37-2	توضح ظهور تآكل الخشب بالبراطيم الخشبية- منزل أبوهم برشيد	104
38-2	توضح تحول سطح الخشب إلى مسحوق ناعم - منزل أبوهم برشيد	104
39-2	توضح نمو الفطريات من نوع Blue-stain fungiوالتى تنمو بكميات محدودة بمعنى أنها محدودة الإنتشار	105
40-2	توضح نمو الفطريات من نوع Blue-stain fungiوالتى تنمو بكميات محدودة بمعنى أنها محدودة الإنتشار	105
41-2	توضح نمو الفطريات من نوع Blue-stain fungiوالتى تنمو بكميات محدودة بمعنى أنها محدودة الإنتشار	105
42-2	صورة لسقف الإيوان الشمالي الغربي في مدرسة أم السلطان شعبان (قبل مشروع الترميم في 2006)	111
43-2	توضح تأثير الحريق على الأسقف الخشبية وإضعاف خواصها الميكانيكية – الأسقف الخشبية بمنطقة تحت الربع بالخيامية	112
44-2	توضح تأثير الحريق على الأسقف الخشبية وإضعاف خواصها الميكانيكية – الأسقف الخشبية بمنطقة تحت الربع بالخيامية	112
1-3	توضح جهاز قياس الكثافة	116

2-3	توضح شكل جهاز قياس المحتوى الرطوبى للأخشاب ، حيث يتم تثبيت الطرفين المعدنيين للجهاز فى الخشب ثم قراءة قيمة المحتوى الرطوبى فى شاشة الجهاز	118
3-3	توضح قطاع عرضى لنوع الصنوبر السكرى P.lambertiana	124
4-3	توضح قطاع عرضى لنوع الصنوبر الأبيض الغربىP. monticola	124
5-3	توضح قطاع عرضى لنوع الصنوبر الأبيض الشرقىP. strobus	124
6-3	توضح قطاع عرضى لنوع الصنوبر الأحمر	125
7-3	توضح قطاع عرضى لنوع الصنوبر -Ponderosa Pine	125
8-3	توضح قطاع عرضى لنوع الصنوبر الأصفر الجنوبى	125
9-3	الباحث أثناء إجراء أختبار قياس المحتوى الرطوبى للخشب الأثرى	126
10-3	طريقة تثبيت جهاز أختبار قياس المحتوى الرطوبى للخشب الأثرى	126
11-3	توضح العينات التى تم إجراء أختبار الكثافة لها	127
12-3	توضح أختبار جانكا Janka لتحديد صلادة الأخشاب	138
13-3	توضح العينات الخشبية بعد تجهيزها لأختبار مقاومة الضغط عموديا على الألياف	140
14-3	يوضح العينات الخشبية بعد تجهيزها لأختبار مقاومة الضغط موازيا للألياف	142
15-3	توضح شكل العينات الخشبية بعد إعدادها لأختبار مقاومة الشد	145
16-3	توضح شكل العينات الخشبية القياسية بعد إعدادها لأختبار مقاومة الشد	145
17-3	توضح شكل العينات الخشبية أثناء أختبار مقاومة الشد	145
18-3	توضح شكل العينات الخشبية أثناء أختبار مقاومة الشد ويظهر كسر العينة	145
1-4	توضح شكل العينات المتقادمة والقياسية بعد التجهيز و إجراء عمليات التقادم .	154
2-4	توضح شكل العينات المتقادمة بعد التجهيز و إجراء عمليات التقادم .	154
3-4	توضح شكل الجهاز الذى تم إستخدامه فى أختبار مقاومة الأنحناء	155
4-4	توضح بداية أختبار مقاومة الأنحناء لإحدى العينات الخشبية	156
5-4	توضح مراحل أختبار مقاومة الإنحناء لإحدى العينات الخشبية	156
6-4	توضح شكل كسر العينة الخشبية بعد أختبار مقاومة الأنحناء	156
7-4	توضح شكل العينات الخشبية التى تم معالجتها عن طريق اللف بشرائح البوليمرات المسلحة بالالياف	164
8-4	توضح شكل العينات الخشبية التى تم معالجتها عن طريق اللف بشرائح البوليمرات المسلحة بالالياف	164
9-4	توضح شكل إحدى العينات الخشبية التى تم معالجتها بشرائح البوليمرات المسلحة بالالياف من جانبين	164
10-4	توضح شكل إحدى العينات الخشبية التى تم معالجتها بشرائح البوليمرات المسلحة بالالياف من جانب واحد	165
