النظم الإنشائية للقباب الزجاجية ذات البحور الواسعة "تطبيقاً على مسجد مصر"

Constructive systems for glass domes with wide areas "Application on Egypt Mosque"

أ.د/ رشا محمد على حسن
استاذ بقسم الزجاج - كلية الفنون التطبيقية - جامعة حلوان
Prof. Rasha Mohamed Ali.
Professor, Department of Glass, Faculty of Applied Arts, Helwan University
rashazenhom@gmail.com
د.م. استشاري/ ابراهيم بدوي ابراهيم
مدير المشروعات بشركة A3R للتجميل المعماري والترميم
Dr. Ibrahim Badawy
Manger of projects at A3R Company for the architectural Enhancement & restoration Egypt.
hima913@yahoo.com
أ.م.د/ عزة عثمان بكر
أستاذ مساعد بكلية الفنون التطبيقية جامعة دمياط
Assist. Prof. Dr. Azza Osman Bakr
Assist. Prof. at the Faculty of Applied Arts, Damietta University
azzaosmanbakr@gmail.com

الملخص:

شهدت الفترة الماضية قفزة كبيرة في تكنولوجيا وخامات البناء، بالإضافة إلى التطور السريع لتقنيات المحاكاة وبرمجيات النمذجة؛ فلقد فتحت هذه الإنجازات المتتالية الباب أمام عالم جديد بالكامل من الإمكانيات في مجالات العمارة والبناء والانشاء ، فأصبح للمصممين والمعماريين القدرة على السماح لخيالهم بالإبداع والابتكار، مع القليل من القلق بشأن القيود الهيكلية.

ونظراً للأهمية الكبرى التي توليها مصر لإنشاء عاصمة ادارية جديدة لها وما تتمتع به هذه العاصمة من تطور تكنولوجي في اساليب وطرق وخامات الانشاء ، خضعت العديد من المنشآت الدينية الحديثة ومنها مجمع مصر الثقافي " مسجد مصر " لرؤى تصميمية معمارية وفنية مميزة وايضاً طرق مبتكرة في الإنشاء وكان من أهمها تصميم قباب زجاجية ذات بحور كبيرة لهذا المسجد ، فلاحظنا وجود العديد من الأفكار المميزة التي تتطلب تصميمات انشائية متخصصة .

ومن هنا **ظهرت مشكلة البحث** :

الحاجة الى إيجاد طرق ونظم انشائية غير تقليدية لمعالجة الأفكار التصميمية المقترحة لقباب مسجد مصر.

هدف البحث : التوصل الى حلول عملية للنظم الإنشائية للقباب الزجاجية ذات البحور الواسعة

الكلمات المفتاحية:

البحور الواسعة –القباب الزجاجية – النظم الإنشائية.

Abstract:

The last period has witnessed a major leap in technology and building materials, in addition to the rapid development in simulation techniques and modeling computer programs. Such sequential achievements have opened the door to a whole new world full of potentials in the field of building and constructions, so architects and designers get to have the ability to fulfil their imagination with creativity and innovation with little worries about the structural constraints.

Due to the high significance of building a new managerial capital for Egypt and what this capital must have of technological development in the means, methods and materials of construction, many of the modern religious buildings including "Egypt Cultural Complex" and "Egypt Mosque" have been submitted to a very distinctive artistic and architectural visions, also innovative methods in construction, the most important ones are the design of glass domes with wide areas for this mosque. We have noticed the presence of many distinctive ideas that require specialized constructional designs.

That is how the research problem has appeared:

Which is the need to create untraditional constructional methods and systems to process the suggested design thoughts for the domes of "Egypt Mosque".

The research goal:

Reach scientific solutions for the constructive systems for glass domes with open areas.

Keywords:

Wide areas- glass domes- constructive systems.

مقدمة

تعتمد إنشائية الأسطح الفراغية على مبدأ استخدام الإطارات المعدنية التي تمتد لمسافات كبيرة دون وجود دعامات أو أعمدة داخل الفراغ، وقد انتشر استخدام هذا النوع من المنشآت بشكل بارز في فترة أساسية وهي قبيل وما بعد الثورة الصناعية حيث استخدمت في منتصف القرن التاسع عشر بالرغم من عدم الدراية الكاملة بخصائص الإطارات المعدنية وقد تطورت الإطارات المعدنية بداية بشكل متميز على يد ألكسندر غراهام بيل بتطوير الإطارات المعدنيةBuckminster Fuller عام ١٣٦٦ م ثم قام بوكمينيستر فولرGraham Bell" بإستخدام الإنشاء المعدني بطرق مبتكرة بعيدة عن النمطية مثل المعرض الدولي في نيويورك في الستينات.

النظم الانشائية:

ذلك الجزء من المبنى الذي يتلقى الأحمال الذاتية والخارجية ويقوم بنقلها إلى الأرض و تتوقف عليه صلابة المبنى وتتعدد الأنظمة الإنشائية المستخدمة في المبنى بحسب نوع المبنى وموقعه الجغرافي ووظيفة المبنى مثل النظام الهيكلي ونظام الجدران الحملة والأنظمة المختلطة وأنظمة المباني العالية، ويرتبط النظام الإنشائي بالشكل المعماري بستة مستويات أساسية:

أ- المستوى الأول : تزيين النظام الإنشائي :

تندرج معظم الأبنية التراثية ضمن هذا المفهوم و يعود ذلك إلى مواد البناء المستخدمة و التي سمحت للنظام الإنشائي بالسيطرة الكاملة على الشكل و اقتصر دور المعماري على التزيين بالزخارف و النقوش.

ب- المستوى الثاني : النظام الإنشائي كعنصر جمالي :

في مطلع القرن العشرين مع التطور الكبير لمواد البناء و تقنياته أصبح التصميم يبنى على منطلقات بصرية و ليست تقنية و لم يعد مقبول سيطرة الإنشاء على الشكل و إنما تم إظهار العناصر الإنشائية كعناصر جمالية.

ت- المستوى الثالث :الإنشاء كعمارة :

توجد العديد من المباني عبر التاريخ الذي يستخدم فيه عنصر إنشائي كعنصر معماري بنفس الوقت ومن الأمثلة على ذلك القباب المستخدمة في تسقيف الكنائس والمساجد والتي تؤدي الدورين معاً الإنشائي كسقف نهائي للمبنى والمعماري كعنصر تزييني جمالي وبيئي .

ث- المستويين الرابع و الخامس : الإنشاء بوافق العمارة / النظام الإنشائي كمولد للشكل المعماري :

مع استخدام المعادن في العمارة و ظهور النظام الإنشاء الهيكلي تطورت العلاقة بين النظام الإنشائي و العمارة بحيث أصبح دور النظام الإنشائي توليد الشكل المعماري أو بنية تحمل الشكل المعماري وبالتالي تحرر الشكل المعماري جزئياً من سيطرة النظام الإنشائي.

ج- المستوى السادس : الإنشاء يخالف :

ونلاحظ في هذا المستوى انفصال الشكل الإنشائي عن الشكل المعماري تماماً وسيطرة الشكل المعماري على الشكل الخارجي للمبنى ويرجع ذلك إلى التطور التكنولوجي الكبير في مجال صناعة مواد البناء والإنشاء.

<u>انواع النظم الانشائية المعدنية:</u>

1- نظام الإطارات (Frames) الحديد

–يشبه فى تكوينه الإطارات الخرسانية و لكن هنا المادة المستخدمة فى المنشأ هى الحديد.

–**الإنشائى (الحديد)** • :يتكون من عمود و كمرة من الاستيل إما مرتبطين معًا بالمسامير أو بواسطة اللحام.

–العمود و الكمرة يمكن أن يأخذوا عدة أشكال سواء حرف I و هو أشهرهم أو حرف ال L أو حرف C حسب التصميم

- البحر يغطي حتى مساحات كبيرة حسب شكل الإطارات المستخدم.
- سمك البلاطة يكون ١٠ سم.
- المسافات بين الفريمات تتراوح بين ٤: ٦ م.

