



الجمهورية العربية السورية
جامعة دمشق
كلية الهندسة المعمارية
قسم علوم البناء والتنفيذ

تقنيات تنفيذ السطوح غير المنتظمة ودور التكنولوجيا الرقمية

فيها

- دراسة إمكانية تطبيقها في سورية -

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المعمارية
قسم علوم البناء والتنفيذ

إعداد:

المهندسة نيللي وسيم أجمان

إشراف:

الأستاذ الدكتور المهندس غسان عبود

نوقشت هذه الرسالة بتاريخ 2014/12/30 و أجزت من قبل لجنة التحكيم :

أ.د.م غسان عبود
الأستاذ في قسم علوم البناء و التنفيذ
كلية الهندسة المعمارية
جامعة دمشق

أ.د.م سلمان محمود
الأستاذ في قسم التصميم المعماري
كلية الهندسة المعمارية
جامعة دمشق

د.م سمير سلوم
المدرس في قسم علوم البناء و التنفيذ
كلية الهندسة المعمارية
جامعة دمشق

الاهداء :

فهرس المحتويات

| | |
|----|--|
| 3 | فهرس المحتويات |
| 8 | فهرس الأشكال |
| 12 | فهرس الصور |
| 13 | فهرس الجداول |
| 14 | ملخص البحث |
| 15 | المقدمة – الجزء التمهيدي - |
| 15 | 1- مدخل البحث |
| 15 | 2- اشكالية البحث |
| 15 | 3- أهمية البحث |
| 16 | 4- أهداف البحث |
| 16 | 5- منهجية البحث |
| 17 | الفصل الأول: المفاهيم الهندسية المتبعة في تصميم و تنفيذ السطوح غير المنتظمة |
| 18 | 1-1- لمحة تاريخية عن ظهور السطوح المنحنية في العمارة و تطورها |
| 18 | - السطوح المنحنية و المواد التقليدية |
| 20 | - السطوح المنحنية و ظهور البيتون المسلح |
| 20 | - السطوح المنحنية و المواد الحديثة |
| 21 | - السطوح المنحنية و البرمجيات الحديثة |
| 23 | - السطوح المنحنية و مواد العصر الحديث |
| 23 | 1-2- السطوح غير المنتظمة من وجهة نظر الهندسة الجيومترية و تأثيرها على الشكل المعماري |
| 23 | 1-2-1- تعريف السطح |
| 24 | 1-2-2- طرق توليد السطوح |
| 25 | 1-2-2-1- السطوح الانتقالية |
| 25 | 1-2-2-1- السطوح الدورانية |
| 27 | 1-2-2-1- السطوح المسطرة |
| 27 | 1-2-3- السطوح القابلة للفرد و تصنيفها |
| 28 | 1-2-4- المعايير المميزة للسطوح المنحنية |
| 28 | 1-4-2-1- الانحناء Curvature |

- 29..... Gaussian Curvature انحناء غاوس 2-4-2-1
- 30..... Mean Curvature متوسط الانحناء 3-4-2-1
- 30..... Freeform Surfaces : (الحرة) السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة 3-1
- 31..Free form Curves (المنحنيات ذات الأشكال الحرة) 1-3-1
- 31..... لمحة تاريخية 1-1-3-1
- 31..... أنواع المنحنيات غير المنتظمة 2-1-3-1
- 35..... Subdivision Curves المنحنيات المجزأة 3-1-3-1
- 36..... طريقة توليد السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة 2-3-1
- 37..... أنواع السطوح غير المنتظمة 3-3-1
- 37..... " بيزير " Bezier Surfaces 1-3-3-1
- 38..... B –Spline Surfaces و السطوح ب سبلاين 2-3-3-1
- 39..... Nurbs Surfaces السطوح النيربز 3-3-3-1
- 39..... Principal Main Curvature lines معيار خطوط الانحناء الرئيسية 4-3-1
- 40..... Subdivision Surfaces السطوح المجزأة 5-3-1

الفصل الثاني:

- تأثير عناصر العمارة على تصميم و تنفيذ السطوح غير المنتظمة و دراسة تطبيقاتها في الهندسة المعمارية
- 43.....
- 44..... 1-2- تأثير المتطلبات الوظيفية على تنفيذ السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة
- 44..... 1-1-2- المجازات الواسعة
- 45..... 2-1-2- المواد المستعملة
- 45..... 3-1-2- الفراغات الداخلية
- 45..... 2-2- تأثير النواحي الجمالية على تنفيذ السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة
- 45..... 1-2-2- الشكل الانسيابي المطلوب للسطوح غير المنتظمة
- 45..... 2-2-2- مفهوم السطح متعدد الوجوه – الميش - (Polygonal Meshes) و دوره في تنفيذ السطوح غير المنتظمة
- 46.....
- 46..... 1-2-2-2- لمحة عن مفهوم الميش Mesh متعدد الوجوه في العمارة
- 47..... 2-2-2-2- الشكل الهندسي للميش والاتصال بين الوجوه
- 49..... 3-2-2-2- تحسين السطح
- 49..... 4-2-2-2- متعدد الوجوه غير الملائم Bad Mesh
- 49..... 3-2-2-2- تصنيف السطوح غير المنتظمة متعددة الوجوه

- 50.....1-3-2-2-السطوح المنفصلة
- 50..... - السطوح ذات الألواح المثلثية
- 55..... - السطوح ذات الألواح الرباعية
- 58..... - السطوح ذات الألواح السداسية
- 60..... - السطوح ذات ألواح بأشكال أخرى
- 61.....2-3-2-2-السطوح نصف المنفصلة
- 61..... - السطوح ذات الألواح المنحنية باتجاه واحد
- 63..... - السطوح المؤلفة من شرائح قابلة للفرد
- 64.....3-3-3-2-السطوح المستمرة الناعمة (ذات الألواح المنحنية باتجاهين)
- 66.....4-3-2-2-السطوح المسطرة
- 67.....3-2- تأثير النواحي الاقتصادية على تنفيذ السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة
- 67.....1-3-2- اختيار شكل متعدد الوجوه الذي سيحول اليه السطح المنحني
- 68.....2-3-2- اختيار المواد التي سينفذ بها السطح
- 70.....3-3-2- النمذجة و تكرار الألواح
- 71.....4-2- تأثير المتانة الإنشائية على تنفيذ السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة
- 72.....1-4-2- تأثير السلوك الإنشائي على اختيار الشكل العام للقشرية
- 73.....1-1-4-2- اتجاه انحناء السطح (Direction of curvature)
- 73.....2-1-4-2- شدة الانحناء (مقدار الانحناء) Magnitude of curvature
- 73.....3-1-4-2- استناد القشرية على الأرض
- 74.....2-4-2- العلاقة بين شكل متعدد الوجوه الذي سيبسط اليه السطح و المتانة الإنشائية
- 74.....1-2-4-2- تأثير طريقة نقل الحمولة في وجوه القشرية
- 76.....2-2-4-2- تأثير السلوك الإنشائي لكل وجه في القشرية
- 78.....3-2-4-2- تأثير الخصائص الهندسية لشكل لألواح
- 79.....3-4-2- تأثير الوصلات بين الوجوه
- 80.....1-3-4-2- الاجهادات في الوصلات و تأثير صلابة مادة الوصلة
- 81.....2-3-4-2- شكل الوصلات و أبعادها
- 81.....4-4-2- تأثير العقد بين العناصر الإنشائية في الهياكل الشبكية
- 83.....1-4-4-2- العقد المرتكزة على صفيحة تماس
- 84.....2-4-4-2- العقد المرتكزة على تجاوز الوجوه
- 87.....3-4-4-2- العقد الكروية

- 88.....4-4-4-2 مقارنة بين العقد
- 89.....5-2 تحليل النماذج المدروسة
- الفصل الثالث:**
- 93.....التقنيات و البرامج الرقمية المستعملة في تصميم و تنفيذ السطوح ذات الاشكال غير المنتظمة.....
- 94.....1-3-1 تقنيات التمثيل الرقمي للمشروع
- 94.....1-1-3-1 تقنيات الرسم و التصميم الرقمي
- 94.....2-1-3-1 تقنيات اعادة التمثيل الرقمي
- 96.....2-3-2 تقنيات التحليل الرقمي للسطوح
- 97.....1-2-3-1 تحليل سلوك الانحناء
- 99.....2-2-3-2 خطوط ضبط الجودة
- 100.....3-2-3-3 تقنيات التحليل الانشائي للسطوح
- 101.....4-2-3-4 تحليل سلوك الإكساء (الملمس)
- 102.....3-3-3-3 تقنيات التحويل لألواح (متعدد وجوه)
- 102.....1-3-3-1 عملية تضليع السطح
- 104.....2-3-3-2 ملائمة السطح المفروض
- 105.....3-3-3-3 تحسين السطح
- 106.....4-3-4 تقنيات نمذجة الألواح
- 109.....5-3-5 تقنيات التصنيع
- 110.....1-5-3-1 تقنيات القص
- 112.....2-5-3-2 تقنيات الحني
- 114.....3-5-3-3 تقنيات الطرح
- 116.....4-5-3-4 تقنيات اضافة الطبقات
- 117.....6-3-6 تقنيات التجميع و طرقه
- 119.....7-3-7 أهم البرمجيات المستعملة في تصميم و تنفيذ السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة
- الفصل الرابع : دراسة امكانيات و تقنيات التنفيذ المتوفرة محليا و الملائمة لتنفيذ السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة في سورية.....**
- 122.....
- 123.....1-4-1 تواجد السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة في سورية
- 127.....2-4-2 حالة دراسية مبنى استكشاف الطفل (مسار)
- 131.....3-4-3 الاعتبارات التصميمية و المعمارية المطلوب أخذها بعين الاعتبار لتصميم السطوح ذات أشكال غير منتظمة في سورية

| | |
|----------|--|
| 131..... | 1-3-4- الحل الوظيفي و الفراغات الداخلية |
| 132..... | 2-3-4- المناخ |
| 133..... | 3-3-4- الانسجام مع البيئة المحيطة |
| 134..... | 4-3-4- الاقتصاد و المواد المتوفرة |
| 134..... | 4-4- المواد و امكانيات التنفيذ المتوفرة في سورية الملائمة لتنفيذ السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة |
| 135..... | 1-4-4- البرمجيات وطرق الدراسة الرقمية |
| 135..... | 2-4-4- المواد المتوفرة في سورية وطرق تصنيعها |
| 136..... | 1-2-4-4 المعادن |
| 137..... | - توفر و استعمال المواد المعدنية في سورية |
| 137..... | - صناعة المواد المعدنية في سورية |
| 141..... | 2-2-4-4- البيتون (الخرسانة) |
| 141..... | - توفر و استعمال البيتون في سورية |
| 141..... | - استعمال البيتون المسلح للسطوح المنحنية في سورية |
| 142..... | - البيتون المقوى بألياف زجاجية (المقوى بالألياف بشكل عام) |
| 142..... | 3-2-4-4- الزجاج |
| 142..... | - توفر و استعمال الزجاج في سورية |
| 143..... | - صناعة الزجاج في سورية |
| 144..... | - طرق معالجة الزجاج في سورية |
| 145..... | 4-2-4-4- التغطية باستعمال المواد البلاستيكية |
| 145..... | 5-2-4-4- الخشب |
| 146..... | - توافر و استعمال الخشب في سورية |
| 146..... | - صناعة الخشب في سورية |
| 147..... | 3-4-4- أدوات التصنيع المتوفرة في سورية |
| 148..... | 4-4-4- طرق التجميع و اليد العاملة المتوفرة في سورية |
| 149..... | نتائج البحث |
| 149..... | التوصيات |
| 150..... | الخاتمة |
| 151..... | ملخص البحث باللغة الانكليزية Research Summery |
| 153..... | قائمة المراجع |

