بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده‌ی معماری و شهرسازی
گروه تکنولوژی معماری

پایان نامه
جهت اخذ درجه‌ی کارشناسی ارشد
رشته مهندسی تکنولوژی معماری(فناوری معماری)

عـــنـــوان:

طراحی فرم بهینه گنبدهای کروی تک لایه ساخته شده از نقوش هندسی اسلامی به عنوان عناصر باربر سازه‌ای

نگارش:
احسان مسعودی

استاد راهنما:
دکتر محسن وفامهر

استاد مشاور:
دکتر یاسر شهبازی

شهریور ۹۲

اظهارنامه‌ی دانشجو

اینجانب **احسان مسعودی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **تکنولوژی معماری** گرایش ..... گروه تکنولوژی معماری دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه هنر اسلامی تبریز به شماره‌ی دانشجویی **۹۰۱۳۲۳۰۹** تعهد می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه با عنوان **طراحی فرم بهینه گنبدهای کروی تک لایه ساخته شده از نقوش هندسی اسلامی به عنوان عناصر باربر سازه‌ای** توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تأیید می باشد و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. همچنین تعهد می نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه چارچوب مصوب دانشگاه را به طور کامل رعایت کرده‌ام و هرگونه مقاله مستخرج از دستاوردهای این پایان نامه را با ذکر نام استاد راهنما، استاد مشاور و دانشجو منتشر خواهم کرد. همچنین کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق، همچنین چاپ و تکثیر، نسخه برداری، ترجمه و اقتباس از این پایان‌نامه کارشناسی ارشد، برای دانشگاه هنر اسلامی تبریز محفوظ است.

امضاء دانشجو:

تاریخ:

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه هنر اسلامی تبریز
۱۳۷۸

بسمه تعالی

تاریخ: ۹۲/۸/۴
شماره: ۱۴۲۲
پیوست:

جلسه دفاعیه پایان نامه تحصیلی **آقای احسان مسعودی** به شماره دانشجویی ۹۰۱۳۲۳۰۹دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی تکنولوژی معماری دانشکده معماری و شهرسازی تحت عنوان: **طراحی فرم بهینه گنبدهای کروی تک لایه ساخته شده از نقوش هندسی اسلامی به عنوان عناصر باربر سازه ای**

به ارزش **۴** واحد درساعت ۸/۳۰ روز شنبه تاریخ ۹۲/۶/۲۳ توسط اعضای هیئت داوران بشرح ذیل تشکیل گردید و ضمن ارزیابی بانمره به عدد ۱۹/۳ به حروف نوزده و سیصد (نهم) و درجه با اصلاحات/ بدون اصلاحات مورد تصویب قرار گرفت .

	۱- استاد راهنما : **آقای دکتر محسن وفامهر**	امضاء
هیئت	۲- استاد مشاور: **آقای دکتر یاسر شهبازی**	امضاء
داوران	۳- **آقای دکترعباس غفاری**	امضاء
	۴- **آقای دکترمحمدرضا چناقلو**	امضاء

نماینده آموزش
نام و نام خانوادگی
امضاء

رئیس دانشکده
نام و نام خانوادگی
امضاء

با تشکر از

تکیه گاه همیشگی ام

پدرم...

مهر آفرین هستی ام

مادرم...

و خواهر و برادر بهتر از جانم...

تقدیم به استاد عزیزم

دکتر یاسر شهبازی

بر خود لازم می دانم از استاد ارجمندم ، **جناب آقای دکتر محسن وفامهر** کمال تشکر را داشته باشم که با راهنمایی های مشفقانه ی خویش بنده را در هر چه بهتر انجام شدن این پایان نامه یاری رساندند.

و با تشکر از دوستان عزیز و مهربانم :

مهسا شفیق نیا، محمد یزدی، مریم عطار ذوقی، مسعود رسولی، مصطفی حکمتیان، مجید احمدنژاد و بیتا واثقی پناه.

بسمه تعالی

مشخصات رساله/پایان نامه تحصیلی دانشجویی

چکیده پایان نامه

عنوان پایان نامه: طراحی فرم بهینه گنبدهای کروی تک لایه ساخته شده از نقوش هندسی اسلامی به عنوان عناصر باربر سازه‌ای

استاد راهنما: دکتر محسن وفامهر

استاد مشاور: دکتر یاسر شهبازی

نام دانشجو: احسان مسعودی

شماره دانشجویی: ۹۰۱۳۲۳۰۹ کارشناسی ارشد ☐ دکتری ☐ تعداد صفحات:۱۷۵

دانشکده: معماری و شهرسازی گروه : تکنولوژی معماری تاریخ دفاع:۱۳۹۲/۶/۲۳ تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۶/۲۳

چکیده:

