جامعة عين شمس
كلية الهندسة
قسم الهندسة المعمارية

دراسة تقييم المباني باستخدام المجسمات المعمارية

"دراسة متخصصة في المباني الإدارية"

رسالة مقدمة من

المهندس / محمد زكريا محمد القندقلى

بكالوريوس الهندسة المعمارية ٢٠٠٤ – جامعة عين شمس

للحصول على درجة

الماجستير في الهندسة المعمارية

تحت إشراف

أ.د/ ياسر محمد منصور

أستاذ ورئيس قسم العمارة

كلية الهندسة – جامعة عين شمس

أ.م.د/ أحمد عاطف الدسوقي

أستاذ (مساعد) بقسم العمارة

كلية الهندسة – جامعة عين شمس

أ.م.د/مصطفى رفعت إسماعيل

أستاذ (مساعد) بقسم العمارة

كلية الهندسة – جامعة عين شمس

٢٠١٥

بسم الله الرحمن الرحيم

(وَقُل رَّبِّ زِدْنِي عِلْماً)

سورة طه: من الآية (١١٤)

صدق الله العظيم

جامعة عين شمس

كلية الهندسة

قسم الهندسة المعمارية

اعتماد الرسالة

الاسم: محمد زكريا محمد القندقلى

عنوان الرسالة: دراسة تقييم المباني باستخدام المجسمات المعمارية
(دراسة متخصصة في المباني الإدارية)

الدرجة: ماجستير في علوم العمارة

لجنة الحكم والمناقشة:

	التوقيع
أ.د / أحمد فريد حمزة أستاذ العمارة بقسم العمارة – كلية هندسة شبرا – جامعة بنها	( )
أ.د/ سيد مدبولي علي أستاذ العمارة – قسم العمارة – كلية هندسة – جامعة عين شمس	( )
أ.د/ ياسر محمد منصور أستاذ ورئيس قسم العمارة – كلية الهندسة – جامعة عين شمس	( )
د/ أحمد عاطف الدسوقي أستاذ مساعد بقسم العمارة – كلية الهندسة – جامعة عين شمس	( )

ختم الاعتماد **يعتمد ،،**

/ / ٢٠١٥

اعتماد مجلس الكلية **اعتماد مجلس الجامعة**

/ / ٢٠١٥ / / ٢٠١٥

جامعة عين شمس

كلية الهندسة

قسم الهندسة المعمارية

إقـرار

هذا البحث مقدم إلى جامعة عين شمس للحصول على درجة الماجستير في الهندسة ، تم إنجاز هذا البحث بقسم الهندسة المعمارية ، بكلية الهندسة – جامعة عين شمس من عام ٢٠٠٦ إلى ٢٠١٢.

هذا ولم يتم تقديم أي جزء من هذا البحث لنيل أي مؤهل أو درجة علمية لأي معهد علمي آخر.

و هذا إقرار مني بذلك ،،،

التوقيع:

الاسم: محمد زكريا محمد القندقلى

التاريخ: ١ / ١٠ / ٢٠١٢

شكر وتقدير

أتقدم بالشكر والتقدير إلى أساتذتي المشرفين على الرسالة وذلك لتوجيهاتهم وإرشاداتهم القيمة أثناء إعداد هذا البحث في مراحله المختلفة كما أتقدم بالشكر لإدارة المركز القومي للبحوث على الإرشادات والمعلومات القيمة التي ساهمت على رفع كفاءة هذا البحث.

كما اهدي شكري وتقديري الخاصين إلى عائلتي وزملائي على دعمهما المتواصل لي و إلى كل من ساعدني في جميع مراحل البحث.

أحمد الله أولاً وأخيراً على توفيقه ،،،

الباحث

عنوان البحث: دراسة تقييم المبانى باستخدام المجسمات المعمارية

" دراسة متخصصة في المباني الإدارية"

مقدمة من / محمد زكريا محمد القندقلى

تقدم هذه الرسالة دراسة لأسلوب المحاكاة العملي من خلال تجارب عملية للمحاكاة يتم فيها محاكاة البيئة الواقعية للمبنى ودراسة بعض المؤثرات البيئية عليه وتحليل تلك التجارب من خلال نماذج مجسمة للوصول خلال توصيات ناتجة عنها من خلال تحديث أساليب الإنشاء أو مواد التشطيب أو مواد العزل الصوتي والتوزيع الجيد للإضاءة الطبيعية والصناعية بالمبنى إلى زيادة كفاءة تلك المباني من النواحي التصميمية والبيئية.