فهرس الأشكال

- الشكل (01): أشكال مختلفة لسطوح منحنية 19
- الشكل (02): طرق توليد السطوح 24
- الشكل (03): سطح انتقالي يستخدم خطوط متعددة الأضلاع كمولدات 25
- الشكل (04): سطح دوراني ناتج من دوران منحنى حول محور 25
- الشكل (05): مجموعة من السطوح الدورانية حول محاورها الرئيسية 26
- الشكل (06): اليسار، سطح دوراني مستمر - الوسط، سطح دوراني منفصل باتجاه واحد - اليمين،
سطح دوراني منفصل بالاتجاهين 26
- الشكل (07): سطح مسطح ناتج عن حركة مستقيم على منحنى 27
- الشكل (08): مجموعة من السطوح القابلة للفرد على مستوى، المماس عبارة عن سطح مستوي على
طول المولد 28
- الشكل (09): انحناء نقطة من القطع المكافئ 29
- الشكل (010): تصنيف السطوح بحسب انحناء غاوس 30
- الشكل (011): منحنى بيزيير فراغي 32
- الشكل (012): منحنى بيزيير رباعي الأضلاع 32
- الشكل (013): تحريك أي نقطة تحكم يغير شكل منحنى بيزيير 32
- الشكل (014): منحنى B-Spline من الدرجة الثالثة 33
- الشكل (015): تحريك أي نقطة تحكم يغير فقط جزء منحنى B-spline المرتبط بهذه النقطة 33
- الشكل (016): تأثير جذب نقاط التحكم على شكل المنحنى Nurbs 34
- الشكل (017): خوارزمية طرح الزوايا بحسب طريقة رام و شاين 35
- الشكل (018): طريقة قص الزوايا باستخدام خوارزمية شاين 35
- الشكل (019): اليسار سطح BEZIER اليمين سطح B-SPLINE 36
- الشكل (020): سطح بيزيير انتقالي يتشكل من انتقال منحنى بيزيير من الدرجة الثالثة على طول
منحنى بيزيير من الدرجة الثانية 36
- الشكل (021): سطح بيزيير مسطح 37
- الشكل (022): سطح بيزيير مقطوع من سطح اسطواني 37
- الشكل (023): سطح بيزيير انتقالي يتشكل من انتقال منحنى بيزيير من الدرجة الثالثة على طول
منحنى بيزيير من الدرجة الثانية 38
- الشكل (024): اليسار سطح بيزيير من الدرجة (2,3) اليمين سطح بيزيير من الدرجة (2,2) 38
- الشكل (025): تغير شكل السطح Nurbs بتغيير مقدار جذب النقاط 39
- الشكل (026): خطوط الانحناء الرئيسية 40
- الشكل (027): خوارزمية شاين لتقسيم السطوح 40
- الشكل (028): طريقة ايجاد قمم جديدة في رباعي الوجوه بهدف التبسيط 41
- الشكل (029): طريقة ايجاد قمم جديدة في خماسي الوجوه بهدف التبسيط 41
- الشكل (030): طريقة تبسيط B-Spline 41
- الشكل (031): مقارنة بين خوارزميتين في التبسيط 42

- الشكل (032): تبسيط خط منحنى بواسطة أضلاع مستقيمة بدرجات نعومة مختلفة 46
- الشكل (033): تغطية ستاد ميونخ الأولمبي 47
- الشكل (034): ميش مثلثية لها نفس الشكل العام لكن بطرق اتصال مختلفة بين الوجوه 48
- الشكل (035): تبسيط الميش إلى متعدد وجوه باستخدام خطوط الانحناء الرئيسية 48
- الشكل (036): الاستمرارية بين الألواح و زاوية الانحراف بين الألواح 49
- الشكل (037): الجزء الأيمن ميش مثلثية تحوي قمم غير نظامية الجزء الأيسر ميش مثلثية كل قممها نظامية 50
- الشكل (038): سطح مجزء إلى وجوه مثلثية 51
- الشكل (039): مישات رباعية ذات قمم نظامية 55
- الشكل (040): سطح مجزء إلى وجوه رباعية 56
- الشكل (041): تبسيط السطح الزجاجي للمحطة Neumunster 56
- الشكل (042): مישات سداسية ذات قمم نظامية 59
- الشكل (043): تبسيط السطوح بأشكال مختلفة 60
- الشكل (044): ألواح منحنية باتجاه واحد مثبتة على هيكل حامل منفصل 61
- الشكل (045): اليمين تفريد الألواح على مستوي - الوسط تجميع الألواح مع بعضها - اليسار أثناء تصنيع الألواح لصالة المسارح في ديزني 63
- الشكل (046): تبسيط السطح لشرائح القابلة للفرد 64
- الشكل (047): تبسيط مبنى Szervita Square لشرائح قابلة للفرد 64
- الشكل (048): مركز كاليغاري للفن المعاصر 67
- الشكل (049): سطح مبسط إلى 1280 مثلث مقسمة إلى عشر مجموعات 70
- الشكل (050): تبسيط سطح بعدة طرق توضح كيف انه كل ما زاد عدد القوالب المكررة كلما قلت التكاليف و نلاحظ عدم تأثير الشكل بمقدار كبير 71
- الشكل (051): قطع قبة باستعمال مستوي أفقي سوف يسبب قطعاً في عدد من الوجوه 74
- الشكل (052): مثال عن نظرية سترينغر (Almegaard 2004) 75
- الشكل (053): ميكانيكية التحنيط المحلي في الوجوه. (Bagger et al. 2007a) 76
- الشكل (054): شروط استقرار صفيحة محملة بقوة خارج مستوي. (Almegaard 2003) 76
- الشكل (055): شروط استقرار صفيحة محملة بقوة داخل المستوي. (Almegaard 2003) 76
- الشكل (056): محصلة القوى المؤثرة على الوجه 77
- الشكل (057): القوى المحورية التي يتعرض لها اللوح (Young & Budynas 2001) 77
- الشكل (058): التشوهات بسبب عدم تشكل الفعل الغشائي (Schodek 2004) 78
- الشكل (059): عنصر وصل بين لوحين مثبت على عنصر حامل 79
- الشكل (060): الاجهادات و القوة التي تتعرض لها الوصلة 80
- الشكل (061): التشوهات في الوصلات نتيجة القوى 80
- الشكل (062): الزاوية الأفقية للعقد 81
- الشكل (063): الزاوية الشاقولية للعقد 82
- الشكل (064): زاوية الفتل للعقد 82

- الشكل (065) : هندسة ارتباط محاور العقد مع محاور العناصر الحاملة 82
- الشكل (066) : عقدة مرتكزة على صفيحة تماس نموذج 1 83
- الشكل (067) : عقدة مرتكزة على صفيحة تماس نموذج 2 83
- الشكل (068) : عقدة مرتكزة على صفيحة تماس نموذج 3 83
- الشكل (069) : عقدة مرتكزة على صفيحة تماس نموذج 4 84
- الشكل (070) : عقدة مرتكزة على صفيحة تماس نموذج 5 84
- الشكل (071) : عقدة مرتكزة على تجاور وجوه نموذج 1 84
- الشكل (072) : عقدة مرتكزة على تجاور وجوه نموذج 2 85
- الشكل (073) : عقدة مرتكزة على تجاور وجوه نموذج 3 85
- الشكل (074) : عقدة مرتكزة على تجاور وجوه نموذج 4 85
- الشكل (075) : عقدة مرتكزة على تجاور وجوه نموذج 5 86
- الشكل (076) : عقدة مرتكزة على تجاور وجوه نموذج 6 86
- الشكل (077) : عقدة مرتكزة على تجاور وجوه مضاعفة نموذج 7 86
- الشكل (078) : مراحل دراسة مبنى متحف بلباو انطلاقا من نموذج فيزيائي 95
- الشكل (079) : سطح غير منتظم ممثل بالألوان تعبر عن قيم انحناء غاوس في كل نقطة من نقاطه 97
- الشكل (080) : تمثيل انحناء غاوس على مستوي 98
- الشكل (081) : تحليل انحناء غاوس لمشروع قاعة الحفلات الموسيقية ديزني 98
- الشكل (082) : تحليل انحناء غاوس لمشروع متحف بلباو 98
- الشكل (083) : تحليل استمرارية السطوح من خلال خطوط الانعكاس الجزء الأيمن يوضح انقطاع في الاستمرارية و الجزء الأيسر يوضح الاستمرار 99
- الشكل (084) : حالات خطوط الانعكاس اليمين تظهر نقطة تغير الانعطاف على السطح اليسار تغيير الانعطاف و المماس 99
- الشكل (085) : الدراسة الإنشائية ل Stata center 100
- الشكل (086) : دراسة النواظم و المماسات للسطح 101
- الشكل (087) : طرق مختلفة لتوزيع الإكساء على السطح 101
- الشكل (088) : دراسة نقشة الإكساء لمبنى متحف تاكوما 102
- الشكل (089) : تقسيم السطح بشبكة منحنيات متقاطعة 103
- الشكل (090) : تقسيم سطح سرج حصان بعدة طرق 103
- الشكل (091) : تقسيم سطح سرج حصان بطرق و شبكات لا تساعد على التصنيع 103
- الشكل (092) : سطح مبسط بشبكة رباعيات مستوية 104
- الشكل (093) : تقريب السطح المصمم إلى سطوح من فئات تقليدية و الوصل بينها للوصول إلى سطح يقارب السطح الأصلي 105
- الشكل (094) : دراسة سطح مبنى Neumünster من خلال تطبيق عملية تحسين عدة مرات للوصول إلى الشكل المطلوب 106
- الشكل (095) : تبسيط سطح غير منتظم بطريقتين و الألوان تعبر عن نماذج الألواح المتماثلة 106

- الشكل (096): مجسم على شكل أرنب يتألف من من 1742 مثلث منمنجة إلى 42 مجموعة من الوجوه المتماثلة 107
- الشكل (097): نمذجة الألواح اليسار : السطح المبسط لوجوه الوسط استبدال الألواح بألواح مستوية اليمين نمذجة الألواح باستخدام عدد K من مجموعات الألواح..... 108
- الشكل (098): نمذجة مجموعة من الأشكال باستخدام أعداد مختلفة من الألواح المنمنجة وهي من الأعلى للأسفل برج مؤلف من (528 لوح) ، نفق (1152 لوح) ، مكعب مفرغ (480 لوح) ، سرج حصان (100 لوح) ، و إلى اليمين واجهة منحنية (80 لوح)..... 108
- الشكل (099): العلاقة بين درجات الحرية و آلات التصنيع المختلفة الألوان تحدد محاور الحركة و الدوران 109
- الشكل (100): القص بواسطة تحريك سلك معدني مستقيم في الفراغ لانتاج سطوح مسطرة 114
- الشكل (101): اليمين طاحونة محدبة ، الوسط طاحونة مخروطية ، اليسار طاحونة اسطوانية 115
- الشكل (102): التصنيع بالتلبد 116
- الشكل (103): تأثير التصميم على الفراغ الداخلي في مبنى مسار 127
- الشكل (104): اليسار انشاء الأرضيات ، الوسط انشاء الواجهات ، اليمين السطوح المشكلة للواجهة في مبنى مسار..... 128
- الشكل (105): طريقة اشتقاق و تصميم السطوح الخارجية لمبنى مسار 128
- الشكل (106): تصميم نقشات الواجهات و توزيع مواد الإكساء لمبنى مسار 129
- الشكل (107): المخطط التنفيذي لاحدى واجهات مبنى مسار 130
- الشكل (108): شكل يوضح طريقة عمل الفرن العالي 136
- الشكل (109): طريقة حني الصفائح المعدنية 139
- الشكل (110): تصنيع الزجاج العائم 143
- الشكل (111): عناصر خشبية منحنية مشكلة من طبقات رقيقة مقواة بمادة لاصقة 146