گنبدها به دلیل کارآیی سازه‌ای بالا و همچنین مزایایی که از منظر معماری دارند، یکی از بهترین گزینه‌ها برای پوشش دهانه‌های وسیع می‌باشند و از دیرباز نیز در معماری ایرانی- اسلامی به وفور مورد استفاده قرارگرفته‌اند. امروزه با توجه به عملکردهای متنوع‌تر معماری و همچنین نیاز به پوشش دهانه‌های بزرگ‌تر، استفاده از سازه‌های گنبدی به شکل سنتی آن امکان‌پذیر و اقتصادی نمی‌باشد. علاوه بر این، پیدایش مصالح جدید و نیز پیشرفت‌هایی که در سیستم‌های سازه‌ای و تجهیزات نرم‌افزاری و سخت‌افزاری رخ داده است، تحولات جدیدی را به وجود آورده که پذیرش و بهره‌گیری از آن‌ها را اجتناب‌ناپذیر ساخته است. یکی از این دستاوردهای نوین، نرم‌افزارهای پارامتریک است. مدل‌سازی پارامتریک انواع سازه‌ها در نرم‌افزارهای موجود بر مبنای دو روش کلی زبان‌های برنامه‌نویسی متنی و زبان‌های برنامه‌نویسی گرافیکی استوار است. در این رساله با استفاده از زبان برنامه‌نویسی گرافیکی با تمرکز بر نرم‌افزار پارامتریک گرس‌هاپر، از گره‌های اسلامی به عنوان الگوی المان‌های میله‌ای در ساختار فضاکار گنبدهای کروی بهره برده شده است. در واقع، علیرغم کاربرد متداول گره‌ها به صورت عناصر غیرسازه‌ای همچون کاشی‌کاری‌ها، ارسی‌ها، درهای ورودی داخل و منبرها، نقوش هندسی اسلامی نقش سازه‌ای خواهند گرفت. در این راستا، مدول پایه شانزده نوع از گره‌های پرکاربرد در معماری ایرانی- اسلامی به صورت الگوریتمیک در نرم‌افزار گرس‌هاپر ایجاد و باز تولید شده است. سپس، هریک از گره‌ها بر روی هندسه‌ی گنبد کروی، به جهت ایجاد یک سازه‌ی فضاکار شبکه‌ای، تصویر شده است و اثر تغییر پارامترهای موجود در ایجاد مدول پایه‌ی گره‌ها بر روی فرم، تظریف و مباحث زیبایی شناسی سازه نهایی بررسی شده است. و در نهایت نیز یکی از گره‌ها

انتخاب شده و پس از بررسی پایداری سازه دوازده نمونه از گنبدهای ساخته شده از آن گره و آنالیز و محاسبات دقیق در نرم‌افزارsap 2000 ، گنبدها بهینه‌سازی وزنی نیز شده‌اند.

به این ترتیب در این رساله با توجه به لزوم استفاده از تکنولوژی‌ها و دستاوردهای جدید به صورت بومی شده و مطابق با الگوهای معماری ایرانی- اسلامی امکان استفاده از نقوش هندسی اسلامی در ساختارگنبدهای فضاکار کروی تک‌لایه به عنوان عناصری که علیرغم زنده نگاهداشتن الگوهای معماری بومی نقش سازه‌ای هم خواهند داشت بررسی شده است.

کلمات کلیدی:نقوش هندسی اسلامی، سازه‌های فضاکار، گنبدهای کروی تک‌لایه، معماری پارامتریک، بومی‌سازی تکنولوژی‌های نوین، بهینه‌سازی وزنی.

امضا ی استاد راهنما:

تاریخ

امضاء

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱ ضرورت و اهمیت موضوع تحقیق ۲