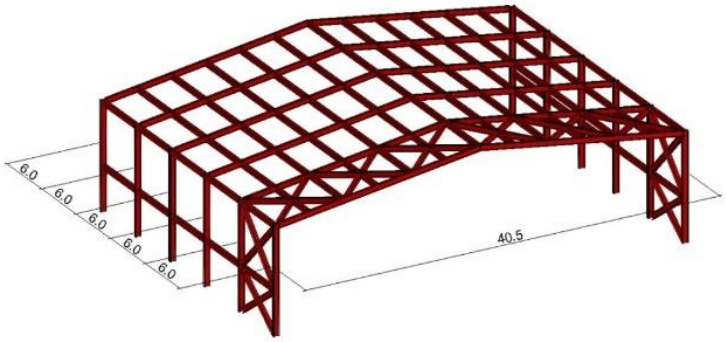
الاستخدام :يستخدم عادة فى المصانع أو المعارض أو المسارح أو التغطيات التي لا تحتاج سقوط أعمدة فى المنتصف.

المميزات : أسهل فى التصميم من الخرسانة

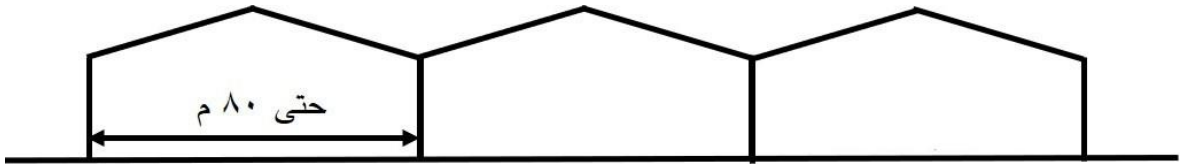
- تغطية مساحات كبيرة خالية من الأعمدة.
- يمكن تركيبها و فكها بسهولة حسب الاحتياج.
- سرعة التنفيذ.

العيوب : التكلفة تكون عالية و لكن بمقارنة أداها فتكون مقبولة

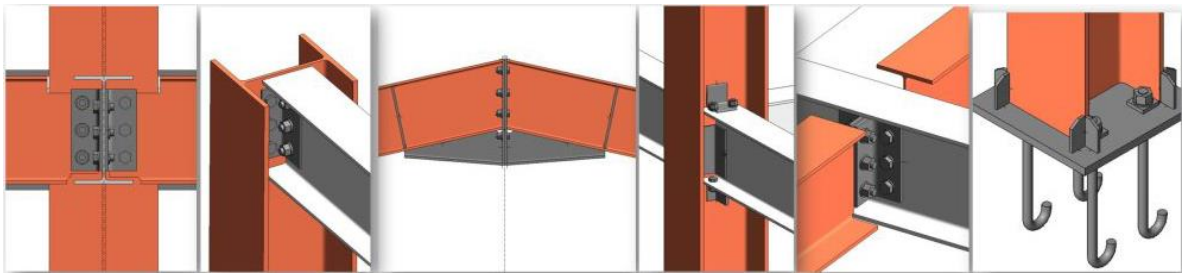
- يحتاج عمالة جيدة و صيانة متكررة



شكل (١) يوضح الإطار الحديدى المائل من الجانبين هو أكثر الإطارات التى تغطى مساحة نظرًا لميول السقف.
قد يصل البحر الذى يغطيه إلى ٨٠ م -النظم الإنشائية المستخدمة في تغطية البحور الكبيرة



شكل (٢) يوضح النظم الإنشائية المستخدمة في تغطية البحور الكبيرة- يمكن وضع أكثر من إطار بجانب بعضهم حتى تغطى مساحات أكبر و يمكن التغيير فى ارتفاعتهم



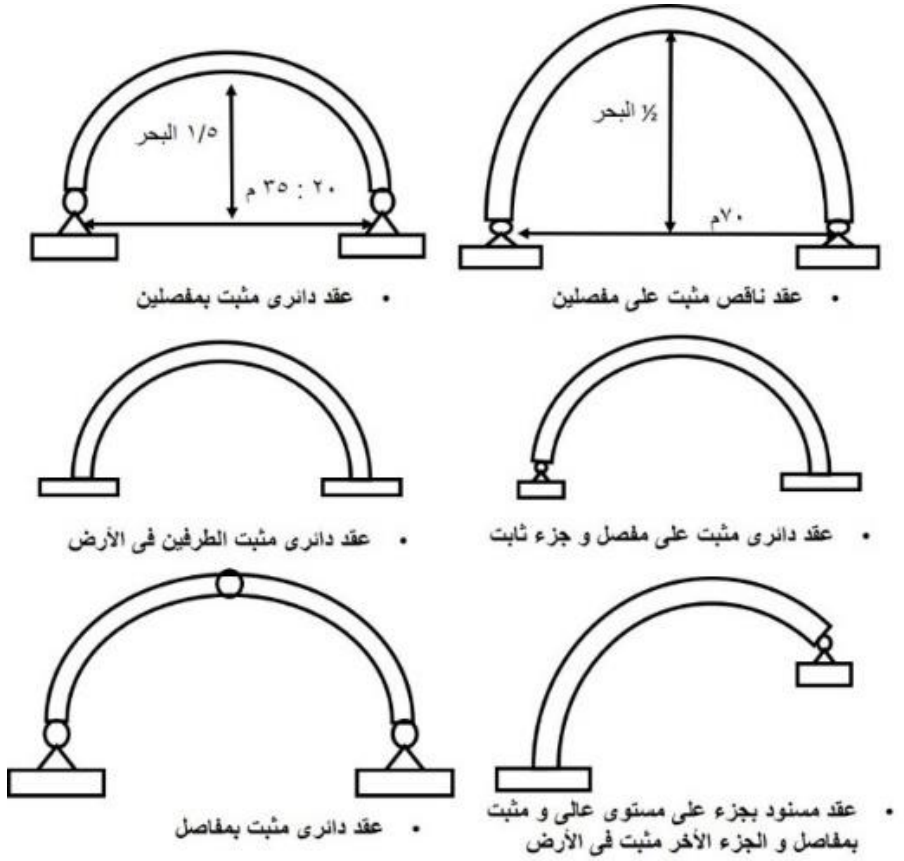
شكل (٣) يوضح النظم الإنشائية المستخدمة في تغطية البحور الكبيرة-تفاصيل ربط الكمر معًا والكمر والعمود والعمود والقاعدة.

2- الإطارات المنحنية

كانت هناك مشكلة فى هذا النوع عند نقطة تلاقي الإطار مع الأرض و لكن نظرًا للتطور فى الإنشاء تم معالجتها.

-تقوم بتغطية بحر من ٢٠ : ٣٥ م فى حالة كان ارتفاع الإطار ١/٥ من مساحة البحر.

– قد تصل إلى ٧٠ م فى حالة زيادة الإنحناء .



شكل (٤) يوضح النظم الإنشائية المستخدمة في تغطية البحور الكبيرة – الأشكال مختلفة للإطارات المنحنية

3- نظام القشريات:

–هذا النظام يصمم بسقف من الخرسانة بسمك بسيط و يأخذ أشكال منحنية أو مضلعة حتى تقلل الحمل على السقف و نستطيع استخدامه لتغطية بحور كبيرة

-عبارة عن خرسانة تكون مصبوبة معًا ومترابطة

–أو يمكن أن تكون سابقة الصنع و تركب معًا بواسطة مسامير.

الإنشائى : البحر يغطى ٢٥ : ٥٠ م

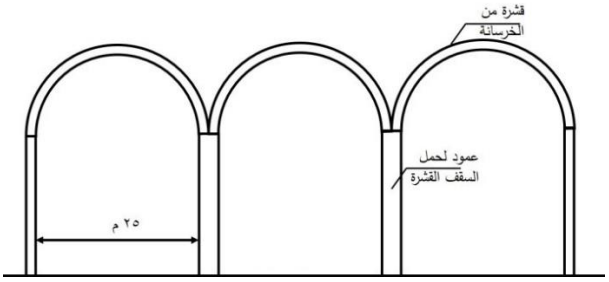
- سمك البلاطة يكون مساوى ٨ سم
- المسافة بين الوحدات تصل إلى ١٠ م.