فهرس الصور

- 20..... الصورة (01): أوبرا سيدني - استراليا
- 47..... الصورة (02) تغطية ستاد ميونخ الأولمبي
- 52..... الصورة (03): القبة الجيوديزية في ديزني
- 52..... الصورة (04): أوبرا غوانغزو هو Opera Guangzhou house
- 53..... الصورة (05): الإكساء الخارجي Opera Guangzhou house
- 53..... الصورة (06): العناصر المعدنية Opera Guangzhou house
- 53..... الصورة (07): مبنى Zlote tarasy (Golden terraces) في مدينة وارسو
- 53..... الصورة (08): العناصر المعدنية الحاملة في Zlote tarasy
- 53..... الصورة (09): مبنى المركز التجاري My Zeil
- 54..... الصورة (010): مبنى متحف سيلفادور دالي Salvador Daly museum
- 54..... الصورة (011): العناصر المعدنية الحاملة في متحف سيلفادور دالي
- 54..... الصورة (012): القبة الزجاجية في 1998 Glasstec
- 56..... الصورة (013): محطة مترو Neumunster Abbey
- 57..... الصورة (014): مبنى Sage
- 57..... الصورة (015): مبنى فندق ياس مارينا
- 57..... الصورة (016): الفراغ الداخلي في فندق ياس
- 57..... الصورة (017): العناصر المعدنية الحاملة في فندق ياس
- 58..... الصورة (018): مبنى The Opus
- 58..... الصورة (019): مبنى The House of hippopotamus
- 58..... الصورة (020): العناصر المعدنية الحاملة في مبنى The House of hippopotamus
- 59..... الصورة (021): قباب مشروع Eden
- 59..... الصورة (022): الوحدات عشارية الوجه التي يتألف منها مبنى قباب عدن
- 60..... الصورة (023): جناح KREOD في لندن
- 60..... الصورة (024): العناصر الخشبية الحاملة في جناح KREOD في لندن
- 60..... الصورة (025): الواجهات الخارجية لمبنى المركز التجاري في برمنغهام
- 62..... الصورة (026): محطة القطارات السريعة أفينيون
- 62..... الصورة (027): محطة القطارات السريعة ستراسبورغ
- 64..... الصورة (028): مبنى محطة The southern cross station
- 65..... الصورة (029): محطة القطارات في سانت لازار
- 65..... الصورة (030): محطة قطارات Hungerburgbahn, innsbruk
- 66..... الصورة (031): قاعة الاجتماعات في مبنى DZ Bank
- 67..... الصورة (032): اليمين صورة مبنى المركز الثقافي Heydar Aliyev Cultural center اليسار السطح الخارجي لمركز Heydar الثقافي
- 75..... الصورة (033): هيكل شبكي من طبقة واحدة
- 87..... الصورة (034): عقدة كروية تربط بين عناصر شبكية فراغية
- 87..... الصورة (035): عقدة نصف كروية من نموذج آخر

| | |
|----------|--|
| 110..... | الصورة (036) : القص ثنائي البعد بواسطة الأنصال |
| 111..... | الصورة (037) : القص ثنائي البعد بواسطة الليزر |
| 111..... | الصورة (038) : القص ثنائي البعد بواسطة البلازما |
| 112..... | الصورة (039) : القص ثنائي البعد بواسطة الماء |
| 113..... | الصورة (040) : حني مقاطع الألمنيوم المستعملة في جناح BMW جنيف سويسرا |
| 113..... | الصورة (041) : صورة لألواح بلاستيكية مشكلة بواسطة الحرارة |
| 115..... | الصورة (042) : الطواحين ذات الأذرع لتصنيع قوالب لصب البيتون |
| 116..... | الصورة (043) : تصنيع بطريقة ترسيب المصهور |
| 118..... | الصورة (044) : استخدام الأدوات الليزرية و ال GPS في تحديد مواقع أجزاء المبنى |
| 118..... | الصورة (045) : تركيب مبنى Experience music project |
| 124..... | الصورة (046) : تغطية المنصة الرئيسية في ملعب العباسين بدمشق |
| 124..... | الصورة (047) : الوصلات في تغطية المنصة الرئيسية في ملعب العباسين بدمشق |
| 124..... | الصورة (048) : سقف صالات الاتحاد الرياضي |
| 124..... | الصورة (049) : مبنى اتحاد كرة القدم |
| 125..... | الصورة (050) : الهيكل المعدني الحامل لقبة الهدف |
| 125..... | الصورة (051) : طريقة ربط العناصر المعدنية الحاملة في قبة الهدف |
| 125..... | الصورة (052) : الألواح البلاستيكية المستعملة في اكساء واجهات قبة الهدف |
| 126..... | الصورة (053) : مسابقة مجلس الشعب في دمشق للمعمارية زها حديد |
| 126..... | الصورة (054) : الفراغ الداخلي لقبة البرلمان |
| 129..... | الصورة (055) : تنفيذ مبنى مسار |
| 130..... | الصورة (056) : طريقة تركيب حجر واجهات مبنى مسار |
| 138..... | الصورة (057) : مقاطع معدنية |
| 138..... | الصورة (058) : صفائح معدنية |
| 139..... | الصورة (059) : صفائح معدنية منحنية باتجاه واحد |
| 140..... | الصورة (060) : صفائح معدنية منحنية باتجاهين |
| 140..... | الصورة (061) : صفائح معدنية ذات انحناءات غير منتظمة |
| 141..... | الصورة (062) : ألواح بيتون مسبق الصنع ذات انحناءات غير منتظمة |
| 144..... | الصورة (063) : ألواح زجاج منحنية باتجاه واحد |
| 144..... | الصورة (064) : ألواح زجاج مشكلة بانحناءات غير منتظمة |
| 145..... | الصورة (065) : سطح غير منتظم مشكل بعناصر خشبية |
| 146..... | الصورة (066) : ألواح خشبية منحنية مشكلة من طبقات رقيقة مقواة بمادة لاصقة |

فهرس الجداول

| | |
|---------|---|
| 34..... | الجدول (01) : محددات تصميم المنحنيات غير المنتظمة |
| 88..... | الجدول (02) : مقارنة بين أنواع العقد و ملائمتها للاستخدام |
| 89..... | الجدول (03) : ملخص لتحليل النماذج العالمية المدروسة |

ملخص البحث:

لقد شهدنا في السنوات الأخيرة انتشاراً واسعاً لمبان مصممة بأشكال عضوية تتألف من سطوح ذات أشكال وانحناءات غير منتظمة ، واستحوذ هذا الاتجاه المعماري الحديث على اهتمام العديد من المعماريين في أنحاء العالم ، وتركزت دراساتهم على كيفية ايجاد طرق مبتكرة لتنفيذ هذه التصميمات المعقدة بشكل أسهل وبكلف مادية مقبولة إلى حد ما . فأجريت دراسات عديدة شارك بها معماريون و انشائيون و مبرمجو حاسب توصلت إلى نتائج جيدة جداً انعكست على تقدم كافة مراحل التنفيذ ، و ساهمت في تطوير برامج حاسوبية خاصة سهلت كافة مراحل تصميم وتنفيذ هذه المنشآت ، وأدت إلى انتشار هذه المباني بشكل أكبر في أنحاء مختلفة من العالم .

بقيت تجارب سورية في هذا المجال محدودة جداً ، على الرغم من توفر بعض الإمكانيات والمواد التي يمكن الاستفادة منها في تصميم وتنفيذ مباني مكونة من سطوح ذات أشكال غير منتظمة . واقتصرت في معظمها على تصاميم بسيطة ، أو مشاريع دراسية نظرية لم تدخل حيز التنفيذ .

يتألف البحث في مجمله من أربعة فصول رئيسية إلى جانب المقدمة وهي :

- **الفصل الأول :** يهتم بدراسة وتعريف وتحديد بعض المصطلحات والمفاهيم الأساسية التي تخص البحث و تُعد أساساً لما سيأتي في فصول لاحقة ، وتساعد على فهم مكونات وماهية هذه السطوح ذات الأشكال و الانحناءات غير المنتظمة ، على سبيل المثال لا الحصر : المنحنيات غير المنتظمة ، السطوح غير المنتظمة وما يتعلق بها من معايير تخص الانحناء والاستمرارية.

- **الفصل الثاني:** يهتم بدراسة تطبيقات السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة في الهندسة المعمارية ، ويتناول تأثيرات عناصر العمارة الرئيسية (الجمال ، الاقتصاد ، الانشاء و الوظيفة) على تنفيذ هذه المنشآت ، مع استعراض و تحليل لبعض المباني و التجارب المنفذة عالمياً بهدف الاستفادة من هذه الدراسات في التصميم التي ستدرس لاحقاً.

- **الفصل الثالث:** يهتم بدراسة ، واستعراض التقنيات المتبعة في تنفيذ السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة عالمياً ، و التعرف على أهم البرامج الرقمية الحديثة المستعملة خلال مراحل التصميم والتحليل والدراسة والتنفيذ ، موضحاً كيف ساهمت هذه التقنيات في جعل هذه المباني حقيقة واقعة ومنفذة بتكاليف مقبولة.

- **الفصل الرابع :** يتناول دراسة تجربة سورية في هذه الاتجاه المعماري ، واستعراض لما يتوفر من إمكانيات محلية يمكن أن تُستخدم في دراسة وتنفيذ مبان مؤلفة من سطوح ذات أشكال وانحناءات غير منتظمة من برمجيات و مواد محلية أو مستوردة وتقنيات تصنيع , إضافة إلى استعراض الاعتبارات الوظيفية والمناخية واعتبارات الوسط المحيط والتي يجب أخذها بعين الاعتبار للوصول إلى تصميم منطقي قابل للتنفيذ في البيئة المحلية بالحدود المقبولة من ناحية التكاليف .

يقترح البحث فيما بعد تطوير و تحسين استخدام إمكانيات التصنيع و المواد المتوفرة في سورية والبدء بتجارب فعلية على مباني و منشآت ذات حجوم صغيرة ، لاستخلاص الإيجابيات من التجارب وتطويرها ، والتعرف على السلبيات والمعوقات وتجنبها لاحقاً . الأمر الذي يساعد على مواكبة الاتجاهات المعمارية العالمية الحديثة .

المقدمة – الجزء التمهيدي –

1- مدخل البحث :

حظيت الأبنية التي تتألف من سطوح ذات أشكال غير المنتظمة (The Free-Form Shapes) خلال الفترة الماضية باهتمام كبير في أوساط المعماريين و المصممين العالميين ، مما أدى لانتشارها عالمياً بشكل واسع و تحولها من مجرد خيال معماري إلى منشآت قابلة للتنفيذ بتكاليف مقبولة . وكان ذلك نتيجة لظهور أبحاث مختلفة و تطوير برمجيات عديدة انطلقت من تكنولوجيا و تقنيات صناعة الطائرات و السيارات بهدف تطبيقها في مجالات العمارة و البناء . وشملت هذه البرمجيات والدراسات كافة مراحل العمل المعماري ، ابتداء من التصميم مروراً بالدراسة والتصنيع وحتى التجميع ، بهدف تسهيل عملية التنفيذ وإعطائها تنوعاً أكبر من النواحي الجمالية .

ويعد فهم المعماري السوري لكل هذه التقنيات و الدراسات السابقة وإلمامه بتطبيقات هذه السطوح في الهندسة المعمارية . أمراً هاماً يسهل عليه عملية التصميم ، و يفسح أمامه إمكانيات واسعة في التنفيذ ، ويمهد الطريق لانتشار هذه التصاميم والمباني في سورية بشكل واسع ، لكن يبقى السؤال الأهم الذي يجب التفكير به و دراسته بعمق هو مدى توفر الإمكانيات و مواد التنفيذ محلياً ، و مدى ملائمتها لتنفيذ تصاميم مماثلة .

2- اشكالية البحث :

إن عدم معرفة المعماري الكافية بالطرق الهندسية المطلوبة لرسم و تصميم السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة وما يتعلق بها من مكونات رياضية كالسطوح والمنحنيات ، وعدم الإلمام بإمكانيات وتقنيات تنفيذ هذه السطوح والمنشآت وكل ما يتعلق بها من نواحي اقتصادية ، وجمالية ، ووظيفية ، وإنشائية ، وكيفية اختيار واستعمال المواد المتوفرة ، ومدى ملائمتها للتصميم المطروح ، ستجعل من الصعب عليه وضع تصاميم واقعية قابلة للتنفيذ و ستجعله يواجه مشكلات لم تكن بالحسبان . إذ لا بد للمعماري قبل وضعه للتصميم من التعرف على الماهية الهندسية لهذه السطوح والإلمام بطرق تنفيذها عالمياً والاستفادة من التجارب السابقة ، إضافة إلى دراسة الإمكانيات المحلية المتوفرة في سورية والتي يمكن استخدامها في تنفيذ هذه المباني .