۱-۲ روش تحقیق ۳

۱-۲-۱ ویژگی‌های یک تحقیق تجربی ۳

فصل دوم : سازه‌های گنبدی ۵

۲-۲ رفتارسازه‌ای گنبد ۸

۲-۳ بررسی سازه‌های گنبدی از نقطه نظر اقلیمی ۱۰

۲-۴ دسته‌بندی گنبدهای ایرانی از لحاظ سازه‌ای ۱۳

۲-۴-۱ گنبدهای یک پوسته یا تک پوش ۱۳

۲-۴-۲ گنبدهای دو پوسته یا دو پوش ۱۴

۲-۴-۲-۱ گنبدهای دو پوسته پیوسته ۱۴

۲-۴-۲-۲ گنبدهای دو پوسته گسسته ۱۷

۲-۴-۳ گنبدهای سه پوسته یا سه پوش ۱۹

۲-۵-۱ سازه‌های پوسته‌ای ۲۰

۲-۵-۱-۱ پوسته‌های گنبدی سین کلاستیک ۲۱

۲-۵-۱-۱-۱ گنبدهای با دهانه بزرگ ۲۲

۲-۵-۱-۱-۲ نمونه‌های موردی ۲۳

۲-۵-۱-۱-۲-۱ سالن سخنرانی کرسگ ۲۳

۲-۵-۱-۱-۲-۲ کلیسای ارتدوکس یونان ۲۳

۲-۵-۱-۱-۲-۳ سالن ورزشی پلازتو دلو اسپرت ۲۴

۲-۵-۱-۱-۲-۴ سالن چند منظوره نورفولک ۲۵
۲-۵-۲ سازه‌های فضاکار ۲۵
۲-۵-۲-۱ گنبدهای دندانه‌دار ۲۹
۲-۵-۲-۲ گنبدهای شودلر ۲۹
۲-۵-۲-۳ گنبدهای لاملا ۳۱
۲-۵-۲-۴ گنبدهای ژئودزیک ۳۲
فصل سوم : نقوش هندسی ۳۵
۳-۳ گره‌چینی(گره‌سازی) ۳۹
۳-۴ روش‌های ترسیم گره ۴۳
۳-۴-۱ روش شبکه زیرساختی شعاعی ۴۴
۳-۴-۲ روش شبکه زیرساختی چندضلعی ۴۵
۳-۵- مطالعات معاصر درباره گره‌ها ۴۷
۳-۵-۱ روش کاپلان ۴۷
۳-۵-۲ روش بونر ۴۹
۳-۵-۳ روش بودنر ۵۰
۳-۶ انواع پرکاربرد گره ۵۰
۳-۷ کاربرد نقوش هندسی اسلامی در معماری مدرن امروز ۶۶
۳-۷-۱ مصلی اصفهان ۶۶
۳-۷-۲ مرکز پمپیدو در شهر متز فرانسه ۶۷
۳-۷-۳ برج بلندمرتبه اداری دوحه ۶۹
۳-۷-۴ برج مسکونی مارسا در دبی ۷۰
۳-۷-۵ ایستگاه مترو شهر ریاض ۷۲

۳-۷-۶ موزه لوور ابوظبی ۷۴
۳-۷-۷ پارلمان امارات متحده عربی ۷۶
فصل چهارم: طراحی پارامتریک ۷۸
۴-۱ مقدمه ۷۹
۴-۲ معماری دیجیتال ۸۰
۴-۳ طراحی الگوریتمیک در مقابل طراحی به کمک بسته‌های نرم‌افزاری ۸۲
۴-۳-۱ الگوریتم چیست؟ ۸۴
۴-۳-۲ ویژگی‌های فرم‌یابی پارامتریک(الگوریتمیک) ۸۵
۴-۴ تکنیک‌های طراحی دیجیتال(طراحی الگوریتمی) ۸۶
۴-۴-۱ تغییر شکل‌های زنجیره‌ای ۸۷
۴-۴-۲ میان‌یابی هندسی ۸۸
۴-۴-۳ فرآیندهای اتفاقی ۸۸
۴-۴-۴ الگوریتم‌های جذب کننده ۹۲
۴-۴-۵ ماشین‌های خودکار سلولی ۹۳
۴-۵ نمونه‌های موردی ۹۵
۴-۵-۱ سیستم زورت ۹۵
۴-۵-۲ متاپچ (سیستم قطعات سوار شده) ۹۹
۴-۵-۳ ریخت شناسی المان‌های نواری ۱۰۱
۴-۵-۴ واحد غشایی AA ۱۰۴
۴-۵-۵ پاویون آموزش ۱۰۶
فصل پنجم: باز تولید پارامتریک نقوش هندسی ۱۰۸
۵-۱ مقدمه ۱۰۹

۵-۲ انواع محیط‌های مدل‌سازی پارامتریک ۱۱۰
۵-۲-۱ برخی از سایر نرم‌افزارهای پارامتریک ۱۱۲
۵-۲-۲ علت انتخاب نرم‌افزار گرس‌هاپر ۱۱۳
۵-۲-۲-۱ محیط کار نرم‌افزار گرس‌هاپر ۱۱۴
۵-۳ باز تولید پارامتریک نقوش هندسی در نرم‌افزار گرس‌هاپر ۱۱۷
۵-۳-۱ عنوان گره: گره هشت چهارلنگه ۱۱۸
۵-۳-۳ ایجاد گره بر روی صفحه و هندسه گنبد ۱۲۰
۵-۳-۴ ایجاد فرم‌های متنوع با پارامترهای مختلف ۱۲۲
۵-۳-۵ تغییر تعداد ردیف‌های افقی و عمودی مدول پایه بر روی هندسه گنبد ۱۲۴
۵-۳-۶ مثلثی کردن شبکه به وسیله اضافه کردن مولفه‌های جدید به الگوریتم موجود ۱۲۵
۵-۳-۷ بررسی سایر قابلیت‌های مدل‌سازی پارامتریک ۱۲۶
فصل ششم: مدل‌سازی و انجام تحلیل سازه‌ای ۱۲۹
۶-۱ لزوم استفاده از نرم‌افزار sap ۱۳۰
۶-۲ نحوه مدل‌سازی در نرم‌افزار sap ۱۳۰
۶-۲-۱ انتقال مدل سازه‌ای از نرم‌افزار گرس‌هاپر به sap ۱۳۰
۶-۲-۲ مشخصات مصالح مصرفی ۱۳۰
۶-۲-۳ گروه‌بندی مقاطع و پوشش‌ها ۱۳۱
۶-۳-۲ تحلیل استاتیکی ۱۳۴
۶-۴ طراحی سازه ۱۳۵
۶-۵ نتایج تحلیل ۱۳۵
گنبد ۳-۱۲ ..... ۱۳۶
گنبد ۴-۱۲ ..... ۱۳۷