الاستخدام : تستخدم لتغطية الفراغات الكبيرة التى لا تحتاج أعمدة، فيمكن استخدامها فى المكتبات أو المطارات أو المساجد وغيرها

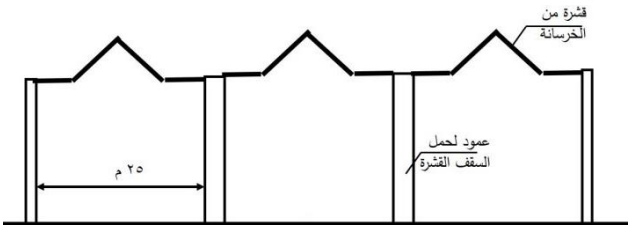
المميزات : تغطى مساحة كبيرة بواسطة استخدام سقف سمكه صغير من الخرسانة

- نظرًا لأنها من الخرسانة يمكن أن تأخذ أى شكل نريد حسب التصميم
- أشكالها التصميمية تكمننا من تجميع مياه المطر فى أقل منسوب فى التشكيل.

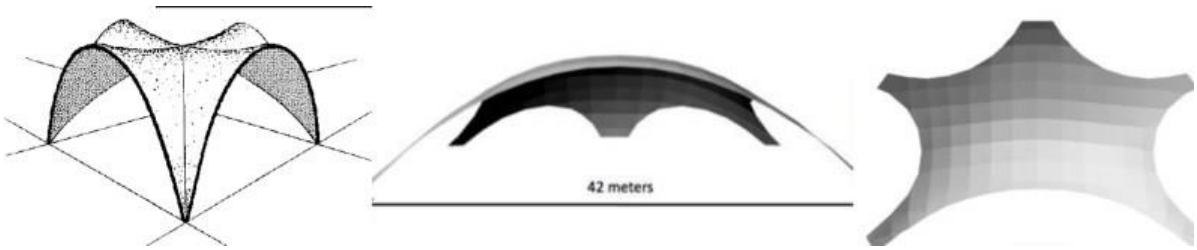
العيوب : لا يمكننا من تصميم دور أخر فوق القشريات حيث تكون هى السقف الأخير للمبنى



شكل (٥) يوضح النظم الإنشائية المستخدمة في تغطية البحور الكبيرة- نظام القشريات قشرة تشبه العقود المتجاورة لتغطية بحور واسعة .وهى عبارة عن خرسانة مصوبة معًا



شكل (٦) يوضح القشرة من الأشكال متعددة الأضلاع وتأخذ أى شكل من الأشكال حسب التصميم حيث يمكن الاستفادة منها بدخول الضوء مثل نظام السوتوس



شكل (٧) يوضح النظم الإنشائية المستخدمة في تغطية البحور الكبيرة- نظام القشريات

(القشرة من القباب) تغطى مساحة أكبر فى حالة القباب قد تصل إلى ٥٠ م

- و إذا استعملناها من الجهتين مثل المتقاطعة فى الصورة يمكن أن تصل إلى ٦٠ م
- بهذه الفكرة يمكن التطبيق على أشكال كثيرة مثل الصورة فى الأسفل

شكل (٨) يوضح النظم الإنشائية المستخدمة في تغطية البحور الكبيرة لبعض المباني المشهورة -نظام القشريات

-أشكال القشريات فى المبانى المشهورة و كيف أنها منحنية حتى تغطي بحر أوسع

- و استخدامها فى السقف الأخير و يتم عزلها جيدًا سواء من الرطوبة أو الحرارة

- فى هذه الحالة يمكن أن يصل البحر إلى ٥٠ م.

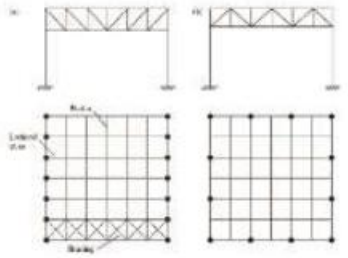
٤- منشآت الآطر المعدنية ذات اتجاه واحد:

وهي منشآت تعتمد على الآطر الفولاذية في تشكيل البنية الإنشائية الحاملة، هذه الآطر لها عدة أشكال منها الهرمية أو المثلثية، تعمل كعناصر ربط تقوم بتحمل قوى الشد والضغط المحورية كما تتحمل العزوم المطبقة، لكن القوى الخارجية تحمل على نقاط الاتصال ولا تحمل على الآطر نفسها.

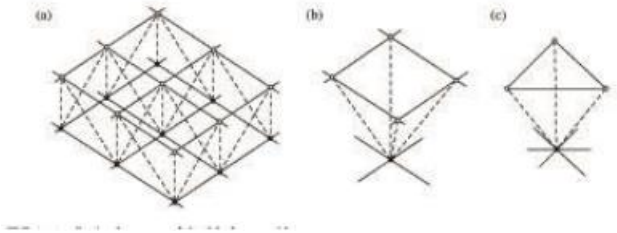
وتتميز الآطر في المنشآت الفراغية المعدنية بقدرتها على تغطية الفراغية الواسعة التي يزيد مجازها عن ١٥٥ م.

وتقسم المنشآت المعدنية إلى:

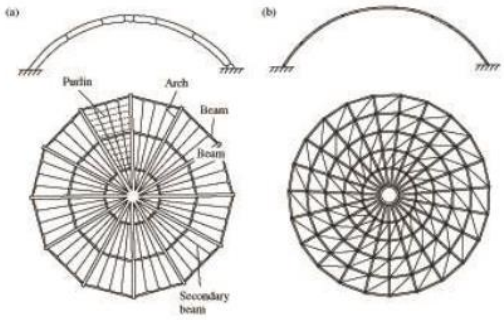
- الآطر المستقيمة (المفردة والمزدوجة)
- الآطر المنحنية (الشعاعية والدورانية)



شكل (٩) يوضح الآطر المستقيمة المفردة

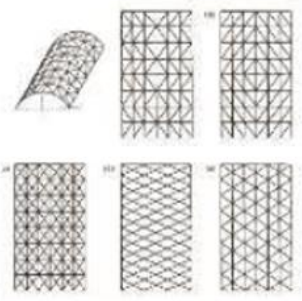


شكل (١٠) يوضح الآطر المستقيمة المزدوجة

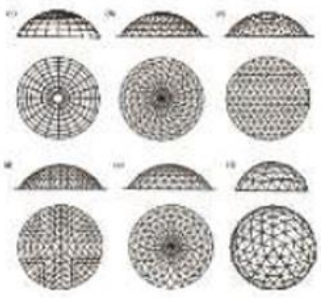


شكل (١١) يوضح الآطر المنحنية الشعاعية والدورانية

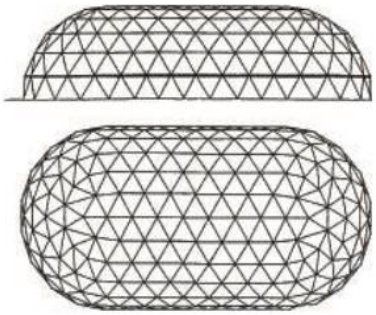
هناك تشكيلات متنوعة للآطر الفراغية بحسب شكل انحنائها، مثل القبوات التي تتشكل من انحناء الإطار باتجاه واحد أي اسطواني اولقباب التي تتشكل من دوران الإطار حول مركز وأيضا الدمج بين القبة والشكل الأسطواني.



شكل (١٢) يوضح الشكل الاسطواني للإطار المعدني



شكل(١٣) يوضح الآطر االمعدنية على شكل قبة



شكل (١٤) يوضح اندماج الشكل الاسطواني والقبة للآطر المعدنية

مفهوم القبة:

القبة هي واحدة من أهم أجزاء العمارة كعلم وفن، أو ما يستخدم لإغلاق مساحة مفتوحة وعادة ما يكون لها أشكال ، ملفتة للنظر من الخارج والداخل، و يمكن أن تنتهي القبة مغلقة على شكل مخروط ، بصل ، بطريقة دائرية أو مثلثة وفقًا للأسلوب الفني الذي يشار إليه . كما انها نوع من الأقبية التي تستخدم للتسقيف وهي بأبسط أشكالها عبارة عن نصف كرة مجوفة تقف على أعمدة أو جدران ومصنوعة من مواد مختلفة، وتعتبر القبة عنصرا من عناصر العمارة الإسلامية.