3- أهمية البحث :

- إن الأسباب التي كانت وراء اختيار البحث هي :
- عدم انتشار دراسات مماثلة كافية باللغة العربية تتناول تحليل السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة و تقنيات تنفيذها .
 - التجارب المعمارية المحدودة لهذا الاتجاه المعماري محلياً في سورية ، و ضرورة الاستفادة من الدراسات والتجارب المنفذة عالمياً لتطوير التجربة المحلية في هذا المجال .
 - دراسة تأثير عناصر العمارة الرئيسية على تصميم وتنفيذ هذه السطوح ، وكيفية ملائمة هذه المباني لتحقيق الهدف المطلوب منها .

- التأكيد على دور المعماري في تحديد معطيات عملية التنفيذ ، وطرق التركيب ، وشكل الألواح والمواد المستعملة ، باعتبارها جزءاً هاماً من عملية التصميم ، وعدم ترك تحديد مثل هذه الأمور لمراحل متأخرة من العمل لما لها من تأثير كبير على الشكل النهائي للمشروع .
- التعرف على الامكانيات والمواد المتوفرة محلياً في سورية ، ودراسة قابلية استخدامها، ومدى ملائمتها لتنفيذ السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة، ومعرفة الايجابيات في السوق المحلية لتطويرها واستخلاص الصعوبات ومحاولة تجنبها في التجارب المستقبلية.

4- أهداف البحث :

يهدف البحث إلى دراسة السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة من وجهة نظر الهندسة الجيومترية . والتعرف على كافة المكونات الرياضية المشكلة لها ، وتحليل تطبيقاتها في الهندسة المعمارية من النواحي الوظيفية والجمالية ، إضافة إلى دراسة الجمل الإنشائية التي تُستخدم لتنفيذ هذه السطوح والتعرف على طرق التنفيذ المتبعة عالمياً لتنفيذها بشكل اقتصادي . لتكون هذه المعلومات أداة المعماري في تصميم مباني ذات سطوح غير منتظمة الشكل قابلة للتنفيذ بشكل سليم واقتصادي . و يهدف البحث كذلك إلى إسقاط هذه الدراسات والتجارب السابقة على واقع العمارة في سورية والتعرف على الامكانيات والمواد المتوفرة محلياً ، والتي يمكن استخدامها في تنفيذ هذه التصاميم . الأمر الذي يسهل على المعماريين السوريين اقتراح تصاميم مماثلة لمشاريع مستقبلية ، و يقودهم للابتعاد عن المعوقات التي قد تحول دون تنفيذ هذه التصاميم بالشكل المطلوب الملائم لواقع العمارة المحلية .

5- منهجية البحث :

لتحقيق هدف البحث فان منهجيته ستعتمد على :

- الدراسة نظرية :

و التي تشمل دراسة السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة ومكوناتها من وجهة نظر الهندسة الجيومترية و التعرف على المعايير و الخواص المميزة لها، وعملية تبسيطها ، وتصنيفاتها ، وتوضيح الجمل الإنشائية المناسبة لتنفيذها وطرق تنفيذ الوصلات ، والمواد المستعملة (خواصها و مواصفاتها) . إضافة الى التعرف على دور البرمجيات المختلفة المتعلقة بتصميم و تنفيذ السطوح غير المنتظمة و استعراض مجموعو من التجارب العالمية في هذا المجال .

- دراسة تحليلية :

يقوم البحث وبالإستفادة من المعلومات و التجارب العالمية التي تم استعراضها في الدراسة النظرية ، بتحليل موسع لإمكانيات التنفيذ والمواد ، والبرمجيات، واليد العاملة المتوفرة محلياً في سورية ، لمعرفة مدى ملائمة هذه المواد والتقنيات لتنفيذ مثل هذه المشاريع في المستقبل ، ووضع النتائج و التوصيات التي استنتجها الباحث من خلال الدراسة التحليلية .

الفصل الأول:

المفاهيم الهندسية المتبعة في تصميم و تنفيذ

السطوح غير المنتظمة

الفصل الأول:

المفاهيم الهندسية المتبعة في تصميم و تنفيذ السطوح غير المنتظمة

تتألف السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة ، والتي تتميز بانحناءاتها المتبدلة على طول السطح من كيانات هندسية تختلف في تعريفها عن الكيانات الرياضية المؤلفة للسطوح التقليدية العادية من خطوط و نقاط و منحنيات ، ولتصميم مباني مؤلفة من سطوح ذات أشكال غير منتظمة لا بد من التعرف على عدد من المفاهيم الهندسية ، و الكيانات المرتبطة بهذه السطوح لتكون أداة المعماري من أجل تصميم مدروس و قابل للتنفيذ.

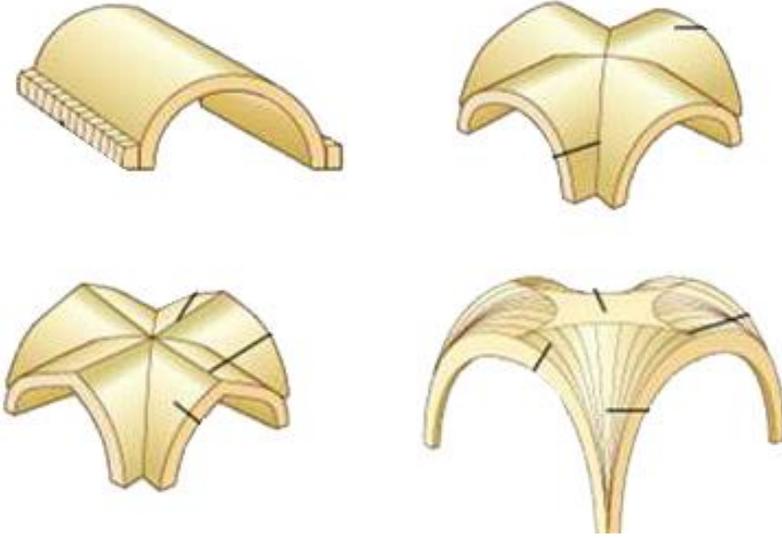
1-1- لمحة تاريخية عن ظهور السطوح المنحنية في العمارة و تطورها :

تأثر التصميم المعماري على مر العصور بمتغيرات عديدة ساهمت في تنوع و تبدل التصاميم و الأشكال المعمارية للمباني، و تعلقت هذه المتغيرات بمناخ المناطق الجغرافية و تنوعه، و المواد الطبيعية المتوفرة في هذه المناطق ، إضافة إلى طبيعة الانسان القاطن فيها ، و على الرغم من كل هذه الاختلافات و المدراس المعمارية المتنوعة ، شهدنا ظهور مباني ذات أسقف منحنية في كل الحضارات المنتشرة في مناطق مختلفة من العالم ، وإن كانت بمواد و أحجام و أشكال مختلفة ، و يعود هذا الانتشار للخواص الوظيفية ، الجمالية و الإنشائية بشكل أساسي حيث وفرتها هذه السطوح المنحنية امكانية ايجاد تغطيات و واجهات بمجازات كبيرة . و في ما يلي استعراض لأهم مراحل ظهور السطوح المنحنية في العمارة و العوامل التي ساعدت على تطورها و انتشارها :

- السطوح المنحنية و المواد التقليدية

ظهرت الأسقف المنحنية في التصاميم المعمارية للمباني منذ زمن بعيد ، نظراً لما تتميز به من صفات إنشائية مميزة و إمكانية استقرار عالية تعود لشكلها و تماسك هيكلها لتوفيرها مجازات أوسع من السطوح المستوية . و قد انتشرت بأبعاد و أشكال مختلفة بحسب الظروف و المناخ و المواد المتوفرة في كل منطقة من المناطق التي ظهرت فيها ، و تركزت بشكل رئيسي على شكل سطوح منحنية باتجاه واحد كالقنوات كون الانحناء فيها يكون فقط بأحد الاتجاهين الرئيسيين و الانحاء بالاتجاه الآخر معدوم (خط مستقيم) ، و سطوح المنحنية باتجاهين كالبواب حيث يكون الانحناء في كلا الاتجاهين غير معدوما كما سنرى لاحقاً ، إضافة إلى بعض المنحوتات التزيينية . و قد اختلفت المواد المستعملة في تنفيذ هذه السطوح باختلاف المناطق الطبيعية التي شيدت فيها ، فنجد بعضها من مواد صلبة كالحجر ، حيث استفادت التصاميم من خواص الحجر و صلابته ، و أخرى مواد لدنة كالطين و الطوب، و غيرها من الخشب الذي يتطلب استعمال مواد اضافية لتساعد على الربط و الاستقرار .

أما حجوم و أبعاد هذه السطوح فقد تأثر بنوعية المواد المستعملة ، وكذلك بالتوظيف المعماري لهذه المباني ، حيث نجد القباب والقنوات كبيرة الحجم في الجوامع و الكنائس ، وتتطلب الوظائف أحجاماً و فراغات تفاعلية كبيرة ، و نجد قباباً و قنوات صغيرة الحجم في الحمامات و البيوت السكنية مثلا بمقياس يحقق المتطلبات الوظيفية .



الشكل (01): أشكال مختلفة لسطوح منحنية (المصدر 67)

ظهرت و بعد فترة من الزمن ومع تطور الفكر المعماري واتساع خيال المصمم ومداركه الإنشائية، سطوحاً منحنية أكثر تعقيداً من السطوح التي كانت منتشرة سابقاً و بنفس المواد التقليدية ، ومن أهمها القباب المموجة ، والقنوات المتصالبة ، وأصبح لاستخدام السطوح المنحنية أهدافاً جمالية إلى جانب الأهداف الوظيفية والإنشائية الأساسية المطلوبة ، وذلك لما تؤمنه من تنوع و جمال في الفراغ الداخلي و الخارجي. الشكل (01)

يُعتبر المعماري الإسباني " أنتونيو غاودي " (1852 – 1926) من رواد المصممين في هذا الاتجاه ، فقد بلغ فهماً عميقاً للاستقرار الإنشائي والتعريف الهندسي للسطوح غير المنتظمة ، الأمر الذي عكسه في تصاميمه ومنحوتاته ، و بدا ذلك واضحاً في الدراسات المتطورة والنماذج الفيزيائية التي نفذها ، فمباني السيغرادا فاميليا (Segrada Familia) وكازميلا (Cazamila) كانت ولا تزال حتى الآن تُعد من النماذج الرائدة في ذلك العصر ، حيث تميزت بانحناءات انسيابية غير منتظمة و اتسمت بالاستقرار و الجمال¹ .

من الدراسات الهامة التي أُجريت في تلك الفترة الدراسات التي قام به المعماري "هيرمان فينسترلين" (Herman Finsterlin) ، والذي قام بإنشاء المئات من الرسومات والنماذج الفيزيائية ثلاثية الأبعاد باستخدام البلاستيك بين عامي 1912 – 1924 ، ولسوء الحظ لم يتمكن من تحقيق أي مشروع كبير في نفس الحقبة ، بسبب الإمكانيات المحدودة في ذلك الوقت، حيث شكلت أعماله تجارب بسيطة فتحت المجال لأفاق جديدة ، ومصدر إلهام لتنفيذ مبان معقدة فيما بعد ، ويُعتبر البرج الصغير القريب إلى المنحوتة المعروف ببرج انستين Einstein tower (1920 – 1921) الذي بُني في بوتسدام من قبل مينديلسون (Mendelson) من الانجازات الهامة في هذه المرحلة¹ .

أخذت الدراسات في مجال السطوح المنحنية اتجاهاً جديداً في مرحلة لاحقة من نهايات القرن التاسع عشر و بدايات القرن العشرين ، فقد أصبحت أكثر محاكاة لخيال المعماري، وذات تنوع أكبر في

¹ Potmann H. , Architectural geometry (p-362)

الحجوم والأشكال ، بفضل تطور الصناعة وظهور مواد بناء حديثة كالالمنيوم والفولاذ ، والتي لم تكن موجودة سابقاً.