گنید ۵-۱۲ ..... ۱۳۸
گنید ۳-۱۳ ..... ۱۳۹
گنید ۴-۱۳ ..... ۱۴۰
گنید ۵-۱۳ ..... ۱۴۱
گنید ۳-۱۴ ..... ۱۴۲
گنید ۴-۱۴ ..... ۱۴۳
گنید ۵-۱۴ ..... ۱۴۴
گنید ۳-۱۵ ..... ۱۴۵
گنید ۴-۱۵ ..... ۱۴۶
گنید ۵-۱۵ ..... ۱۴۷
۶-۵-۱ جزئیات دقیق مربوط به ۳ عدد از گنبدهای تحلیل شده ۱۵۰
فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی ۱۵۷
۷-۱ نتیجه‌گیری ۱۵۸
۷-۲ پیشنهادات آتی ۱۵۸
پیوست: الگوریتم بازتولید شانزده عدد نقش هندسی(گره) در نرم‌افزار گرس‌هاپر ۱۵۹
فهرست منابع و ماخذ ۱۷۶

فهرست تصاویر

تصویر۲-۱: گنبد شکل یافته بر پلان مربع ۷
تصویر ۲-۲: شکل‌گیری گنبد از دوران کامل یک قوس حول محور قائم خود ۹
تصویر۲-۳ : تنش‌های فشاری در نصف النهارها و مدارهای یک گنبد با خیز کم ۱۰
تصویر ۲-۴: جریان هوا در زیر و بالای یک سقف گنبدی با بازشوهایی روی آن ۱۱
تصویر ۲-۵ : جریانات هوایی در زیر و روی گنبد دوپوسته مسجد جامع یزد ۱۲
تصویر ۲-۶ : مسجد شیخ لطف الله اصفهان، نمونه گنبد دو پوسته پیوسته ۱۵
تصویر۲-۷: مقطع گنبد مسجد شیخ لطف الله ۱۵
تصویر۲-۸ : گنبد سلطانیه زنجان، قدیمی‌ترین گنبد دو پوش در ایران ۱۶
تصویر ۲-۹ : مقطع گنبد سلطانیه، نمونه گنبد دو پوسته پیوسته صندوقه دار ۱۶
تصویر ۲-۱۰: مقطع مسجد جامع کبیر یزد، نمونه گنبد دو پوسته پیوسته صندوقه‌دار ۱۶
تصویر ۲-۱۱: گنبد دو پوسته گسسته ۱۷
تصویر ۲-۱۲: کلاف تیر چوبی در دیوارهای خشخاشی ۱۸
تصویر ۲-۱۳: سیستم سازه‌ای گنبد دو پوسته گسسته مسجد امام اصفهان تقویت شده با دیوارک‌های نصف النهاری ۱۸
تصویر۲-۱۴: گنبدهای دوار پوسته ای ۲۱
تصویر ۲-۱۵: تنش‌های حلقوی و قوسی در فرم‌های گنبدی ۲۲
تصویر ۲-۱۶: سالن سخنرانی کرسگ ۲۳
تصویر ۲-۱۷: کلیسای ارتدوکس یونان ۲۴
تصویر۲-۱۸: سالن ورزشی پلازتو دلو اسپرت ۲۴
تصویر ۲-۱۹: سالن چند منظوره نورفولک ۲۵
تصویر ۲-۲۰: نمونه‌هایی از گنبدهای فضاکار با دهانه های وسیع ۲۷
تصویر ۲-۲۱: برخی از انواع گنبدهای فضاکار تک لایه ۲۸
تصویر ۲-۲۲: انواع اصلی گنبدهای شودلر ۳۰
تصویر ۲-۲۳: جزئیات اتصالات در یک گنبد شودلر ۳۰
تصویر ۲-۲۴: انواع اصلی گنبدهای لاملا ۳۱
تصویر ۲-۲۵: استرودوم در هیوستون آمریکا، نمونه‌ای از گنبد لاملا ۳۲
تصویر ۲-۲۶: جزئیات هندسه گنبدهای ژئودزیک ۳۳
تصویر ۳-۲۷: نمونه ای از گره هندسی، خانقاه نطنز ۳۷
تصویر ۳-۲۸: روش سنتی ترسیم گره ۳۸