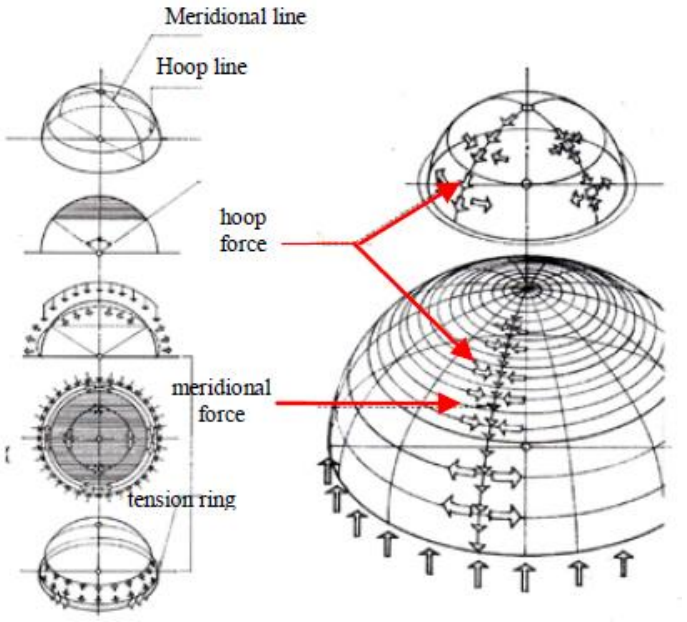
كما تستعمل كلمة قبة للدلالة على بناية جنائزية مربعة ومغطاة بقبة ، كانت القباب دائمًا عناصر زخرفة معمارية رائعة ليس فقط في الداخل ولكن أيضًا في الخارج ، هذا لأن القباب عادة ما تكون مزخرفة بطرق لا تضاهى من الداخل والخارج لديهم دائمًا عناصر تجعلها تبرز عن بقية المباني .

التحليل الفيزياوي لمنشأ القبة:

القبة بوصفها منشأ قشري مجوف تعتمد في نقلها للأحمال على شكلها المحدودب، وتتكون بنيتها من مجموعة من القوى المختلفة وهي قوى meridional force الاتجاهات، فهناك القوى الطولية تعمل على الخط الطولي لمنشأ القبة، حاملةً compressionانضغاط ، hoop forcesالأثقال العمودية.

كما تظهر القوى الدائرية الطوقية والتي تعمل على خطوط العرض الدائرية لمنشأ القبة عمودية على القوة الطولية، وتعمل القوى الطوقية بخاصية الانضغاط في الجزء العلوي من القبة وبخاصية الشد في الجزء السفلي منها، وهي تقوم بكبح القوى النافرة من سطح القبة التي تسببها الشرائح الطولية لمنشأ القبة، والتي تحوي النقاط النافرة tension ring أسفل القبة توجد حلقة الشد للخارج مع القوى الطولية، وفي القباب الكونكريتية تتخّن هذه الحلقة وتسلّح لتتمكن من السيطرة على الإجهادات المائلة والناتجة عن اختلاف السلوك الإنشائي بين حلقة القبة وقشرتها.

اذاً منشأ القبة يعمل ككل متكامل من القوى المتوافقة والمتناقضة، والتي بمجموعها تحفظ توازن ودوام القبة، وأن أي عملية خرق لصلادة القبة يمثل تحدياً هندسياً وإنشائياً جديداً يتطلب وضع حلول منشأية جديدة.



شكل(١٥) يوضح التحليل الفيزياوي لمنشأ القبة

القبة الهيكلية:

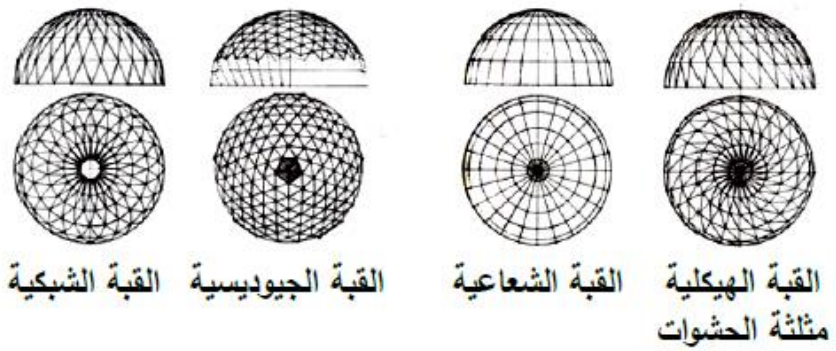
على الرغم من ارتباط مفهوم القبة الهيكلية بالعمارة الحديثة، إلا أننا نجد أن الإرث المعماري لكثير من الشعوب يحوي على قباب هيكلية و قد ظهرت بدايات القباب الهيكلية مع بدايات عصر النهضة، وذلك بسبب التأثر بتقنية الأضلع والحشوات التي ظهرت في العصرالقوطي. و تعد قبة كنيسة فلورنسا في ١٤٢٠ م مؤشراً لبداية عصر النهضة، وهي قبة هيكلية منشأة بوحدات بنائية من الطابوق ، تختلف المواد التي تُنشأ منها الهياكل في القباب وأهمها الوحدات البنائية، الخشب والحديد ويمكن تقسيم أنماط القباب الهيكلية لما يأتي:

القبة الشعاعية: تُبنى بهيكل حديدي أوخشبي مرتب بشكل شعاعي ومرتبط مع بعضه بحلقات مضلعة موضوعة بارتفاعات مختلفة.

القبة الهيكلية مثلثة الحشوات: ذات هيكل حديدي مكون من عناصر بشكل خطوط طولية وعناصر بشكل دوائر عرضية، ومجموعة ثالثة من العناصر القطرية التي تقطع الأشكال الرباعية الناتجة لتكون شكل المثلث كوحدة متكررة في الحشوات.

القبة الشبكية: هي قبة بهيكل حديدي مكونة من عناصر بشكل دوائر عرضية، ومجموعتان من العناصر القطرية التي تحل محل خطوط الطول وتشكل سلسلة من المثلثات متساوية الساقين.

القبة الجيوديسية: هي قبة بهيكل حديدي مكونة من ثلاثة مجاميع من دوائر ضخمة، تتقاطع مع بعضها ب ا زوية ٦٠ درجة، مقسمة سطح القبة إلى سلسلة من المثلثات متساوية الأضلاع.



شكل(١٦) يوضح انواع القباب الهيكيلية

القباب المعدنية :

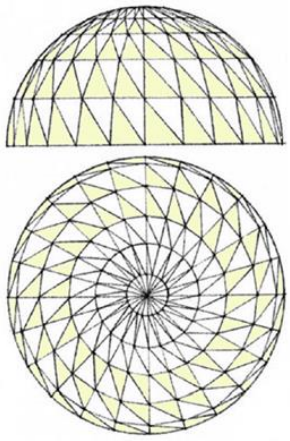
أ. قبة شويدلر Scheduler Dome

أول ما نشر عن القبة الأصلية لشويدلر أو الكوبولا Cupola كان في سنة ١٨٦٦ م، هذه القبة مكونة من شكل كثير الأضلاع محدد أضلاعه استاتيكياً، كما أن سطحها مقسم إلى مثلثات Triangles كثيرة يكون لكل منها إطار ذو ثلاثة أبعاد لإعطاء الصلابة المطلوبة للمنشأ فالشكالات المائلة الموجودة في القبة يمكن الاستغناء عنها عند تشكيلها. وعلى ذلك فأبسط أنواع هذه القباب هي التي بدون شكالات مائلة وبذلك تتكون أعضاؤها المستقيمة من الأضلاع الطويلة والأضلاع الموازية للدوائر.