11-4	توضح شكل إحدى العينات الخشبية التى تم معالجتها بشرائح البوليمرات المسلحة بالالياف من جانب واحد	165
12-4	توضح شكل إحدى العينات الخشبية التى تم معالجتها بشرائح البوليمرات المسلحة بالالياف أثناء إعدادها لأختبار مقاومة الأنحناء	165
13-4	توضح شكل إحدى العينات الخشبية التى تم معالجتها بشرائح البوليمرات المسلحة بالالياف أثناء إجراء أختبار مقاومة الأنحناء	165
14-4	توضح شكل إحدى العينات الخشبية التى تم معالجتها بشرائح البوليمرات المسلحة بالالياف أثناء	165

	إجراء أختبار مقاومة الأنحناء	
15-4	توضح شكل إحدى العينات الخشبية التى تم معالجتها بشرائح البوليمرات المسلحة بالالياف بعد إجراء أختبار مقاومة الأنحناء	165
16-4	توضح شكل العينات الخشبية القياسية.	171
17-4	توضح شكل العينات الخشبية بعد إجراء عمليات التقادم	171
18-4	توضح شكل إحدى العينات الخشبية التى تم معالجتها بشرائح البوليمرات المسلحة بالالياف أثناء إجراء أختبار مقاومة الأنحناء	172
19-4	توضح شكل أحد العينات المتقادمة حراريا أثناء أختبار مقاومة الأنحناء	172
20-4	توضح شكل أحد العينات المتقادمة حراريا أثناء أختبار مقاومة الأنحناء	172
21-4	توضح شكل إنكسار إحدى العينات القياسية بعد أختبار مقاومة الإنحناء	172
22-4	توضح شكل بعض العينات الخشبية بعد الأنتهاء من أختبار مقاومة الأنحناء	172
23-4	توضح شكل جانب بعض العينات الخشبية بعد الأنتهاء من أختبار مقاومة الأنحناء	172
24-4	توضح شكل بعض العينات الخشبية بعد العلاج بأستخدام الألياف المسلحة بالبوليمرات عن طريق اللف	179
25-4	توضح شكل بعض العينات الخشبية بعد العلاج بأستخدام الألياف المسلحة بالبوليمرات عن طريق اللف	179
26-4	توضح شكل بعض العينات الخشبية بعد العلاج بأستخدام الألياف المسلحة بالبوليمرات عن طريق التسليح من الجانبين	180
27-4	توضح شكل بعض العينات الخشبية بعد العلاج بأستخدام الألياف المسلحة بالبوليمرات عن طريق التسليح من الجانبين	180
28-4	توضح أختبار مقاومة الأنحناء للعينات المعالجة بالألياف المبلمرة عن طريق اللف	180
29-4	توضح أختبار مقاومة الأنحناء للعينات المعالجة بالألياف المبلمرة عن طريق اللف	180
30-4	توضح أختبار مقاومة الأنحناء للعينات المعالجة بالألياف المبلمرة من الجانبين	181
31-4	توضح أختبار مقاومة الأنحناء للعينات المعالجة بالألياف المبلمرة من الجانبين	181
32-4	توضح شكل العينات الخشبية المعالجة بأستخدام الاستانلس ستيل	181
33-4	توضح شكل العينات الخشبية المعالجة بأستخدام الاستانلس ستيل	181
34-4	توضح أختبار مقاومة الأنحناء للعينات المعالجة بالأستانليس ستيل	182
35-4	توضح أختبار مقاومة الأنحناء للعينات المعالجة بالأستانليس ستيل	182
36-4	توضح البرطوم الخشبى المستخدم فى أختبار مقاومة الأنحناء وطريقة تجهيزه	186
37-4	توضح البرطوم الخشبى المستخدم فى أختبار مقاومة الأنحناء وطريقة تجهيزه	186
38-4	توضح البرطوم الخشبى المستخدم فى أختبار مقاومة الأنحناء وطريقة تجهيزه	186
39-4	توضح شكل العينات الخشبية قبل الأختبار	189
40-4	توضح شكل ماكينة أختبار مقاومة الأنحناء	189
41-4	توضح شكل جهاز قراءة إنحناء العينة Data Logger	189
42-4	توضح شكل العينات الخشبية قبل إجراء أختبار مقاومة الأنحناء	190
43-4	توضح شكل العينات الخشبية قبل إجراء أختبار مقاومة الأنحناء	190