تصویر ۳-۲۹: روش سنتی ترسیم گره ۳۹
تصویر ۳-۳۰: استفاده از گره‌ها در هنرهای دستی ۴۰
تصویر ۳-۳۱: بعضی از انواع گره‌های کند ۴۲
تصویر ۳-۳۲: دو نمونه گره چند زمینه از ترسیمات استاد لرزاده ۴۲
تصویر ۳-۳۳: شمسه‌های تشکیل دهنده گره‌سازی دست گردان در زیر گنبد مسجد جامع یزد ۴۳
تصویر ۳-۳۴: رسم گره کند دو پنج روی شبکه زیر ساختی شعاعی با دوایر هم مرکز ۴۴
تصویر ۳-۳۵: یک زمینه کامل از گره کند دو پنج ۴۴
تصویر ۳-۳۶: شبکه زیرساختی گره کند دو پنج متشکل از ۱۰ ضلعی‌های منتظم(شمسه۱۰) و شش ضلعی پاپیونی شکل ۴۵
تصویر ۳-۳۷: عبور پرتوهای متقاطع با زاویه ۵۴ درجه از همه اضلاع شبکه زیرساختی گره کند دو پنج ۴۵
تصویر۳-۳۸: شبکه زیرساختی چندضلعی چند نمونه از گره‌های کند ۴۶
تصویر ۳-۳۹: اجزاء شبکه زیرساختی گره های کند ۴۷
تصویر ۳-۴۰: شش حالت ممکن برای ترسیم یک ستاره ده‌پر ۴۸
تصویر۳-۴۱: گره‌های حاصل از چهار نوع شبکه چندضلعی‌های در تماس خاص و زوایای در تماس متفاوت ۴۹
تصویر ۳-۴۲: گره مربع سرمه دان- مربع پاباریک- چهار ترنجی ۵۱
تصویر ۳-۴۳: بنای دوم خرقان قزوین(برج آرامگاهی غربی) ۵۱
تصویر ۳-۴۴: پیشخوان منبر مسجد پیامبر اکرم (ص) ۵۱
تصویر ۳-۴۵: گره فرفره سر و ته ۵۲
تصویر ۳-۴۶: گچ بری محراب شبستان مسجد اولجایتو در مسجد جمعه اصفهان ۵۲
تصویر ۳-۴۷: گره هشت صلیب- بند رومی- هشت موج ۵۳
تصویر ۳-۴۸: ساقه مناره مدرسه حسین بایقرا در هرات افغانستان ۵۳
تصویر ۳-۴۹: گره هشت صلیب آلت لغت- هشت پنج ۵۴
تصویر ۳-۵۰: نقوش زیر ساعت موزه بارگاه حضرت امام رضا(ع) ۵۴
تصویر ۳-۵۱: گچبری روی ستون‌های مدور شبستان مسجد جامع نائین ۵۴
تصویر۳-۵۲: گره هشت چهار لنگه ۵۵
تصویر ۳-۵۳: ایوان طلای ناصری در بارگاه حضرت امام رضا(ع) ۵۵
تصویر ۳-۵۴: گره طبل خفته، راسته- طبل اندر طبل ۵۶
تصویر ۳-۵۵: معبدی در هند ۵۶
تصویر ۳-۵۶: گره هشت مربع آلت لغت ۵۷
تصویر ۳-۵۷: مسجد ملک کرمان ۵۷
تصویر ۳-۵۸: گره هشت مربع ۵۸