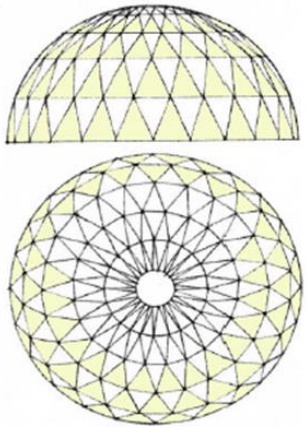
ب. قبة اللاميلا Lamella Dome

قد يطلق عليها قبة اللاتس Lattice لأن كل أعضائها توجد على الخطوط الإشعاعية الخارجية من مركز القبة، ولكن كل ضلع طولي إشعاعي يخرج منه ضلعين من شكالين مائلين ، هذه الشكالات مع الدعامات القائمة تكون سطح المائلات الأساسية لخط العرض الدائري لشبكة وحدة الشكل المثلثي ذات الأبعاد الثلاثة المتعامدة على بعضها.

ويمكن تغطية سطح هذه القبة بمواد خاصة سهلة التشكيل، وتغطي قبة اللاميلا المعدنية بصفائح ألواح الألومنيوم وما يماثلها.



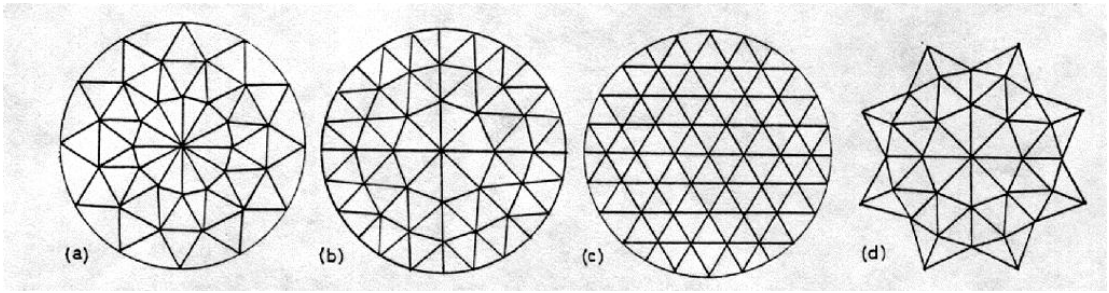
شكل(١٧) يوضح قبة شويدلر



شكل(١٨) يوضح قبة اللاميلا

جـ. قبة اللاميلا المتوازية Parallel Lamella Dome

قد اخترعت قبة اللاميلا المتوازية لتقلل من عدد الأضلاع المكونة لسطح القبة، على الرغم من أن كل ضلع متماثل على خطوط التماثل الإشعاعية فإن تأثير هذه الأضلا ع الإشعاعية عند نهايتها قد تحدث عدم تماثل مما يؤثر على جمال سطح القبة.



شكل(١٩) يوضح قبة اللاميلا المتوازية

الدراسة التطبيقية:

مسجد مصر

مسجد مصر الكبير هو مسجد قيد الإنشاء في العاصمة الإدارية،المسجد مبني على الطراز المملوكي ويقع على هضبة تطل على العاصمة الإدارية ويحتوي على ١٢ قبة صغيرة و ٨ قباب متوسطة و قبة رئيسية قطرها ٣٠ متر، وتبلغ مساحة المسجد ١٩١٠٠ متر مربع ويحتوي على ٣ مداخل رئيسية يعلوها قباب إسلامية بالإضافة إلى مدخل خدمي رابع.

يتكون المسجد من صحن الصلاة بمساحة ٩٦٠٠ متر مربع ويسع ١٢٠٠٠ مصل يعلوه قبة إسلامية رئيسية بقطر داخلي ٢٩,٥ متر، و٦ قاعات تبلغ مساحة القاعة الواحدة ٣٥٠ م٢ وتعلو كل منها قبة إسلامية كما أن للمسجد فراغات خدمية مختلفة .

مبنى القاعة الشرقية:

تبلغ المساحة الكلية للقاعة الشرقية حوالي ٣٠٥٥ م٢ تتوسطها قبة إسلامية، وينقسم المبنى إلى ٣ قاعات رئيسية تسع قاعتين لـ ٢٠٠ فرد لكل منهم أما القاعه الثالثة فتسع ٤٠٠ فرد.

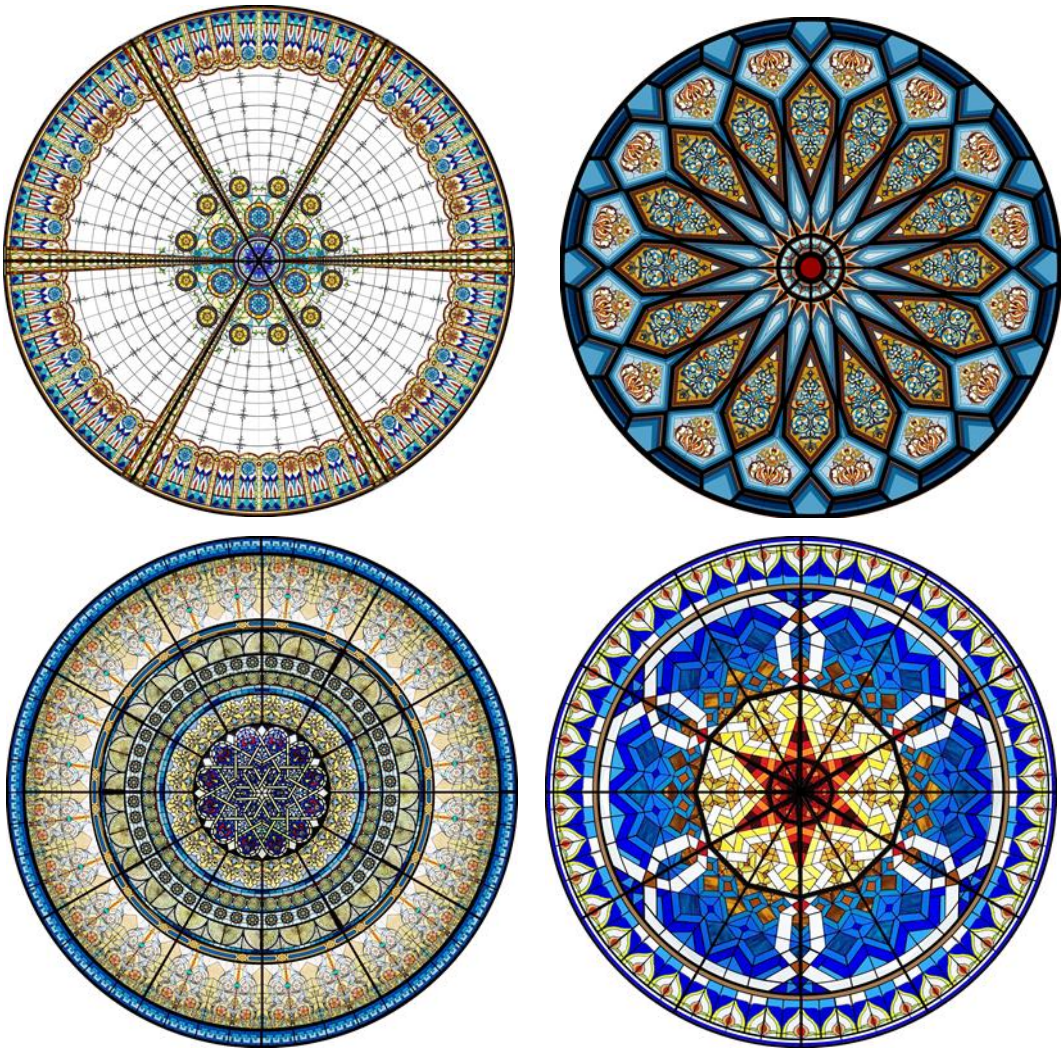
مبنى القاعة الغربية:

تبلغ المساحة الكلية للقاعة الغربية حوالي ٢٨٠٠ م٢ تتوسطها قبة، ويتكون المبنى من قاعة رئيسية مخصصة لكبار الزوار تبلغ مساحتها حوالي ٨٠٠ م٢.