الكلمات المفتاحية

- المجسمات المادية
- الأدوات التصميمية
- عمارة المجسمات
- المادة
- التعليم الجامعي
- تجارب عملية
- الإدراك العملي

ملخص الرسالة

المجسمات المادية لها الكثير من الإيجابيات في مختلف المجالات المعمارية كإحدى أهم الأدوات المساعدة في عملية التصميم المعماري ؛ فالمجسم بالنسبة للمهـــندس والمصمم المعمـــاري هو التتويج النهائي لأفكاره ؛ والتعبير الحي المجسد لأحلامه عن المبنى أو المنشأ المزمع إقامته وقد تجسدت بين يديه لأول مرة.

ويلعب المجسم المعماري دور "المغناطيس" فبقدر ما يكون جميلا جذابا فهو يتضمن أفكارا هندســـية جديدة ومبتكرة تجذب الأنظار إليه خاصة بعد دخول التقنية الفنية الحديثة إلى عالم التصميم المعماري.

ويخلص البحث إلى موضوعين رئيسين **الأول** هو إمكانية عمل تجـــارب على **المجسمات المادية** لتقييم حالة المباني الفعلية و**الثاني** هو الوصول من نتائج تلك التجارب العملية على النماذج المجسمة إلى نقاط الضعف في المباني من النواحي المعمارية وإمكانية تلافيها فيما بعد أو محاولة تجنبها في مراحل التصميم المختلفة.

أقيمـت الدراســة علــي ســتة فصــول رئيســية تمثلــت فــي توضــيح المقدمــة والتعريــف بـــأطراف المشـــكلة البحثـــية والعلاقـــة بينهمـــا وأخيـــرا الدراســـة التطبيقيـــة والتجـــارب العمليـــة ، حيـــث شـــمل **الفصـــل الأول** عـــــلي المقدمـــة والتعريـــف بالمشـــكلة البحثيـــة ، فرضـــيات البحـــث ،المنهجيـــة البحثيـــة، المســـتفيدين مـــــن الدراســـــة والأهـــداف ،كمـــا اشـــتملت علـــي المحـــددات الدراســـية، ومـــن ثـــم توضـــيح الأســـس العـــــلمية التـــي تأســـــس عليهـــا البحـــث والتـــي تمثلـــت فـــي دراســـات اشـــتملت علـــى اســـتعراض الخلفيـــة التاريخيـــة للمجســـمات المـــــادية علـــى مـــر العصـــور المختلفـــة و توضـــيح انـــواع المجســـمات وتصـــنيفها مـــن حيـــث كونهـــا مـــن المجســـمات المبدئيـــة او مـــن مجســـمات الإختبـــارات ، واســـتعرض **الفصـــل الثـــانى** الوســـائل والأدوات المســـتخدمة فـــى تصـــنيع المجســـمات والأســـاليب المتطـــورة حيـــث تنقســـم إلـــى أســـاليب تقليديـــة يدويـــة وأخـــرى تكنولوجيـــة متطـــورة باســـتخدام تقنيـــة التقطيـــع و الحفـــر الآلـــى والمتمثلـــة فـــى ماكينـــات التقطيـــع الكهروكيميائيـــة وماكينـــات التقطيـــع و الحفـــر بـــالليزر وأنـــواع المجســـمات الماديـــة واســـتعراض الأدوات والمعـــدات الخاصـــة بتصـــنيع تلـــك المجســـمات ســـواء كانـــت يدويـــة أو آليـــة ، وتخصـــص **الفصـــل الثالـــث** فـــى اســـتعراض دور المجســـمات الماديـــة فـــي مجـــالات الحيـــاة العامـــة ومنهـــا مجـــــالات التعلـــيم المعمـــاري فـــي الجامعـــات واســـتوديوهات المجســـمات لـــدى أشـــهر المعمـــاريين ومجـــالات التوثيـــق الأثـــري والعـــرض المتحفـــي وفنـــون صـــناعة الســـينما والخـــدع البصـــرية ومجـــالات إنشـــاء الســـدود وتقييـــــم الكـــوارث الطبيعيـــة كـــالزلازل والعواصـــف الهوائيـــة كمـــا يـــدرس أيضـــا

بعض الأمثلة المعمارية التي اعتمدت في التصميم على استخدام المجسمات المادية.