- السطوح المنحنية و ظهور البيتون المسلح

يُعتبر ظهور البيتون المسلح وانتشاره الواسع في العمل الهندسي نقطة تحول مفصلية في الهندسة المعمارية والإنشائية على حد سواء ، فقد غير و بشكل جذري أساليب التفكير والتصميم المعماري ، ووسع خيال المعماري خارج الحدود السابقة التي فرضتها المواد التقليدية ، لأن البيتون المسلح سهل وبشكل كبير تنفيذ السطوح المنحنية التي كانت منتشرة سابقاً و منفذة بمواد تقليدية ، وأتاحها بحجوم و مجازات أوسع لم تكن ممكنة من قبل بتلك المواد ، ونظراً للخصائص الإنشائية المتميزة و سهولة التشكيل التي وفرها البيتون ، استعمل أيضاً لتنفيذ أشكال و منحنيات أكثر تعقيداً كالقباب المموجة ، والبلاطات ذات الانحناءات المختلفة (المثنية المنحنية) و أشكال أخرى عديدة .

و مع فهم خواص هذه المادة بشكل أوسع ، توسع استخدام البيتون المسلح ليشمل النماذج النحنية المعقدة ذات المجازات الواسعة كالمجسم المكافئ الناقصي و المجسم المكافئ الزائدي و المجسم الزائدي الدوراني و غيرها من الأشكال ، وكانت ذروة استخدام البيتون المسلح في الستينات من القرن العشرين ، ومن أهم الأمثلة على ذلك مبنى تيرمينال تي دابليو ايه TWA في مطار جي اف كيه JFK Airport للمعماري " أيرو سارينين " (Eero Saarinen) ، و يُعتبر سقف مبنى أوبرا سيدني (1957 - 1973) التي أصبحت رمز استراليا و قد صممها المعماري الدنماركي جورن أوتزون (Jorn Utzen) من أهم المشاريع المنفذة في تلك الحقبة



الصورة (01): أوبرا سيدني- استراليا (المصدر 1-22)

يصل طول المبنى الى حوالي 185 م و عرضه الى 120 م و ارتفاع اعلى نقطة يصل ل 67 م عن سطح البحر ، يتألف المبنى من حوالي 1000 غرفة رئيسية تتضمن خمس صالات رئيسية و يتشكل المبنى من سطوح متقاطعة ذات الانحناءات المختلفة ، حيث استعمل فيها 2914 مقطع بيتوني مسبق الصنع¹ . الصورة (01)

- السطوح المنحنية و المواد الحديثة

بدا واضحاً مع تطور التصاميم المعمارية وازدياد تعقيدها أن مقيدات البيتون المسلح المتمثلة في الوزن و السماكات الكبيرين ، والكلفة العالية وصعوبة التنفيذ ، والحاجة لليد العاملة الخبيرة بأعداد كبيرة ،

¹ Anter V./Hansson E./ McNaught-Reynolds O./ Tessard A. , The Sydney Opera House , Stakeholder Management and Project Success (p-3)

إضافة إلى عدم الشفافية والثقل في الشكل ، قللت من اهتمام المعماري باستخدام البيتون المسلح في المباني ذات الانحناءات غير المنتظمة كبيرة الحجم .

ترافق ذلك مع تطور في صناعة المعدن والالمنيوم ، والتقدم الكبير في صناعة الزجاج ، مما فسح المجال لدراسات وأبحاث إنشائية هامة ، اقترنت بظهور اتجاه معماري إنشائي يدعو إلى التفكير باستخدام المعدن كعنصر إنشائي ، وحامل أساسي على شكل سطوح شبكية بهدف التوفير في الأوزان والتكاليف والشفافية المطلوبة ، وهذه الطريقة في التنفيذ سمحت بانتشار مبان بمجازات واسعة وكفاءة إنشائية عالية .

- السطوح المنحنية و البرمجيات الحديثة

بالرغم من تطور المواد الحديثة والإمكانيات الواسعة التي وفرتها هذه المواد ، بقيت السطوح ذات الانحناءات البالغة التعقيد أمراً صعباً يتعذر تحقيقه إن لم يكن مستحيلاً ، وذلك لصعوبة تمثيلها بكيانات رياضية هندسية قابلة للتنفيذ ، ولتعقيد دراستها وتفصيلها إنشائياً ، ولذلك بقيت المباني ذات السطوح الأكثر تعقيداً ، والتي تُعرف أيضاً في بعض الأحيان بالمباني عضوية صعبة التطبيق على الواقع بمقياس كبير حتى فترة قريبة جداً من الوقت ، حيث كان من الواضح أن السطوح ذات الانحناءات المعقدة لا يمكن ان تعالج ، و تُحسب و تُمثل هنسياً بالطرق العادية التي كانت منتشرة سابقاً للمباني البسيطة ، فهي تحتاج لتقنيات مختلفة من الوصف الجيومتري الهندسي يختلف عن الوصف الجيومتري الذي تُمثل به المنحنيات التقليدية ، و تتطلب برامج حساب هندسية خاصة للوصول للكفاءة والمتانة الإنشائية المطلوبة ، كما تحتاج إلى برمجيات لتبسيطها لأجزاء قابلة للتنفيذ .

لقد حاول بعض المعماريين و المصممين تقادي هذه المشكلة بالاستفادة من البرمجيات والتقنيات المستعملة لتصميم وتصنيع هياكل الطائرات والسيارات في تصميم وتنفيذ المباني العضوية ، وذلك لكون هياكل المركبات ذات الانحناءات المعقدة تعتمد على هيئة تشكيل السطح في استقرارها الإنشائي وهي خاصية مطلوبة في السطوح عضوية الشكل .

أجرى عدد من العلماء دراسات عديدة متعلقة بهذا المجال خلال الأربعينات والخمسينات من القرن العشرين ، حيث قامت هذه الدراسات بتطوير صيغ للوصف الرياضي لسطوح المركبات الانسيابية ، التي تتميز بانحناءات غير منتظمة من خلال خوارزميات ونظريات للوصف الهندسي ، كما تم تطوير برامج تسهل السيطرة الرقمية على آلات التنفيذ ، ومن أشهر المساهمين في هذا المجال :

* فرغسون و لينين R.lining and J.Ferguson العاملين في شركة بوينغ للطائرات Boeing.

* كونس S.Couns العامل في MTT.

* سابين M.Sabin في الشركة البريطانية لصناعة الطائرات.

*ديكاستيو P.de casteljau في سيتروين للسيارات Citroen .

*بيير بيزيير P.Bezier في رينو للسيارات Reno.

حيث شكلت ابحاثهم أساساً هاماً في تطوير البرامج الرقمية لتصنيع الطائرات والسيارات ¹.

إن تلك المحاولة التي قام بها بعض المعماريين للاستفادة من هذه البرامج في مجال التصميم الهندسي و المعماري لم تكن مجدية بالشكل المطلوب نظراً للاختلاف الهائل في المقاييس ، والحجوم والوظائف ، والمواد المستعملة بين المركبات والمباني المعمارية ، إضافة إلى اختلاف متطلبات

¹ Potmann H. , Architectural geometry (p-364)

الاستقرار الإنشائي لهذه الهياكل ، حيث كان من السهل تشكيل المعدن بأي هيئة منطقية ينتج عنها مجسم الطائرة ، أو السيارة بالكفاءة الجمالية المطلوبة ، ولكن عندما يتعلق الأمر بالمباني سيكون الأمر أكثر تعقيداً وصعوبة نظراً للحجوم الكبيرة والمجازات الواسعة التي تتطلبها ، إضافة إلى صعوبة الوصل وتوزيع الحمولات ، لذلك بدأ التفكير بإيجاد حلول وبرمجيات متفردة خاصة بالمباني المعمارية تساعد على التنفيذ¹ .

يُعتبر المعماري " فرانك غيري " (Frank O. Gehry) من أوائل المعماريين الذين استعملوا تقنيات التصميم الهندسي التي تعتمد على برامج رقمية و حاسوبية و التي تعرف باسم (CAGD) Computer –aided geometric design لبناء السطوح غير منتظمة الانحناء ، فهو من رواد هذا الاتجاه المعماري ، فقد تميزت تصميماته باستعمال السطوح المؤلفة من أجزاء قابلة للفرد على مستوي في أغلب تصميماته التي نفذها خلال العشرين سنة الماضية ، واعتبرت هذه المشاريع رائدة من حيث الأشكال المتميزة والمواد المستعملة التي لم تكن تُستعمل في وقت سابق ، وخاصة باستخدامه المعادن كالتيتانيوم الأمر الذي وفر امكانيات هائلة في الإكساء ، وكذلك من حيث البرمجيات المستخدمة في التصميم والتنفيذ ، والتي صُمم بعضها خصيصاً لهذه المشاريع . وقد أسس " فرانك غيري " شركة تدعى " Gehry technology " قامت بتطوير بعض البرمجيات الخاصة بالمشاريع التي صممها ونفذها وطرح برنامج ديجيتال بروجيكت " Digital project " المستعمل بشكل واسع عالمياً² .

و انطلاقاً من مشاريع " فرانك غيري " وأبحاثه وتجاربه بدأت مجموعات متخصصة من المهندسين و علماء الرياضيات بإجراء دراسات وأبحاث متطورة في هذا المجال تناولت التمثيل الرياضي للمباني (Mathematical Representation) ، ودراسة استقراره وحمولاته الإنشائية ، انتقالاً إلى إيجاد خوارزميات وقواعد رياضية مساعدة على التنفيذ تركز على تجزئ المبنى إلى أجزاء أصغر لتحويلها لقطاعات متجاوزة تحقق المتطلبات الإنشائية ومتطلبات الاستقرار وصولاً إلى التحكم الآلي بالتصنيع و التجميع ، وبما أن تقنيات الـ CAD التقليدية لا تعطي هذه الإمكانيات ، وفرت هذه الأبحاث و البرمجيات التي جمعت بين الرياضيات والهندسة التطبيقية ، والتي سُميت بـ (Architectural Geometry) ، مجال بحث لم يكن متاحاً من قبل ، وكان هدفها الأساسي تطوير أدوات جديدة لإنشاء نماذج رقمية للتصاميم المعمارية المصممة وتمثيلها بشكل صحيح ، وتأمين كافة المتطلبات الإنشائية لاستقرار هذه المنشآت بما يتناسب مع الخصائص التي توفرها المواد المستعملة في هذه المباني ومن ثم تحويلها إلى أجزاء و كيانات قابلة للتنفيذ ، والتحكم بتنفيذها بشكل رقمي¹ .

اشتهر في هذا الاتجاه المعماري بما يعرف عالمياً بالعمارة الرقمية (Digital Architecture) وقد مكن من إنجاز عمل هندسي متكامل بشكل رقمي ابتداء من تصميم أشكال هندسية بالغة التعقيد (Highly complex geometric shapes) ، مروراً بالحصول على نماذج رقمية لهذه التصاميم ، ومن ثم تطويرها إلى هيئات قابلة للتنفيذ ، وتصنيعها وتركيبها للوصول إلى النتيجة المطلوبة .

¹ Pottmann H., Architectural Geometry as Design Knowledge (p-1)
² www.gehrytechnologies.com

- السطوح المنحنية و مواد العصر الحديث

إن تطور التقنيات الرقمية لم يكن وحده كافياً للوصول إلى النتائج المبهرة التي تم الوصول إليها في العقد الأخير من الزمن ، فقد ساهم ظهور مواد متطورة في تسهيل عملية تنفيذ سطوح بالغة التعقيد بشكل كبير وأعطى نتائج مذهلة ، فقد أضافت إمكانيات فنية وإنشائية لم تكن متوفرة في المواد المنتشرة سابقاً ، من حيث الصلابة وخفة الوزن والشفافية و سهولة التشكيل والجمال ، و لم يقتصر استخدام المواد الحديثة على الأجزاء الإنشائية الحاملة فقط ، بل استعملت كذلك في مواد الإكساء ، والتغليف ، وفي مواد القوالب التي تساهم في تصنيع أجزاء هذه المباني كما سنرى في فصول لاحقة.