دراسة الافكار التصميمية والتطبيقية:

تم الاستفادة من الزخارف النباتية للفن الإسلامي باستخدام التجريد في التصميم وتحوير العناصر والزخارف لتتناسب مع المعاصرة في الفكر الفني. وتوزيع هذه الأعمال لتتناسب والزجاج المعشق بالألوان المستخدمة في الفن الإسلامي لتكون الفكرة التصميمية للمشروع الخاص بمسجد مصر والتأكيد على العناصر النباتية الإسلامية المجردة في تماسك وتشابك حول الإطار الخارجي من القبة ، والأشكال التالية توضح بعض الأفكار التصميمة للقباب موضوع البحث .

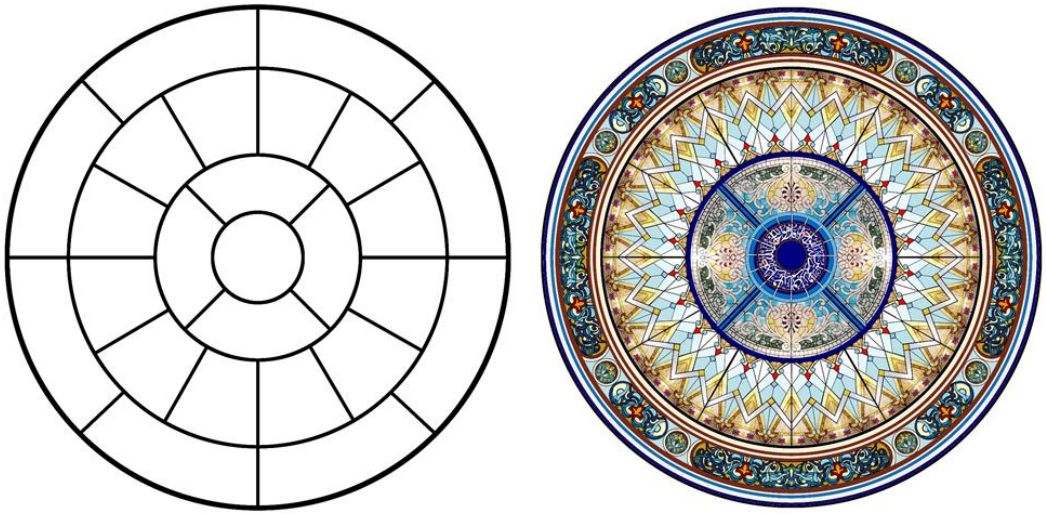
الأفكار التصميمية الأولية:



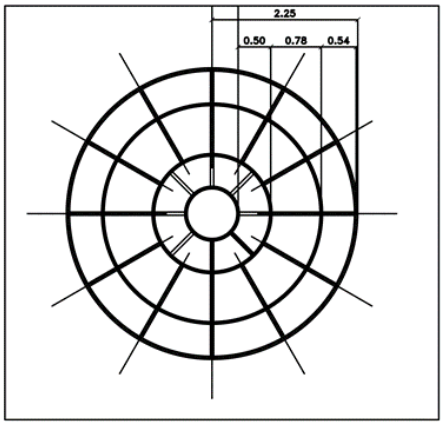
شكل(٢٠) يوضح الأفكار التصميمية الأولية لقباب مسجد مصر

التطبيق الأول :

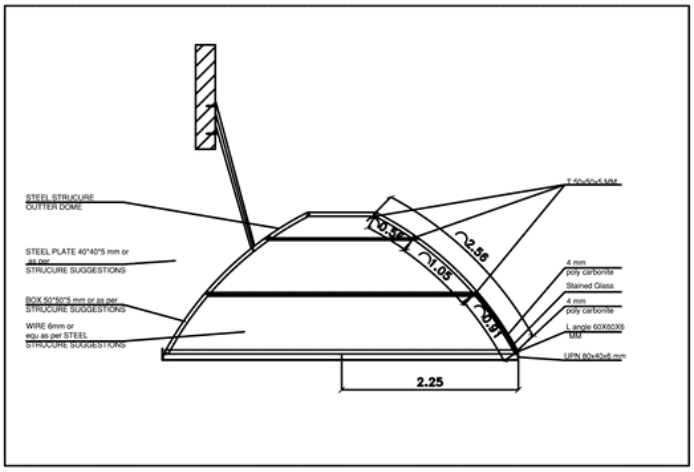
الفكرة التصميمية الأولى:



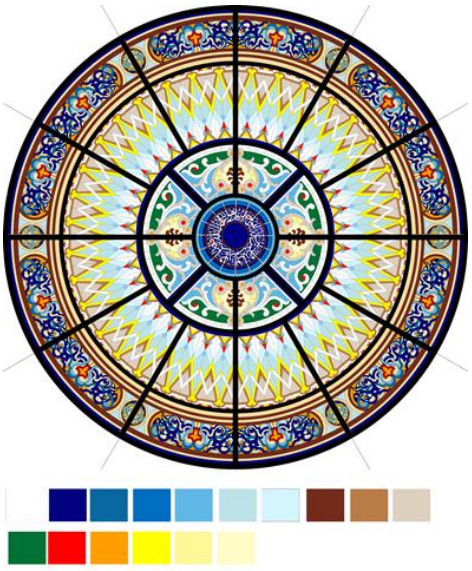
شكل(٢١) يوضح الفكرة التصميمية الأولى والتي تم تنفيذها بمسجد مصر



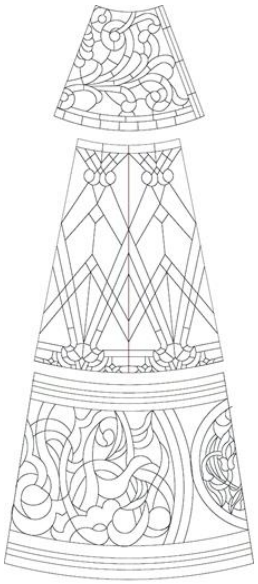
شكل(٢٢) يوضح المسقط الأفقي للقبة



شكل(٢٣) يوضح القطاع الجانبي للقبة الحديدية



شكل(٢٤) يوضح تحديد الوان الزجاج المستخدم في التعشيق وكمياته



شكل(٢٥) يوضح الرسم التنفيذي للزجاج المعشق

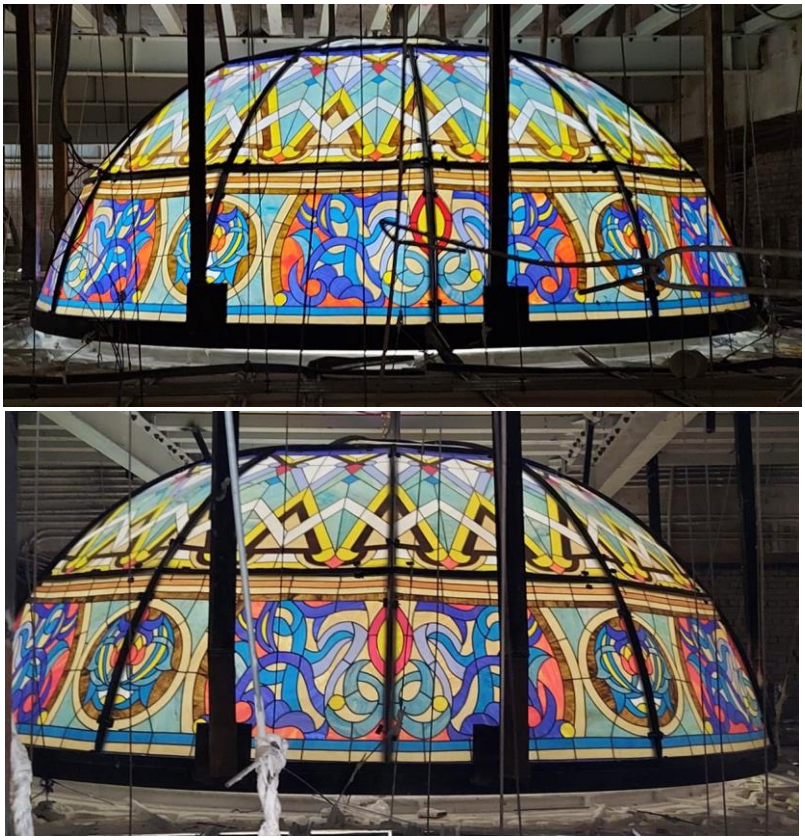
الدراسة التطبيقية:

شكل(٢٦) يوضح القطاعات الانشائية للقطاعات الحديدية للقبة الأولى

شكل(٢٧) يوضح عملية تقطيع وتعشيق زجاج القبة وفقاً للتصميم المقترح

يتم تجميع الزجاج وتعشيقه بواسطة الزجاج الأوبال الملون والمعتم طبقاً للتصميم المقترح ، وعمل الرسم التنفيذي المعد لذلك يتم ثم يتم تطبيقه على المقاسات المطلوبة في الرسم التنفيذي وبعد ذلك يتم إجراء عملية التعشيق وتجميع الزجاج عن طريق أعواد الرصاص ثم بعد ذلك يتم إجراء عمليات اللحام بالقصدير ثم عملية السيمنت أو المعجنة وعملية الأكسدة بعد ذلك للحصول على القطعة الزجاجية الملونة والمعشقة بالرصاص المطلوبة.

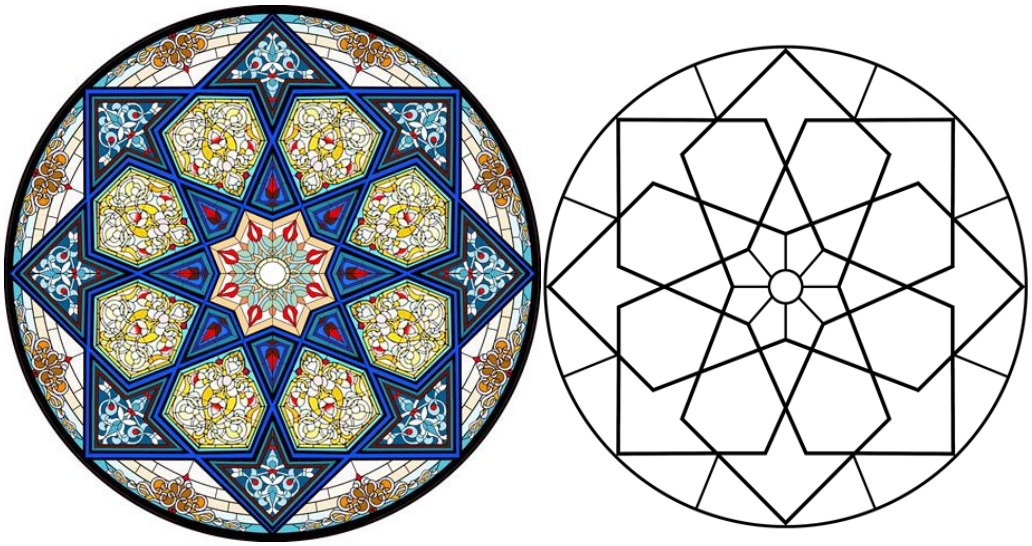
شكل(٢٨) يوضح تجربة الفص الأولي من الزجاج المعشق على القطاعات الانشائية المعدنية الخاصة بالقبة



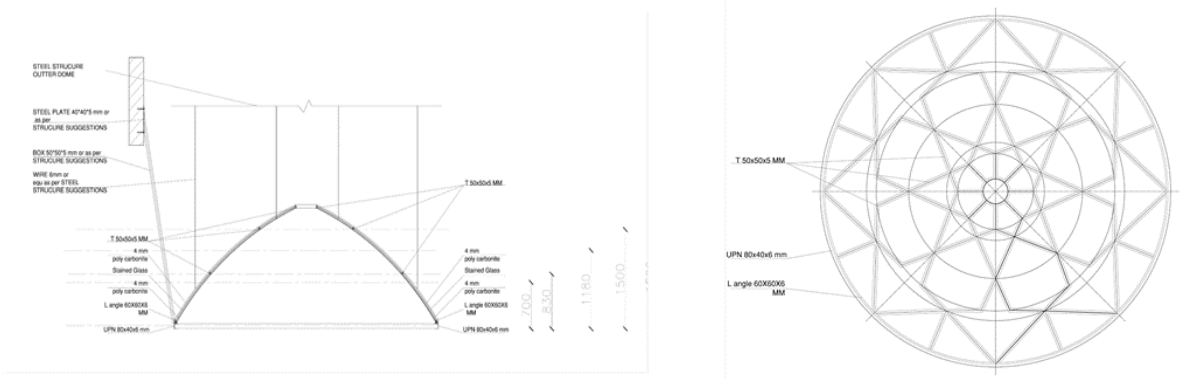
شكل(٢٩) يوضح الشكل النهائي للقبة من داخل المسجد

شكل(٣٠) يوضح الشكل النهائي للقباب مجمعة

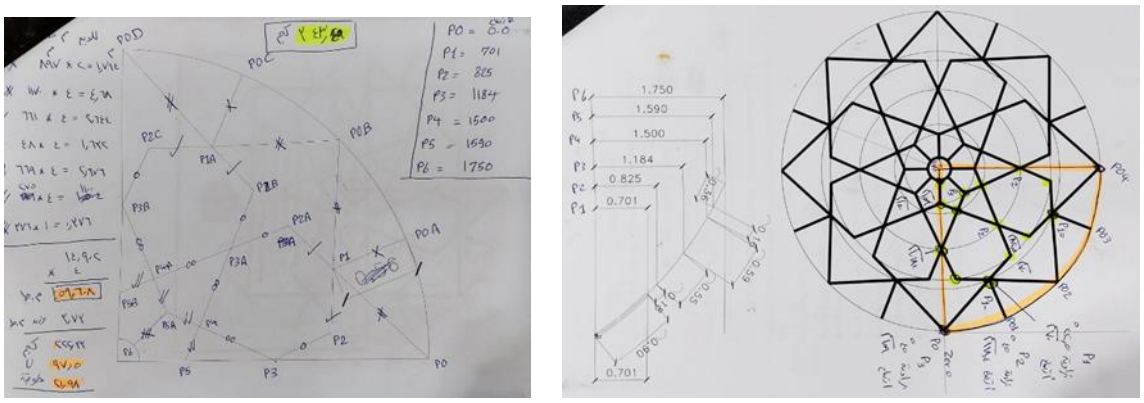
الفكرة التصميمية الثانية:



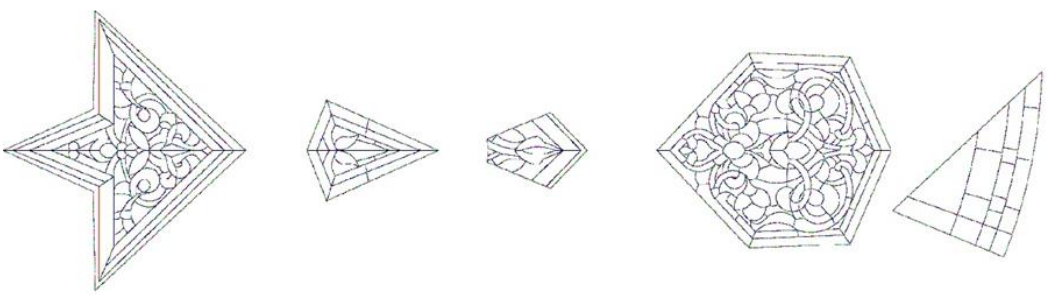
شكل(٣١) يوضح الفكرة التصميمية الثانية والتي تم تنفيذها بمسجد مصر