بينما تخصص **الفصل الرابع** في توضيح الفائدة المعمارية من استخدام أسلوب التقييم باستخدام المحاكاة المجسمة وكيفية مساهمته في حل بعض المشكلات المعمارية فى مراحل التصميم المبكرة ومدى تاثير تلك المجسمات على تغيير الفكر التصميمى لدى المصمم المعمارى من خلال مجموعة المشكلات التصميمية المعقدة التى تواجهه فى بدايات التصميم ، أما **الفصل الخامس** فقد استعرض مدى تاثير المجسمات المعمارية فى تقييم بعض المشروعات الإدارية فى فترة ما بعد التشغيل والتعرف على المشكلات التى نتجت من مراحل التصميم و التنفيذ وكان لها أثرا سلبيا فى مرحلة التشغيل على تلك المبانى ويختم البحث **بالفصل السادس** والأخير حيث النتائج النهائية للبحث والتعرف على توصيات البحث العامة و المستقبلية كما يستعرض فى ملحق منفصل نتائج استبيان تم حصره على مستوى بعض الجامعات المصرية والعالمية وبعض الشركات المعمارية وأعضاء هيئة التدريس لبيان أهمية استخدام هذا الأسلوب في التقييم على جميع مستويات التصميم المعماري ومراحله المختلفة.

مدخل البحث:

وكما يمثل المجسم مفتاح السر الذى يفتح مغاليق ثقة العملاء ويساعد على اتخاذ قرار الشراء فإنه يمكن الاعتماد عليه أيضا في تقييم أداء المبنى ومدى كفاءته قبل وبعد تشييده في الطبيعة من خلال الاختبارات العملية على المجسم ذاته ؛ وبذلك يكون المصمم قد جمع بين الفن والجمال والكفاءة العالية في الأداء الوظيفي والبيئي للمبنى.

الإشكالية البحثية:

لقد نمى في الأذهان لدى معظم المصممين والمهندسين المعماريين أن للمجسم المعماري هدف واحد محدد وهو الإحساس بتكوين المبنى وكيفية ارتباطه بالبيئة المحيطة واختيار الألوان المناسبة له وتم إغفال كيف يمكن أن يقوم المجسم المعماري بدور أكثر فاعلية من ذلك وهو وصوله إلى درجة تقييم المبنى نفسه وظيفيا وبيئيا من خلال تجارب عمليه عليه ؛ ومن هنا كان استعراض هذا الأسلوب من الأساليب الفنية الواقعية لتقييم المباني ضرورة ملحة فى المجال المعمارى حيث يمتلك هذا الأسلوب القدرة على توضيح مدى كفاءة المبنى من جميع الاتجاهات المعمارية وهل سينجح المبنى في كل جوانبه الوظيفية والفنية والمعمارية والبيئية ؟ أم سيقصر في إحدى هذه الجوانب ؟ كما يمكن تطبيق هذا الأسلوب على مباني قائمة بالفعل وذلك لتحسين درجة كفاءة المبنى من خلال بعض المعالجات التي يتم القيام بها على المجسم والتي

سيكون لها بالغ الأثر في تفعيل كفاءة المبنى إذا ما طبقت عليه في الواقع في حدود ما يمـــــكن لذلك على أرض الواقع.

وبذلك نجد أن هذا الأسلوب الجديد في تقييم المباني يفرض العديد من التساؤلات حوله ومنها.

- ماهي أسباب ظهور مثل هذا الأسلوب في التقييم ؟
- ما هي النظريات والأسس المتبعة في هذا الأسلوب من أساليب المحاكاة ؟
- ما هي المحددات التصميمية والمعملية الواجب مراعاتها عند استخدام هذا الأسلوب ؟
- ماذا يمكن أن يحدث لو تم التأثير على المجسم بنفس التأثيرات الطبيعية المؤثرة على المبنى في الواقع ؟
- هل يمكن بالفعل زيادة كفاءة أداء المبنى باستخدام هذا لأسلوب ؟

هدف البحث:

يهدف البحث إلى إمكانية الوصول لأعلى معدل لكفاءة أداء المبنى وظيفيا وجماليا وبيئيا من خلال دراسة بحثية نظرية وعملية تناقش أسلوب المحاكاة العملى على المبانى باستخدام المجسمات و دورها في تقييم أداء المباني المعمارية.