فعلى سبيل المثال تطور صناعة الزجاج وبالأخص صناعة الزجاج المقسى والزجاج متعدد الطبقات الشائع ، استخدم هذه المادة بكثرة وأضاف مرونة و سهولة في استخدامه في أماكن حرجة و بمساحات كبيرة دون الخوف من انهيار هذه السطوح ، وكذلك تطور صناعة المعدن الذي سمح بتشكيل عناصر و صفائح معدنية بالهيئات المطلوبة والسماعات الملائمة، ومعالجتها لتلائم متطلبات الاستعمال ، كل ذلك بالإضافة لظهور مواد حديثة جداً تمتعت بصفات إنشائية مميزة أضافت إمكانات واسعة كالاسمنت المقوى بالألياف و خلطات بيتونية أخرى و المواد الصناعية بلاستيكية كالمادة التي تعرف بالاسم التجاري EDMAX و هي مادة القابلة للتشكيل بانسيابية و فعالية عالية جداً .

1-2-2- السطوح غير المنتظمة من وجهة نظر الهندسة الجيومترية و تأثيرها على الشكل المعماري:

1-2-1- تعريف السطح

يعرف السطح بأنه الجزء الخارجي أو الطبقة الخارجية من أي شيء و الذي يحدد هيئته البصرية و يعرف السطح في الهندسة بأنه مجموعة من النقاط المتجاورة التي بتجمها تعطي كياناً ثنائي البعد أي أن السطح له طول و عرض لكن دون سماكة¹.

و السطح في العمارة هو المغلف الخارجي لأي مبنى ، والمحدد الذي يقيس و يحدد حجم الفراغ الذي يغلفه هذا المبنى ، وبالتالي فإن هيئة و شكل سطوح المبنى هي العامل الأساسي لنجاح أي تصميم معماري كونها ستكون العنصر الذي سيتم إدراكه بصرياً ، و يُعتبر موضوع فهم و تحليل البنية الهندسية الجيومترية والمكونات الرياضية للسطح موضوعاً بالغ الأهمية بالنسبة للمعماري المصمم كون الدراسة التصميمية الصحيحة التي يمكن أن تسهل و تزيد من فاعلية التنفيذ في مراحل لاحقة .

و لما كانت كل السطوح المستعملة في المباني سابقاً بما فيهما السطوح المنحنية البسيطة ذات تعريف هندسي واضح ، والعناصر ثنائية البعد المكونة لها معروفة ، لم تكن عملية تحليل السطح و تكوينه الهندسي تلقى اهتماماً كبيراً من قبل المعماري ، كون موضوع تعريف و تحليل السطوح البسيطة وسلوكها الإنشائي واضح وسهل ، لكن انتشار السطوح ذات الأشكال والانحناءات غير المنتظمة في العمارة المعاصرة غيرت كلياً النظرة لعلاقات الرياضيات والهندسة التطبيقية بالعمارة ، حيث أصبح

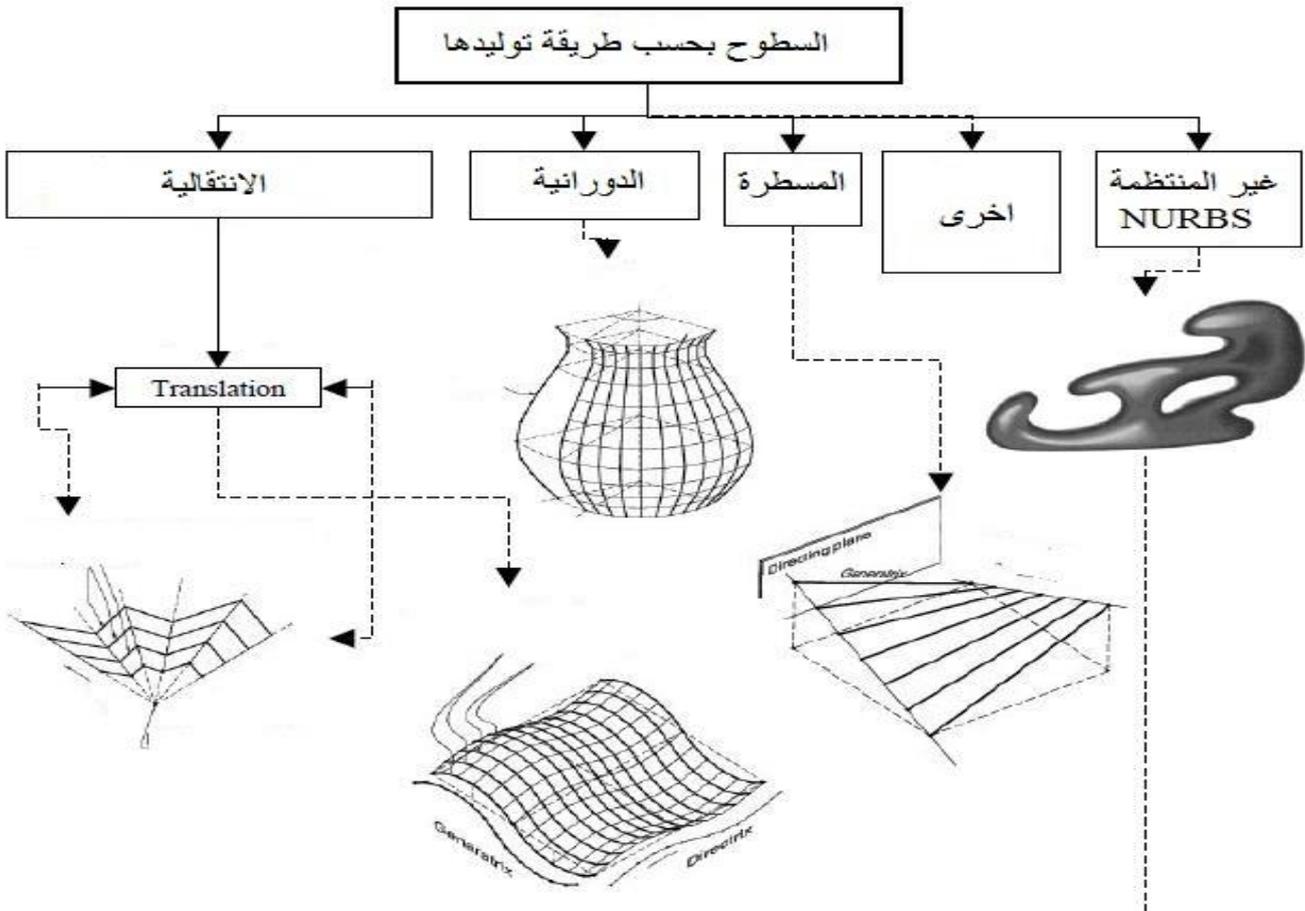
¹ <http://www.oxforddictionaries.com>

إيجاد تعريف هندسي لهذه السطوح والخطوط المؤلفة لها يشكل تحدياً كبيراً للمصمم و يتطلب دراسة معمقة ، فهي لم تعد عبارة عن معادلات رياضية تعتمد على التمثيل بتوابع رياضية ، بل أصبحت كيانات أكثر تعقيداً كما سنرى فيما يلي :

2-2-1- طرق توليد السطوح :

كما كان واضحاً في تعريف السطح هندسياً أن أي سطح يتألف من مجموعة كيانات ثنائية البعد يتم من خلالها توليد هذه السطوح، لذلك يُعتبر موضوع فهم طريقة توليد السطوح ، والتعريف الهندسي للعناصر المكونة لها من الأمور الهامة جداً التي يجب دراستها ، والتي تسهل بشكل كبير مراحل التنفيذ. تُصنف السطوح بشكل رئيسي بحسب طريقة توليدها إلى ثلاث فئات أساسية الشكل (02).

- 1- السطوح الانتقالية.
- 2- السطوح الدورانية.
- 3- السطوح المسطرة.

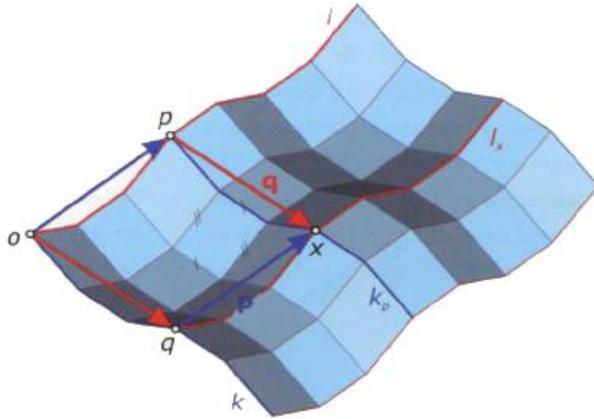


الشكل (02): طرق توليد السطوح (المصدر 4-52)

تُصنف السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة في فئة مستقلة عن الفئات السابقة ، رغم أنه من حيث المبدأ تتكون بنفس الطرق السابقة ، إلا أن خواصها وإمكانات تعديلها ، والتحكم بهيئتها ، والتي سندرستها لاحقاً جعلت من الضروري إعطاؤها تصنيفات خاصة بها.

1-2-2-1- السطوح الانتقالية :

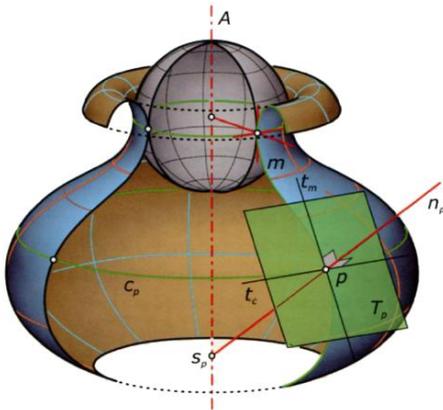
تتألف السطوح الانتقالية من منحنيين (K, ℓ) متقاطعين في نقطة في الفراغ ، وينقل أحدهما على طول المنحني الآخر يتشكل لدينا سطح انتقالي. إذاً السطح الانتقالي يتألف من مجموعة من المنحنيات المتماثلة المتكررة (Kn) وكلها متقاطعة مع المسار الذي تتحرك عليه في نقطة منه¹.



الشكل (03): سطح انتقالي يستخدم خطوط متعددة الأضلاع كمولدات (المصدر 20-343)

من الأمثلة المعروفة على السطوح الانتقالية الجسم مكافئ زائدي و الذي يتشكل بنقل قطع مكافئ على قطع مكافئ آخر (Hyperbolic Parabolic) .

يمكن توليد سطوح انتقالية منفصلة من مجموعة خطوط مستقيمة متعددة الأضلاع Polylines عوضاً عن المنحنيات ، فنحصل على سطوح انتقالية ذات أجزاء منفصلة مؤلفة من وجوه غالباً ما تكون مستوية ، وهي مناسبة جداً للإنشاء الزجاجي المعدني ، ويمكن أن تكون مضلعة باتجاه واحد ، أو بكل الاتجاهين. أهم ميزات السطوح الانتقالية أنها يمكن أن تولد سطوحاً شبكية ذات وجوه مستوية بالحفاظ على الخطوط المولدة المستقيمة (المولدات) متوازية في الفراغات ، وهذا الموضوع مهم جداً في تقنيات تنفيذ هذه السطوح كما سنرى لاحقاً الشكل (03).