تصویر ۳-۵۹: سرستون یخ ورودی مدرسه چهارباغ اصفهان ۵۸
تصویر ۳-۶۰: گره هشت بازوبندی ۵۹
تصویر ۳-۶۱: قاب بندی سقف چوبی ایوان کاخ هشت بهشت اصفهان، ۵۹
تصویر ۳-۶۲: کاشیکاری موزه ایران باستان ۵۹
تصویر ۳-۶۳: گره هشت چهار لنگه تخمکدار- چهار لنگه الماس تراش ۶۰
تصویر ۳-۶۴: پنجره چوبی مسجد سید اصفهان ۶۰
تصویر ۳-۶۵: مقبره شیخ صفی الدین اردبیلی ۶۰
تصویر ۳-۶۶: گره مقسمی- خفته راسته- چهار قسمی ۶۱
تصویر ۳-۶۷ : ورودی مدرسه کاراتای قونیه ترکیه ۶۱
تصویر ۳-۶۸: طاق نماسازی در برج مزار خرقان ۶۱
تصویر ۳-۶۹: گره لوز مربع ۶۲
تصویر ۳-۷۰: گره چهار لنگه قناس ۶۲
تصویر ۳-۷۱: کف پوش سنگ مرمر محوطه تاج محل در هندوستان ۶۳
تصویر ۳-۷۲: گره چهار قل ۶۳
تصویر ۳-۷۳: نمونه‌ای از کاربرد گره چهار قل ۶۴
تصویر ۳-۷۴: گره کند دو پنج- ام الگره ۶۴
تصویر ۳-۷۵: اصفهان، بازار هنر ۶۵
تصویر ۳-۷۶: گره تند دو پنج- ده تند ۶۵
تصویر ۳-۷۷: نقوش به کار رفته در مدرسه چهارباغ اصفهان ۶۶
تصویر ۳-۷۸: سقف ایوان عمارت هشت بهشت اصفهان ۶۶
تصویر ۳-۷۹: سازه سقف مصلی اصفهان ۶۷
تصویر ۳-۸۰: مدول استفاده شده در ساخت سازه سقف مصلی ۶۷
تصویر ۳-۸۱ : مرکز پمپیدو در شهر متز فرانسه طراحی شده توسط شیگرو بن ۶۸
تصویر ۳-۸۲: قسمتی از سازه اصلی مجموعه مرکز پمپیدو متز ۶۸
تصویر ۳-۸۳: یکی از مدول‌های تکرار شونده سازه سقف مرکز پمپیدو متز ۶۸
تصویر ۳-۸۴: برج بلندمرتبه اداری دوحه ۶۹
تصویر ۳-۸۵: جزئیات نمای برج بلندمرتبه اداری دوحه ۶۹
تصویر ۳-۸۶: نمای برج بلندمرتبه اداری دوحه ۷۰
تصویر ۳-۸۷: پروژه برج مسکونی مارسا در دبی، طراحی شده توسط زاها حدید ۷۱
تصویر ۳-۸۸: نقش هندسی به کار رفته در نمای برج ۷۱

تصویر ۳-۸۹: نمای برج مارسا ۷۲
تصویر ۳-۹۰: ایستگاه مترو شهر ریاض..... ۷۳
تصویر ۳-۹۱: ایستگاه مترو شهر ریاض..... ۷٤
تصویر ۳-۹۲: موزه لوور ابوظبی ۷۵
تصویر ۳-۹۳: پارلمان امارات متحده عربی..... ۷٦
تصویر ۳-۹۴: پارلمان امارات متحده عربی..... ۷۷
تصویر ۴-۹۵ : خوابگاه دانشجویی MIT طراحی شده توسط دفتر فرانک گهری..... ۸٦
تصویر ۴-۹۶: برج مارپیچ شیکاگو اثر کالاتراوا ۸۷
تصویر ۴-۹۷: حالت‌های مختلف برج دینامیک ۸۷
تصویر۴-۹۸: برج مسکونی ۴۵ طبقه طراحی شده توسط شرکت CAP در دبی ۸۷
تصویر ۴-۹۹ : نمونه یک فرم بدست آمده از میانیابی چند شکل دوبعدی، طرح پیشنهادی برای موزه سومایا ژاپن ۸۸
تصویر ۴-۱۰۰: تغییر و تحول یک فرم در ارتفاع ۸۸
تصویر ۴-۱۰۱ : اساس کار الگوریتم ورونوئی..... ۹۰
تصویر ۴-۱۰۲: ساختارهای طبیعی منطبق بر هندسه ورونوئی ۹۰
تصویر ۴-۱۰۳ : ورونوئی سه بعدی ۹۱
تصویر ۴-۱۰۴ : مکعب آبی و ساختار سقف آن ۹۱
تصویر۴-۱۰۵: ساختمان اداری در توکیو ۹۲
تصویر ۴-۱۰۶: برج ۵۰ طبقه اداری تجاری در استانبول..... ۹۲
تصویر ۴-۱۰۷ : ساختمان سینواستیل در چین ۹۳
تصویر ۴-۱۰۸: طرح پروژه برج اکولوژیک در لندن ۹٤
تصویر ۴-۱۰۹: مثلث سرپینسکی ۹۵
تصویر ۴-۱۱۰: مکعب فرکتال ۹۵
تصویر ۴-۱۱۱: اجزای زورت می‌تواند از هر راهی با هم ترکیب شوند..... ۹٦
تصویر ۴-۱۱۲ : اجزای زورت..... ۹۷
تصویر ۴-۱۱۳: ساخت مدل نهایی به همراه زمینه رگه توسط دستگاه سی ان سی روی فوم پلی یورتان ۹۸
تصویر ۴-۱۱۴: بتن ارگانیک زورت ۹۹
تصویر ۴-۱۱۵: ۹۹
تصویر ۴-۱۱۶: واحد پایه (پچ)..... ۹۹
تصویر ۴-۱۱۷: چیدمانی از پچ‌های پایه ۱۰۰
تصویر ۴-۱۱۸: سیستم مصالحی سرهم‌شده ۱۰۱