المنهجية البحثية:

تقوم الدراسة على إتباع منهج التحليل و التحليل المقارن من خلال مدخل نظري يضم تحليل كل ما تشتمل عليه المجسمات المعمارية من بدايات التصنيع و الادوات المستخدمة إلى مجالات الإستخدام المختلفة ثم إتباع منهجية تطبيقية من خلال تجارب عملية يتم فيها تحليل معظم مشكلات المبنى واستنتاج نتائج عملية من خلال عمل تجارب يتم مقارنتها بالقياسات الواقعية تمهيدا لإيجاد البدائل التي تزيد من كفاءة أداء المجسم المعماري ومن ثم استنتاج بعض الحلول التي أضيفت لهذه المباني بناء على تلك النتائج لتتحمل بعض تلك المؤثرات أو على الأقل التقليل من تأثيرها قـــــدر الإمكان على المبنى في المستقبل.

محتويات البحث

ملخص الرسالة ..... **ج**
مدخل البحث: ..... د
الإشكالية البحثية: ..... د
هدف البحث: ..... هـ
المنهجية البحثية: ..... هـ
محتويات البحث ..... **و**
فهرس الجداول ..... **ط**
فهرس الأشكال ..... **ي**
مقدمة البحث **١**
الفصل الأول: خلفية عن المجسمات المادية **٢**
١-١- المقدمة: ٣
١-٢- خلفية تاريخية. ٣
١-٣- أنواع المجسمات المادية: ٩
١-٣-١- المجسمات المادية المبدئية: ٩
١-٣-٢- المجسمات الاختبارية التجريبية: ١٣
١-٤- الخلاصة والنتائج. ١٦
الفصل الثانى: الوسائل والأدوات المستخدمة فى صناعة المجسمات **١٧**
٢-١- المقدمة: ١٨
٢-٢- أدوات الرسم الهندسية. ١٨
٢-٣- أدوات التقطيع والتشكيل اليدوي. ١٩
٢-٤- التقطيع الآلي: ٢٢
٢-٤-١- أجهزة التقطيع بواسطة أشعة الليزر. ٢٢
٢-٤-٢- أجهزة التقطيع الكهروكيميائية والأمواج فوق الصوتية. ٢٤
٢-٥-الخلاصة والنتائج. **٢٨**
الفصل الثالث: الإستخدامات المختلفة للمجسمات المادية **٢٩**
٣-١- مقدمة: ٣٠
٣-٢ استخدام المجسمات المادية في ورش المعماريين: ٣٠

٣-٣- مجالات التعليم المعماري:..... ٣٥
٣-٤- مجالات التوثيق الأثري للآثار: ٤٠
٣-٥- مجالات العرض المتحفي: ٤٣
٣-٦- مجالات صناعة السينما:..... ٤٦
٣-٧- مجالات إنشاء السدود ومحاكاة مجارى الأنهار والفيضانات: ٥٠
٣-٨- مجالات تقييم الكوارث الطبيعية مثل الزلازل والعواصف الهوائية: ٥٤
٣-٩- الخلاصة والنتائج: ٦٠
الفصل الرابع: تأثير المجسمات المعمارية على الفكرة التصميمية ٦١
٤-١- مقدمة: ٦٢
٤-٢- الفكرة التصميمية تعتمد على محاكاة البيئة المحيطة: ٦٢
٤-٢-١- مبنى المكتبة المتعددة الأغراض (ملجأ الشتاء المتجمد)- مدينة سندای - اليابان -٢٠٠١: ٦٢
٤-٢-٢- الفكرة التصميمية و موقع المشروع: ٦٣
٤-٢-٣- المشكلة التصميمية:..... ٦٣
٤-٢-٤-التجارب العملية على المجسمات:..... ٦٣
٤-٢-٥- نتائج التجربة: ٦٦
٤-٣- الفكرة التصميمية تعتمد على النظام الإنشائى:..... ٦٦
٤-٣-١ برج الملينيوم – طوكيو – اليابان -١٩٨٩: ٦٦
٤-٣-٢- الفكرة التصميمية و موقع المشروع: ٦٧
٤-٣-٣ المشكلة التصميمية: ٦٧
٤-٣-٤ التجارب العملية على المجسمات: ٦٧
٤-٣-٥- نتائج التجربة: ٦٩
٤-٤- الفكرة التصميمية تعتمد على ابتكار أسلوب معمارى جديد:..... ٧٠
٤-٤-١- مدينة (شيموزو) الهرمية- طوكيو – اليابان: ٧٠
٤-٤-٢-الفكرة التصميمية وموقع المشروع ٧٠
٤-٤-٣- المشكلة التصميمية:..... ٧١
٤-٤-٤- التجارب العملية على المجسمات:..... ٧١
٤-٤-٥- نتائج التجربة: ٧٢
٤-٥- الخلاصة والنتائج:..... ٧٤