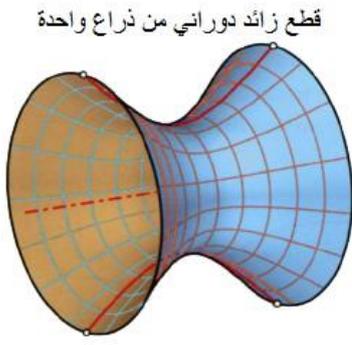
الشكل (04): سطح دوراني ناتج من دوران منحنى حول محور (المصدر 20-291)

1-2-2-2- السطوح الدورانية :

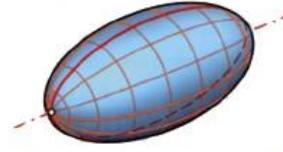
تنشأ السطوح الدورانية من دوران منحنى مستوي أو فراغي (C) حول محور (A) بزواوية محددة ، حيث أن كل نقطة في المنحنى (C) تشكل عند دورانها دائرة ، ليكون المستوي الحاوي لها عمودي على محور الدوران ، أي أن كل سطح دوراني يتألف من مجموعة دوائر تقع في مستويات متوازية (S) ويمكن أن تدعى الدوائر المتوازية² . الشكل (04)

¹ Potmann H. , Architectural geometry (p-305)

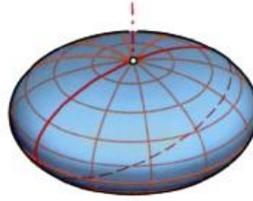
² Kenmotsu K., Surfaces of revolution with periodic mean curvature (p-688)



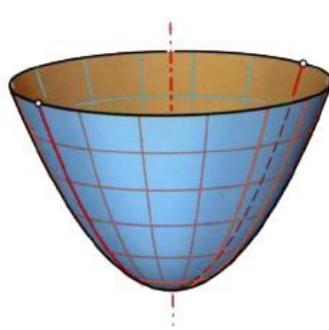
قطع ناقص دوراني حول المحور الأول



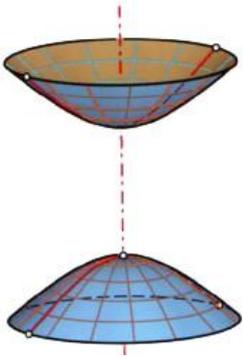
قطع ناقص دوراني حول المحور الثاني



قطع مكافئ دوراني



قطع زائد دوراني من ذراعين

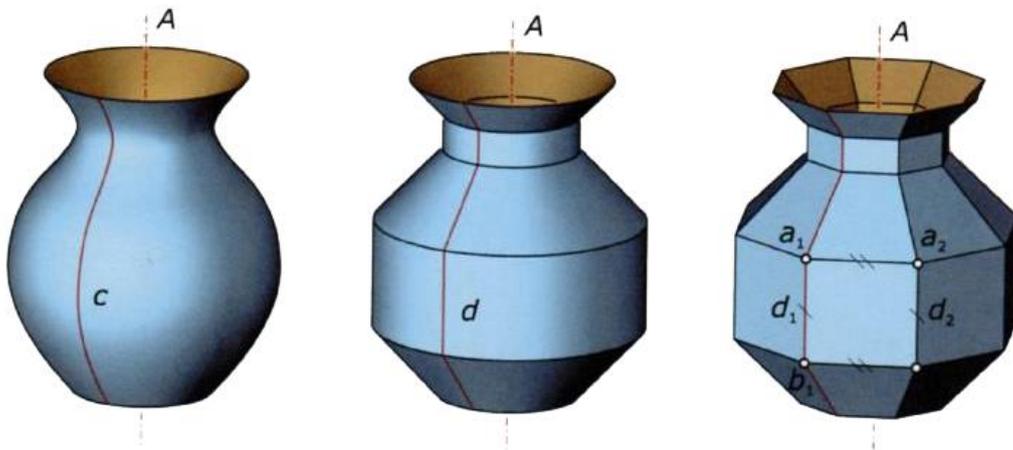


من الأمثلة المعروفة على السطوح الدورانية و المنتشرة بشكل واسع في العمارة والتصميم المعماري :

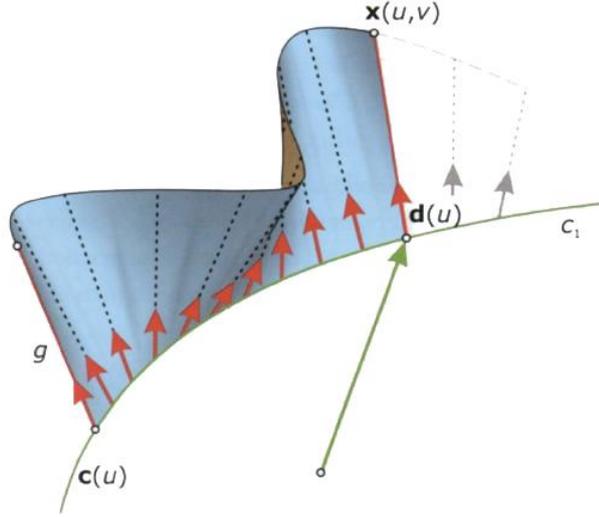
- الأسطوانة التي تتشكل من دوران خط مستقيم حول محور موازي له .
- المخروط الذي يتشكل من دوران خط مستقيم حول محور متقاطع معه ونقطة التقاطع هي رأس المخروط .
- الكرة التي تتشكل بتدوير دائرة حول أي قطر من أقطارها .
- و من الأمثلة الأكثر تعقيداً :
- السطح الزائدي الدوراني: الذي ينتج عن دوران قطع زائد حول محوره .
- السطح الناقصي دوراني الذي يتشكل بدوران قطع ناقص حول كل من المحورين .

الشكل (05): مجموعة من السطوح الدورانية حول محاورها الرئيسية (المصدر 20-299)

بتدوير خطوط مستقيمة متعددة الأضلاع polylines الشكل (05) و عندها تنشأ عوضاً عن السطوح الناعمة سطوح بأوجه منفصلة تكون مضلعة باتجاه واحد أو بكلا الاتجاهين يمكن أن تكون مستوية و عندها تنفذ بطريقة أكثر سهولة باستخدام مواد عديدة . الشكل (06).



الشكل (06): اليسار، سطح دوراني مستمر - الوسط، سطح دوراني منفصل باتجاه واحد - اليمين ، سطح دوراني منفصل بالاتجاهين (المصدر 20-292)



الشكل (07): سطح مسطر ناتج عن حركة مستقيم على منحنى (المصدر 20-312)

1-2-2-3- السطوح المسطرة :

تنتج السطوح المسطرة بتحريك خط مستقيم على طول منحنى مستوي أو فراغي ، مع التحكم باتجاه هذا الخط لإعطاء تنوع أكبر للسطح.

إذاً هي عبارة عن سطوح تحوي مجموعات من الخطوط المستقيمة ، تسمى بالمولدات (generators)¹. الشكل (07).

وهذه السطوح منتشرة بكثرة في العمارة ، ولذلك لما تؤمنه من سهولة و مرونة في التنفيذ.

ويمكن تعميم هذه الفكرة لإنشاء سطح مسطر انطلاقاً من منحنيين فراغيين عشوائيين يوصل نقاط بينهما أي أنه وبهذه الطريقة يكون لدينا إمكانيات واسعة جداً لسطوح متنوعة.

من الأمثلة المميزة على السطوح المسطرة :

- الأسطوانات التي تنتج بتحريك خط مستقيم على دائرة .
- المخاريط.

-المجسم الزائدي الدوراني (One sheet Hyperbolic) .

- السطح المكافئ الزائدي (Hyperbolic Parabolic) .

تُعتبر هذه القشريات شائعة جداً في تغطية المجازات الواسعة. كونها تتشكل من خطوط مستقيمة مما يسهل تنفيذها بطرق سهلة.

1-2-2-3- السطوح القابلة للفرد و تصنيفها :

تُعتبر قابلية فرد السطوح المنحنية على مستوي من المفاهيم الهامة جداً التي يجب التعرف عليها بتعمق ، حيث تُعتبر من أهم العوامل المسهلة لعملية تنفيذ السطوح المنحنية .

تعريفها :

السطح القابل للفرد هو السطح الذي يمكن تمثيله (فرده) Mapped على مستوي من خلال عملية الفرد الإيزومتري (Isometric) ، وتسمى الصورة الإيزومترية المستوية الناتجة عن عملية الفرد بالسطح المفرد Development .

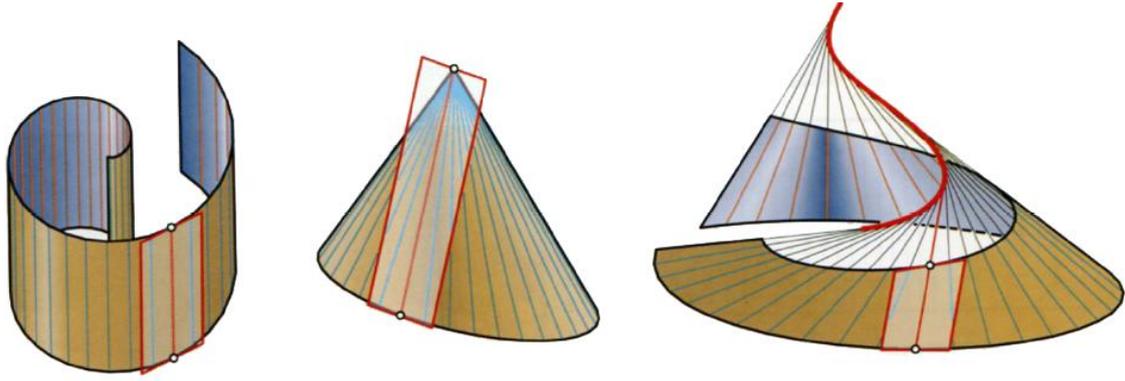
يجب أن يكون السطح المفرد له نفس انحناء " غاوس " للسطح الأصلي باتجاه الفرد ، أي أنه يجب أن يكون معدوماً $K = 0$ في كل نقاطه² .

بعكس السطوح المنحنية باتجاهين التي يكون انحناء " غاوس " بالنسبة لها مختلفاً عن الصفر بالاتجاهين ، والتي لا تكون قابلة للفرد .

و تتميز هذه السطوح بمساحات مستوية على طول اتجاه الفرد ، حيث تكون هذه المستويات مماسة للسطح بخط مستقيم يدعى المولد ، أو Ruling هذه الخاصية تُكسب السطوح المنحنية سهولة في التنفيذ.

¹ Pottmann H. Ruled Surfaces for Rationalization and Design in Architecture, (p-3)

² Potmann H. , Architectural geometry (p-535)



الشكل (08): مجموعة من السطوح القابلة للفرد على مستوي ، المماس عبارة عن سطح مستوي على طول المولد (المصدر 20-535)

تصنيف السطوح القابلة للفرد :

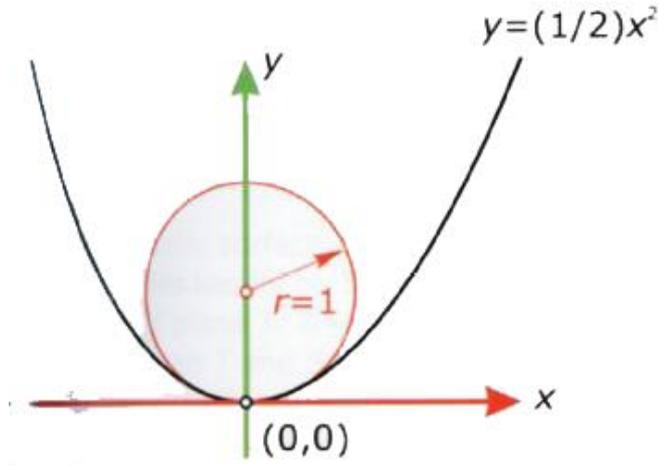
- و فيما يلي سنتعرف على الأنماط الأساسية الثلاث للسطوح القابلة للفرد الشكل (08).
- **الأسطوانة** : الأسطوانة هي مجموعة من الخطوط المتوازية تتجاور لتشكّل سطح و للحصول على سطح أسطواني يمكن أن نختار منحنى P ونرفعه $Extrude$ باتجاه معين ، وإذا كان المنحنى P يقع في مستوي عمودي على اتجاه الرفع فإننا ندعو المنحنى P مقطع عمودي $Normal Section$.
- **المخاريط Cones** : يُعرف المخروط بشكل عام بأنه يتألف من مجموعة الخطوط التي تصل نقطة في الفراغ V مع كل نقطة من نقاط منحنى معين P ، ويمكن كذلك أن نشكّل السطح من خلال رفع مركزي إلى نقطة $Central Extrusion$.
- **السطوح المماسية لمنحنيات فراغية** : هي سطوح قابلة للفرد تتكون من مجموعة مولدات وكل مولد R هو مماس للمنحنى الفراغي r في نقطة منه P . وفي كل نقطة من نقاط المولد R السطح يكون له نفس المستوي المماس.