تصویر ۴-۱۱۹: جزء اصلی ۱۰۱
تصویر ۴-۱۲۰: چهارچوب کنترل/مدل ۱۰۲
تصویر۴-۱۲۱: ساخت مدل نهایی از طریق برش لیزری ۱۰۳
تصویر ۴-۱۲۲: آنالیز سازه‌ای ۱۰۳
تصویر ۴-۱۲۳: آنالیز نور ۱۰۳
تصویر ۴-۱۲۵: سازه چادری تراس مدرسه معماری لندن ۱۰۴
تصویر۴-۱۲۶: مدل پارامتریک تعدیل شده بر طبق آنالیزهای کامپیوتری میزان بارندگی ۱۰۵
تصویر۴-۱۲۷: آنالیز فشار روی اجزا، آنالیز شدت نور در یکسال، آنالیز شدت وزش باد ۱۰۵
تصویر ۴-۱۲۸: پاویون آموزش و تصاویر آگزونومتریک ۱۰۶
تصویر ۵-۱۲۹: محیط نرم‌افزار فرمین ۱۱۰
تصویر ۵-۱۳۰: محیط نرم‌افزار گرس‌هاپر ۱۱۱
تصویر ۵-۱۳۱: محیط نرم افزار گرس‌هاپر ۱۱۴
تصویر ۵-۱۳۲: منوی ابزارها در نرم‌افزار گرس‌هاپر ۱۱۵
تصویر ۵-۱۳۳: نقشی با الگوی تکرار مثلثی ۱۱۷
تصویر۵-۱۳۴ نقش با الگوی تکرار مربعی (ماتریسی) ۱۱۷
تصویر۵-۱۳۵: الگوریتم مدول‌پایه گره هشت چهارلنگه ۱۱۸
تصویر ۱-۱۳۶: مدول پایه گره هشت چهارلنگه ۱۱۸
تصویر ۵-۱۳۷: الگوریتم ایجاد گره کامل از مدول پایه، روش اول ۱۱۹
تصویر ۵-۱۳۸: الگوریتم ایجاد گره کامل از مدول پایه، روش دوم ۱۱۹
تصویر ۵-۱۳۹: گره هشت چهار لنگه باز تولید شده در نرم‌افزار گرس‌هاپر ۱۲۰
تصویر ۵-۱۴۰: تصویر کردن گره بازتولید شده در محیط گرس‌هاپر بر روی هندسه گنبد ۱۲۰
تصویر ۵-۱۴۱: فرم‌های مختلف ایجاد شده براساس تغییر یکی از پارامترهای تشکیل‌دهنده الگوریتم گره ۱۲۱
تصویر ۵-۱۴۲: فرم‌های مختلف ایجاد شده براساس تغییر یکی از پارامترهای تشکیل دهنده الگوریتم گره ۱۲۲
تصویر ۵-۱۴۳: تغییر تعداد مدول‌های گره در راستای افقی و عمودی ۱۲۳
تصویر۵-۱۴۴: مثلثی کردن شبکه با اضافه کردن مولفه‌های جدید به الگوریتم موجود ۱۲۴
تصویر ۵- ۱۴۵: روند ایجاد شبکه مثلثی ۱۲۴
تصویر۵-۱۴۶: اضافه کردن مولفه‌ای جدید به الگوریتم موجود برای اختصاص مقاطع لوله‌ای ۱۲۵
تصویر۵-۱۴۷: امکان اختصاص مقاطع لوله‌ای با قطرهای مختلف در نرم‌افزار گرس‌هاپر ۱۲۵
تصویر ۵-۱۴۸: اضافه کردن مولفه‌ای جدید به الگوریتم موجود برای دو لایه کردن گنبد ۱۲۶
تصویر۵-۱۴۹: گنبد دو لایه ساخته شده از نقوش هندسی ۱۲۶