الفصل الخامس: تأثير المجسمات المعمارية فى تقييم مشروعات المبانى الإدارية بعد التشغيل. ٧٥
٥-١- مقدمة:..... ٧٦
٥-٢- أسباب إختيار المبانى الإداية فى الدراسة: ٧٦
٥-٣- مقر شركة "أتش تي سي " تايبيه – بيثاكيا – تايوان ٢٠٠١: ٧٦
٥-٣-١ المشكلة التصميمية خلال فترة التشغيل: ٧٧
٥-٣-٢- التجربة العملية بالمحاكاة:..... ٧٨
٥-٣-٣- نتائج التجربة: ٨٠
٥-٤- المقر الإداري لشركة "كي بي إم جي" كوبنهاجن – الدنمارك – ٢٠٠٣:..... ٨١
٥-٤-١- المشكلة التصميمية خلالا فترة التشغيل:..... ٨١
٥-٤-٢- التجربة العملية بالمحاكاة..... ٨٢
٥-٤-٣- نتائج التجربة ٨٤
٥-٥- الخلاصة والنتائج..... ٨٦
الفصل السادس: نتائج البحث والتوصيات المستقبلية المقترحة..... ٨٧
٦-١- وصف مجال البحث:..... ٨٨
٦-٢- نتائج البحث: ٨٨
٦-٣- اهمية استخدام المجسمات فى المجال المعمارى..... ٩٠
٦-٤- التوصيات المستقبلية المقترحة..... ٩١
ملحق الاستبيان:..... ٩٢
المراجـــع ١٠٣
أولاً: المراجع باللغة العربية: ١٠٣
ثانياً: المراجع الأجنبية: ١٠٣
ثالثاً: مواقع الإنترنت: ١٠٤
الملاحـــق..... ١٠٥
الملخص باللغة الإنجليزية 1-3

فهرس الجداول

جدول رقم (٦-١): يوضح عينات الفئة الهندسية العامة بدون الهندسة المعمارية ٩٣
جدول رقم (٦-٢): يوضح عينات الفئة الهندسية المعمارية بمختلف الاهتمامات: ٩٤
جدول رقم (٦-٣): يوضح عينات الفئة الهندسية الخاصة بطلبة الكليات المعمارية ٩٥
جدول رقم (٦-٤): يوضح عينات فئة القطاعين العام والخاص وأصحاب الشركات والمتخصصون في المجسمات المادية ٩٦
جدول رقم (٦-٥): يوضح تحليل عينات الفئة الهندسية العامة بدون الهندسة المعمارية..... ٩٨
جدول رقم (٦-٦): يوضح تحليل عينات الفئة الهندسية المعمارية بمختلف الاهتمامات ٩٩
جدول رقم (٦-٧): يوضح تحليل عينات الفئة الهندسية الخاصة بالكليات المعمارية ١٠٠
جدول رقم (٦-٨): يوضح تحليل عينات فئة القطاعين العام والخاص وأصحاب الشركات والمتخصصون في المجسمات المادية ١٠١