44-4	توضح شكل العينات الخشبية بعد إجراء أختبار مقاومة الأنحناء	190
45-4	توضح شكل العينات الخشبية بعد إجراء أختبار مقاومة الأنحناء	190

46-4	توضح شكل أحدى العينات الخشبية قبل إجراء أختبار مقاومة الأنحناء	191
47-4	توضح شكل أحدى العينات الخشبية بعد إجراء أختبار مقاومة الأنحناء ويلاحظ حدوث الكسر فى منتصف العينة	191
48-4	توضح شكل أحدى العينات الخشبية قبل إجراء أختبار مقاومة الأنحناء	191
49-4	توضح شكل أحدى العينات الخشبية بعد إجراء أختبار مقاومة الأنحناء ويلاحظ أنتشار وأتساع الشروخ الطولية فى العينة	191
50-4	شكل العينة رقم B1قبل إجراء أختبار مقاومة الأنحناء،وتظهر بالعينة شروخ ممتدة متقطعة نافذة إلى 5مم تقريبا. وبالنسبة لحالتها النسبية فهى تعتبر بحالة متوسطة حيث كانت تقع فى الثلث الأول من البرطوم	192
51-4	توضح شكل العينة رقم B1 بعد إجراء أختبار مقاومة الأنحناء،ويتضح إتساع الشرخ فى الجزء الأيمن من العينة	192
52-4	شكل العينة رقم B2 قبل إجراء أختبار مقاومة الأنحناء،ويظهر وجود شروخ دقيقة سطحية بالعينة، وتعتبر حالتها جيدة بالنسبة لباقى القطع على الرغم من أن مكانها كان فى منتصف البرطوم	193
53-4	شكل العينة B2 بعد الأختبار ويتضح عدم إتساع الشروخ	193
54-4	شكل العينة رقم B3 قبل إجراء أختبار مقاومة الأنحناء، وتظهر بها شروخ ممتدة بطول العينة ومتقطعة ونافذة إلى 3مم تقريبا، وتعتبر حالتها سيئة بالنسبة لباقى القطع على الرغم من انها كانت فى طرف البرطوم	194
55-4	شكل العينة رقم B3 بعد إجراء أختبار مقاومة الأنحناء، الصورة من خلف العينة ويظهر بها الكسر فى الجانب الأيسر السفلى	194
56-4	شكل العينة رقم B4قبل إجراء أختبار مقاومة الأنحناء،ويظهر بها شروخ عميقة ومنتشرة بمعظم العينة ، وتعتبر من أسوأ الحالات التى وجدت بالبرطوم وكانت تقع فى طرف البرطوم، وهذا يدل أن مقاومة الإنحناء تؤثر على أطراف البرطوم وليس فى المنتصف	195
57-4	شكل العينة رقم B4بعد إجراء أختبار مقاومة الأنحناء، ويتضح إتساع الشروخ من الطرف	195
58-4	شكل العينة رقم B5قبل إجراء أختبار مقاومة الأنحناء،وتعتبر بحالة جيدة جدا	196
59-4	شكل العينة رقم B5بعد إجراء أختبار مقاومة الأنحناء، يظهر بها أن الكسر حدث فى منتصف العينة	196
60-4	شكل العينة رقم B6قبل إجراء أختبار مقاومة الأنحناء،وتظهر بها شروخ دقيقة ، وتعتبر بحالة جيدة	197
61-4	شكل العينة رقم B6بعد إجراء أختبار مقاومة الأنحناء،ويتضح أن الكسر جاء فى المنتصف، وهذا يدل أن العينات الخالية نسبيا من العيوب يحدث لها الكسر فى المنتصف بسبب عدم وجود نقاط ضعف تتأثر بالإنحناء أو أى قوى أخرى	197
62-4	توضح شكل نسيج الألياف المسلحة بالبوليمرات قبل التطبيق	202
63-4	توضح بدء تطبيق مادة السيكا ديور 330 على الخشب مباشرة	202
64-4	توضح طريقة تطبيق الألياف المسلحة بالبوليمرات	202
65-4	توضح الشكل النهائى للعينات الخشبية بعد علاجها بالألياف المسلحة بالبوليمرات	203
66-4	توضح الشكل النهائى للعينات الخشبية بعد تدعيمها بالألياف المسلحة بالبوليمرات	203
67-4	توضح العينات الخشبية المعالجة بالألياف المسلحة بالبوليمرات أثناء أجراء أختبار مقاومة الأنحناء	203
68-4	توضح تثبيت وحدة الضغط Load Cell لماكينة الأختبار فى نفس مكان إجراء الأختبار قبل العلاج	203