تصویر ۵-۱۵۰: استفاده از دو نقش مختلف بر روی یک هندسه ۱۲۷
تصویر ۶-۱۵۱: گروه‌بندی المان‌های لوله‌ای ۱۳۱
تصویر۶-۱۵۲: گروه‌بندی پوشش‌ها ۱۳۱
تصویر۶-۱۵۳: ضریب CS برای بار برف روی بام‌های قوسی ۱۳۳
تصویر ۶-۱۵۴: گنبد۳-۱۲ ..... ۱۳۵
تصویر ۶-۱۵۵: گنبد۴-۱۲ ..... ۱۳۶
تصویر ۶-۱۵۶: گنبد۵-۱۲ ..... ۱۳۷
تصویر ۶-۱۵۷: گنبد۳-۱۳ ..... ۱۳۸
تصویر ۶-۱۵۸: گنبد۴-۱۳ ..... ۱۳۹
تصویر ۶-۱۵۹: گنبد۵-۱۳ ..... ۱۴۰
تصویر ۶-۱۶۰:گنبد۳-۱۴ ..... ۱۴۱
تصویر۶-۱۶۱: گنبد ۴-۱۴ ..... ۱۴۲
تصویر ۶-۱۶۲: گنبد۵-۱۴ ..... ۱۴۳
تصویر ۶-۱۶۳: گنبد۳-۱۵ ..... ۱۴۴
تصویر ۶-۱۶۴: گنبد۴-۱۵ ..... ۱۴۵
تصویر ۶-۱۶۵: گنبد۵-۱۵ ..... ۱۴۶
تصویر ۶-۱۶۶: مقایسه وزنی گنبدهای آنالیز شده در تحقیق ۱۴۷
تصویر ۶-۱۶۷: گنبد۳-۱۵، نمای سه بعدی ۱۴۹
تصویر ۶-۱۶۸: گنبد۳-۱۵، پلان ۱۴۹
تصویر ۶-۱۶۹: تیپ‌بندی اعضای گنبد ۳-۱۵ ..... ۱۴۹
تصویر ۶-۱۷۰: محدوده تنش‌ها در اعضای گنبد ۳-۱۵ ..... ۱۵۰
تصویر ۶-۱۷۱: ماکزیمم خیز در گنبد۳-۱۵ ..... ۱۵۰
تصویر ۶-۱۷۲: گنبد ۴-۱۵، نمای سه بعدی ۱۵۱
تصویر ۶-۱۷۳: گنبد۴-۱۵،پلان ۱۵۱
تصویر ۶-۱۷۴: تیپ‌بندی اعضا در گنبد ۴-۱۵ ..... ۱۵۱
صویر ۶-۱۷۵: محدوده تنش‌ها در اعضای گنبد ۴-۱۵ ..... ۱۵۲
تصویر ۶-۱۷۶: ماکزیمم خیز در گنبد ۴-۱۵ ..... ۱۵۲
تصویر ۶-۱۷۷: گنبد ۵-۱۵، نمای سه بعدی ۱۵۳
تصویر ۶-۱۷۸: گنبد۵-۱۵،پلان ۱۵۳
تصویر ۶-۱۷۹: تیپ‌بندی اعضا در گنبد ۵-۱۵ ..... ۱۵۳

تصویر ۶-۱۸۰: محدوده تنش‌ها در اعضای گنبد ۵-۱۵ ..... ۱۵٤
تصویر ۶-۱۸۱: ماکزیمم خیز در گنبد۵-۱۵ ..... ۱۵٤
تصویر ۷-۱۸۲: تصویر شدن یک گره بر روی چفد شبدری کند ۱۵۷
تصویر ۷-۱۸۳: تصویر شدن یک گره بر روی یک فرم آزاد ۱۵۷
تصویر ۷-۱۸۴: استفاده از قابلیت نقطه جذب ۱۵۸
تصویر ۷-۱۸۵: گنبد مشبک دو لایه ساخته شده از نقوش هندسی ۱۵۸

فهرست جداول

جدول۲-۱ : *مقایسه گنبدهای بتنی و ماسونری* ۲۰
جدول ۱-۲: *مقایسه بار مرده سازه‌های گنبدی متفاوت* ۲۷
جدول ۶-۳: : مشخصات فولاد ST37 ..... ۱۳۰
جدول ۶- ۴ : مشخصات گنبد ۳-۱۲ ..... ۱۳۵
جدول ۶-۵ : مشخصات گنبد ۴-۱۲ ..... ۱۳۶
جدول ۶-۶: مشخصات گنبد ۵-۱۲ ..... ۱۳۷
جدول ۶-۷: مشخصات گنبد ۳-۱۳ ..... ۱۳۸
جدول ۶-۸ : مشخصات گنبد ۴-۱۳ ..... ۱۳۹
جدول ۶-۹ : مشخصات گنبد ۵-۱۳ ..... ۱٤۰
جدول ۶-۱۰: مشخصات گنبد ۳-۱۴ ..... ۱٤۱
جدول ۶-۱۱: مشخصات گنبد ۴-۱۴ ..... ۱٤۲
جدول ۶-۱۲: مشخصات گنبد ۵-۱۴ ..... ۱٤۳
جدول ۶-۱۳: مشخصات گنبد ۳-۱۵ ..... ۱٤٤
جدول ۶-۱۴: مشخصات گنبد ۴-۱۵ ..... ۱٤۵
جدول ۶-۱۵: مشخصات گنبد ۵-۱۵ ..... ۱٤۶
جدول ۶-۱۶: تمام گنبدهای تحلیل شده در رساله ۱٤۸