فهرس الأشكال

شكل رقم (١-١) مجموعة من الجنود المصريين القدماء – المتحف المصري ٤
شكل رقم (١-٢) الالتزام الدينى فى المعابد المصرية القديمة ٤
شكل رقم) ١-٣) مركب الشمس فى رحلة الدفن – المتحف المصرى ٤
شكل رقم (١-٤) نموذج لمركب الشمس – المتحف المصرى..... ٥
شكل رقم (١-٥) نموذج ورشة نجارة لصنع الأخشاب – المتحف المصرى ٥
شكل رقم (١-٦) تمثال شيخ البلد من الأبنوس – المتحف المصرى ٥
شكل رقم (١-٧) نموذج تمثال الملك منتوحتب الثانى – متحف الآثار – الاسكندرية ٦
شكل رقم (١-٨) نموذج تمثال الملك منتوحتب الثانى – متحف الآثار – الاسكندرية ٦
شكل رقم (١-٩) معبد أبو سمبل – الأقصر..... ٦
شكل رقم (١-١٠) تمثال أبو الهول – هضبة الأهرام – الجيزة..... ٦
شكل رقم (١-١١) نموذج لآلهة اليونان – متحف الآثار – الاسكندرية ٧
شكل رقم (١-١٢) نموذج رأس الاسكندر المقدونى– متحف الآثار – الاسكندرية..... ٧
شكل رقم (١-١٣) نموذج احد كبار قادة الجيش الرومانى – متحف الآثار – الاسكندرية..... ٧
شكل رقم (١-١٤) نموذج حفر على الحائط لملك فارس ٨
شكل رقم (١-١٥) نموذج حفر على الحائط لملك فارس ٨
شكل رقم (١-١٦) نموذج كجسم لأسد منحوت في الحجر _ إيران..... ٩
شكل رقم (١-١٧) نموذج منحوت لأحد المعارك الحربية – متحف إيران ٩
شكل رقم (١-١٨) مجسم من البلاستيك الأبيض..... ١٠
شكل رقم (١-١٩) مجسم دراسي من الكرتون ١٠
شكل رقم (١-٢٠) مجسم كتلى من الفوم والكرتون والخشب..... ١٠
شكل رقم (١-٢١) مجسم طبوغرافي لخطوط الكونتور. ١١
شكل رقم (١-٢٢) مجسم داخلي من البلاستيك يوضح العلاقات بين الفراغات الداخلية وكيفية الاتصال بين كل فراغ والآخر ١١
شكل رقم (١-٢٣) مجسم داخلي من البلاستيك يوضح اتصال الدورين من خلال سلم داخلي كما يمكن فرش الفراغات الداخلية لاختبار مسطحات الحركة..... ١١
شكل رقم (١-٢٤) مجسم إنشائي جملوني خشبي..... ١٢
شكل رقم (١-٢٥) مجسم من البلاستيك لمنشأ هيكلي يعلوه منشأ حديدي خفيف ١٢

شكل رقم (١-٢٦) مجسمات واجهات المبانى من الخشب و البلاستيك ١٢
شكل رقم (١-٢٧) مجسمات واجهات المبانى من الخشب و البلاستيك ١٢
شكل رقم (١-٢٨) قطاع لمجسم داخلى فى أحد المسارح..... ١٣
شكل رقم (١-٢٩) قطاع لمجسم داخلى متعدد الطوابق ١٣
شكل رقم (١-٣٠) مجسم إختبار للظل و الظلال على المبانى و الأرض ١٣
شكل رقم (١-٣١) مجسم يوضح الإضاءة الصناعية فى المجسم ١٤
شكل رقم (١-٣٢) مجسم يوضح الإضاءة الصناعية فى المجسم ١٤
شكل رقم (١-٣٣) مجسم دراسي لمحاكاة حركة الرياح على المبنى. ١٤
شكل رقم (١-٣٤) مجسم داخلي لتوضيح توزيع الإضاءة داخل المبنى..... ١٥
شكل رقم (٢-١) أدوات رسم وإظهار الخطوط ١٨
شكل رقم (٢-٢) مساطر القياس ١٩
شكل رقم (٢-٣) أدوات رسم الخطوط الرأسية والمائلة والدائرية..... ١٩
شكل رقم (٢-٤) أدوات اللصق والتنظيف. ١٩
شكل رقم (٢-٥) أدوات التقطيع..... ١٩
شكل رقم (٢-٦) أدوات التقطيع..... ٢٠
شكل رقم (٢-٧) منشار يدوي..... ٢٠
شكل رقم (٢-٨) مقصات ٢٠
شكل رقم (٢-٩) أدوات التقطيع الآلية..... ٢١
شكل رقم (٢-١٠)أنواع المواد اللاصقة..... ٢١
شكل رقم (٢-١١)ماكينة STEREO LITHOGRAPHY APPARATUS ٢٢
شكل رقم (٢-١٢) خطوات العمل بماكينة الليزر..... ٢٢
شكل رقم (٢-١٣) خطوات العمل بماكينة الليزر..... ٢٢
شكل رقم (٢-١٤) ماكينة الليزر الانتقائى بالتكلس ٢٣
شكل رقم(٢-١٥) خطوات عمل ماكينة الصنيع السريع..... ٢٣
شكل رقم (٢-١٦) عملية تصنيع المجسم بالماكينة ٢٤
شكل رقم (٢-١٧) كيفية عمل الماكينة بخطوط الليزر ٢٤
شكل رقم (٢-١٨) ماكينة تصنيع المجسم..... ٢٤
شكل رقم (٣-١) متحف جوجنهايم بلباو ٣١
شكل رقم (٣-٢) صورة المجسم الدراسي..... ٣١