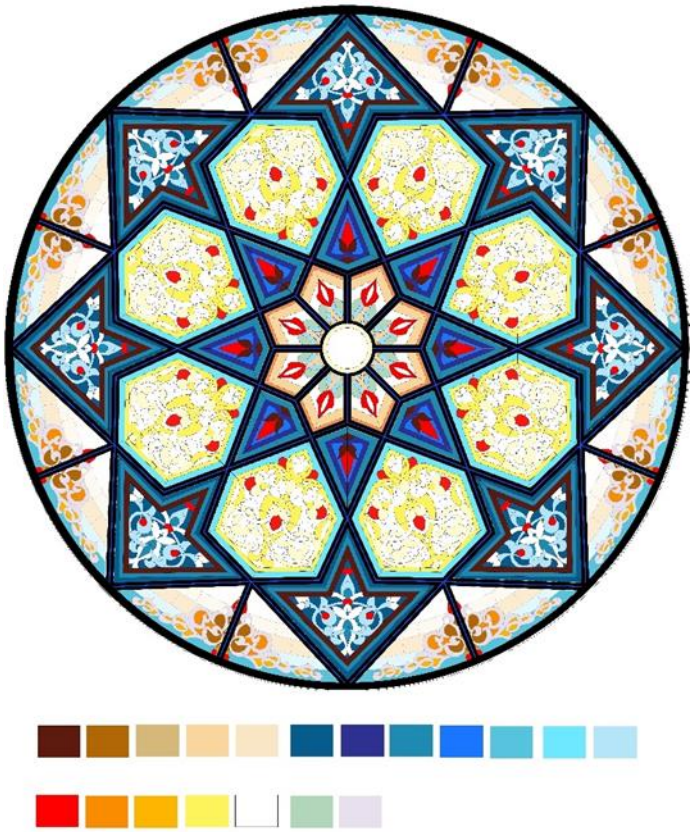
شكل(٣٢) يوضح المسقط الأفقي وقطاع جانبي للحديد



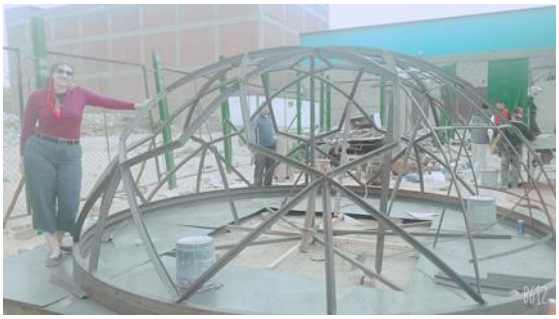
شكل(٣٣) يوضح اسكتش تفصيلي للقطاعات الحديدية الانشائية



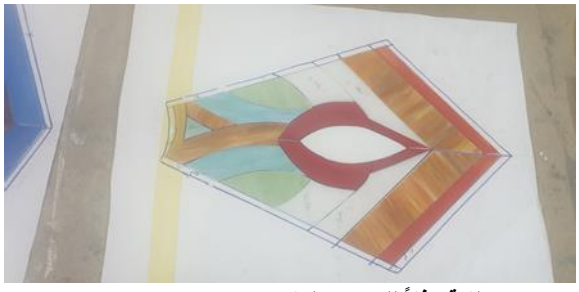
شكل(٣٤) يوضح الرسم التنفيذي للزجاج المعشق



شكل(٣٥) يوضح تحديد الوان الزجاج المستخدم في التعشيق وكمياته

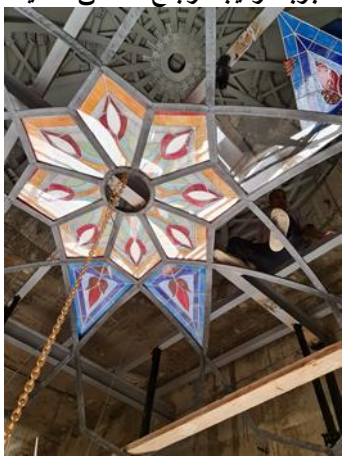


شكل(٣٦) شكل قطاعات الحديد المختلفة ومحاولة تحديد شكل الفراغ الزجاجي للزجاج المعشق

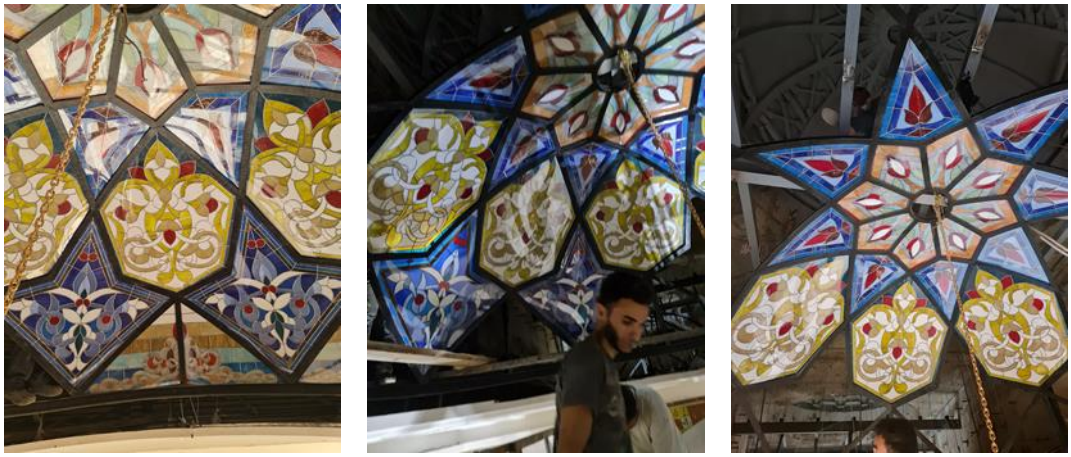


شكل(٣٧) يوضح عملية تقطيع وتعشيق زجاج القبة وفقاً للتصميم المقترح

شكل(٣٨) يوضح عملية تجربة تركيب الزجاج المعشق لتحديد المقاسات الفعلية للتركيب



شكل(٣٩) يوضح مراحل تركيب الزجاج المعشق بالقبة الكريستالية



شكل(٤٠) يوضح مراحل عملية تركيب القبة

شكل(٤١) يوضح مراحل الانتهاء من عملية التركيب للقبة

شكل(٤٢) يوضح الشكل النهائي للقبة

نتائج البحث:

1- تم تنفيذ عدد ١٢ قبة ذات بحور واسعة بمسجد مصر

2- الاستفادة من تكنولوجية التركيبات المختلفة لتسهيل عملية تركيب القباب بطريقة انشائية مختلفة .

المراجع:

1. سيسيل واكيم قناب، تأثير أساليب التسقيف الحديثة على مرونة الشكل والوظيفة لمنشآت سوريا (المنشآت الفراغية)،رسالة ماجستير،الهندسة المعمارية بجامعة تشرين،٢٠١٧.

1. sisil wakym qanabi, altaathir altakeibii ealaa wazifat alshakl walwazifat alhadithat liminshat minshat suria)almunshat almutatawira (, risalat majistir, alhandasat altiknulujiat fi tishrin, 2017.

2. هاله شمسي محمد الديواني،أسماء صادق عبد الكريم العاني،القبة وثنائية الانفتاح والانغلاق رؤية تحليلية للجوانب الفكرية والمنشأية والبيئية، مجلة الإمارات للبحوث الهندسية، قسم هندسة العمارة، جامعة بغداد ، ٢٠١٥.

2. halah shamsi muhamad aldiywani,'asma' sadiq eabd alkarim aleani,alqubat walainfitah walaighlaq ruyat tahliliat liljawanib huquq altaalif walnashr walbiyiyati, majalat al'iimarat lilbuhuth alhandasiati, qism handasat alhandasat almiemariati, jamieat baghdad, 2015.

3. أسامة قنبر،نظم تغطية الأسقف- إنشاء معماري، بحث منشور ، جامعة طنطا، ٢٠٢٠

3. 'usamat qanbar, nazam taghtiat al'usqufu- 'iinsha' miemari, bahath manshur , jamieat tanta, 2020