4-2-1- المعايير المميزة للسطوح المنحنية

بعد التعرف على طرق توليد السطوح المنحنية لا بد من دراسة معايير الانحناء التي تميزها عن بعضها ، حيث أن معيار انحناء السطح يلعب دوراً هاماً في تنفيذه ، لأن شكل هذا الانحناء يؤثر على توزيع القوى في هذا السطح ، وبالتالي يحدد المواد المستعملة في التنفيذ وطريقة تطبيقها. وتختلف السطوح المنحنية عن بعضها من خلال ثلاثة مفاهيم أساسية تعرف كلاً من شكل انحناء هذا السطح و شدته و اتجاهه .

1-4-2-1- الانحناء Curvature :

يُعرف انحناء السطح في نقطة منه $Curvature$: $K=1/r$ حيث r نصف قطر الدائرة المماسية للمنحنى في كل نقطة منه ، وبالتالي فهو يساوي مقلوب نصف قطر الدائرة المماسية.



وقد يختلف هذا الانحناء من نقطة إلى مجاورتها في بعض المنحنيات بحسب شكل هذا المنحني الشكل (09).

و كون السطح يتألف من مجموعة من المنحنيات بالاتجاهين يكون لكل نقطة من السطح عدة انحناءات ، ويُعتبر اثنتان منها رئيسيتان هما اللتان تكون باتجاه المنحنيات الأساسية المولدة للسطح . و يمكن لأي نقطة من أي سطح أن تكون واحدة من الاحتمالات الأربعة .

الشكل (09): انحناء نقطة من القطع المكافئ (المصدر 20-489)

- a – نقاط مستوية: في هذه الحالة تكون الانحناءات في الاتجاهين الرئيسيين متلاشية ، و بالتالي يكون نصف قطر الدائرة المماسية بالاتجاهين غير منتهيين فتكون قيمة الانحناء معدومة
- b – نقطة مكافئة Parabolic point : و يكون الانحناء في أحد الاتجاهين الرئيسيين متلاشي أي أن $K_2 = 0$ و بالتالي نصف قطر الدائرة المماسية في هذا الاتجاه غير منتهى ، و الآخر له قيمة محددة موجبة او سالبة.
- c – نقطة ناقصية Elliptic : يكون الانحناء في الاتجاهين الرئيسيين K_1 و K_2 لهما نفس الإشارة والاتجاه ومختلفان عن الصفر ،
- d – نقطة زائدية Hyperbolic : يكون الانحناء في الاتجاهين الرئيسيين K_1 و K_2 مختلفان عن الصفر و لهما إشارتان مختلفتان¹.

2-4-2-1- انحناء غاوس Gaussian Curvature

تتميز السطوح عن بعضها كذلك من خلال قيمة انحناء غاوس، والذي يعرف بكونه يساوي جداً قيمتي الانحنائين الرئيسيين في كل نقطة من نقاط السطح.

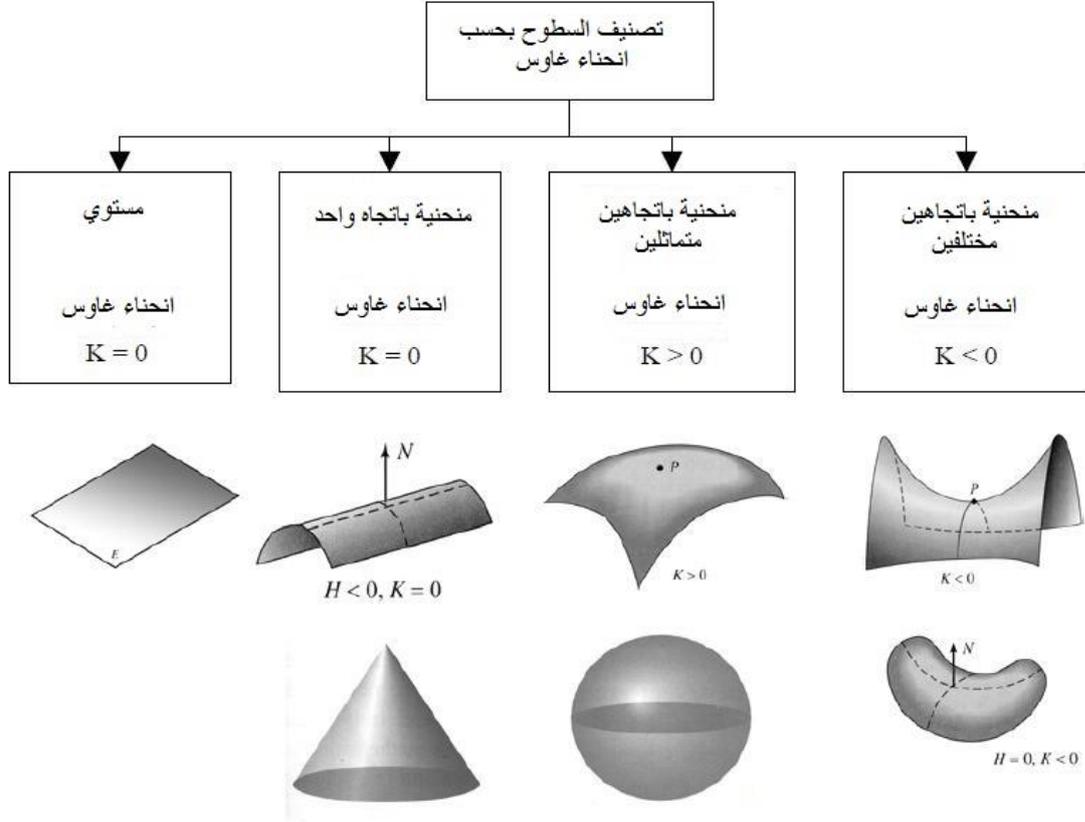
حيث $K = K_1 * K_2$ و K_1 و K_2 انحناء المنحنيين الرئيسيين المارين من النقطة المفروضة على السطح ، وهو رقم مميز لكل نقطة من نقاط السطح ، يعبر عن الشدة و الاتجاه من خلال الإشارة الموجبة أو السالبة ، ويمكن ان يكون ثابتاً في كل نقطة من نقاط السطح ، إذا كانت السطوح منتظمة ومتغير غير ثابت كلما زاد تعقيد هذه السطوح اي انه يختصر كل المعلومات المتعلقة بالانحناء العام للسطح².

و استناداً لما سبق تصنف السطوح بحسب انحناء غاوس إلى : الشكل (010)

- 1- سطوح مستوية.
- 2- سطوح ذات انحناء غاوس معدوم .
- 3- سطوح ذات انحناء غاوس موجب بقيم مختلفة.
- 4- سطوح ذات انحناء غاوس سالب بقيم مختلفة .

¹ Yan-Bin J., Gaussian Curvature (p-6)
² Potmann H. , Architectural geometry (p-495)

يمكن إذا كان السطح شديد التعقيد أن تتبدل قيمة الانحناء واتجاهه عدة مرات على امتداد السطح ، ويُعد تحليل هذه الانحناءات موضوع بالغ الأهمية في عملية التنفيذ كما سنرى في فصول لاحقة كونه يؤثر على طريقة نقل الحمولة و التنفيذ و اختيار المواد.



الشكل (010): تصنيف السطوح بحسب انحناء غاوس (المصدر 52-2)

3-4-2-1- متوسط الانحناء Mean Curvature:

هناك معيار مهم آخر يؤخذ بعين الاعتبار عند دراسة انحناء السطوح ، وهو متوسط الانحناء $H = (K_1 + K_2) / 2$ المتوسط الحسابي للانحناء المنحنيين الرئيسيين في كل نقطة من نقاط السطح¹ ، حيث K_1 و K_2 انحناء المنحنيين الرئيسيين المارين من النقطة المفروضة على السطح ، ويكون معدوماً إذا كانت قيمة الانحنائين متساوية بالقيمة و متعاكسة بالاتجاه.

3-1- السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة (الحرة) : Freeform Surfaces :

السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة هي سطوح تولد بنفس طريقة السطوح التقليدية انطلاقاً من منحنيات غير منتظمة ، ولكن يمكن تطبيق تعديلات على هيئتها ، والتحكم بانسيابيتها بطرق خاصة، الأمر الذي يجعل انحناءاتها متغيرة بشكل كبير وغير منتظم على امتداد السطح .
لدراسة السطوح غير المنتظمة لابد في البداية من فهم البنية الهندسية للمنحنيات غير المنتظمة كونها تشكل العناصر الأولية لتصميم السطوح ، وتؤثر بشكل كبير على الهيئة النهائية للسطح.

¹ Yan-Bin J., Gaussian Curvature (p-4)

1-3-1- المنحنيات غير المنتظمة (المنحنيات ذات الأشكال الحرة) Free form Curves

تُعرف المنحنيات بشكل عام بأنها مجموعة متصلة من النقاط مستمرة باتجاه واحد ، وهي إما منحنيات مستوية تقع في نفس المستوى ، أو منحنيات فراغية تقع نقاطها على عدة مستويات ، وغالبا ما كانت تُعرف بالمنحنيات التقليدية بمعادلات و توابع رياضية تعرف هيئتها و شكلها ، ولكن و كما سنرى فيما يلي تختلف المنحنيات غير المنتظمة في طريقة تعريفها و تشكيلها عن المنحنيات التقليدية لذلك لا بد من فهم نشأتها و خواصها .

1-1-3-1- لمحة تاريخية:

من المتعارف عليه في التصميم المعماري أن السطوح تتشكل من منحنيات ممثلة بمعادلات و توابع رياضية كأجزاء من دوائر ومقاطع مخروطية ، وهذه القطوع والمنحنيات لها تاريخ طويل في التصميم المعماري على مر العصور ، و لكن بدأ في الخمسينيات من القرن الماضي استعمال منحنيات أكثر انسيابية ونعومة ، حيث تتغير انحناءاتها من نقطة لأخرى بشكل مستمر و غير منتظم (انحناءات غير منتظمة) ، ويتم تشكيلها بواسطة مجموعة من نقاط التحكم التي تؤلف الهيئة العامة للمنحني ، وتضفي مرونة في التصميم ، واعتبرت هذه المنحنيات كأدوات حديثة تستعمل في تصاميم هياكل السفن ، والطائرة ، والسيارات ، سميت بمنحنيات اس بي لاين Spline .

قبل اختراع الحاسب كانت تُستعمل أدوات هندسية تتألف من قضيب رفيع معدني أو خشبي قابل للتشكل بأكثر من طريقة ليعطي هيئات مختلفة يحتاجها المصمم و تساعده على رسم منحنيات ، وكان يستعمل هذه الأدوات بناء السفن بشكل رئيسي للحصول على خطوط رقيقة منحنية، ولكن مؤخراً أصبحت برامج الرسم الحاسوبي تدعم هذه الأنواع من المنحنيات و تسهل الحصول عليها .
و فيما يلي سنتعرف على خصائص هذه المنحنيات لأنها ستعطي المصمم الإمكانية لاختيار التصميم الأنسب فعندما يتقن استعمال المنحنيات سوف يتمكن من تشكيل سطوح ذات أشكال مدروسة¹.

1-3-1-2- أنواع المنحنيات غير المنتظمة :

تعرف المنحنيات غير المنتظمة **Free form Curves** باستعمال عدد من نقاط التحكم المرتبطة مع بعضها بمضلع تحكم ، ومن نقاط التحكم هذه يظهر منحنى ناعم يتدرج بشكل انسيابي ويعرف بواسطة خوارزميات هندسية . ومصطلح مضلع التحكم يظهر أننا بواسطة هذا المضلع نستطيع نتحكم بهيئة المنحني ، وبتغيير شكل هذا المضلع يتغير المنحني اذا لتصميم منحنى غير منتظم يقع على عاتق المصمم أن يحدد مجموعة نقاط التحكم والخوارزمية الحسابية الرقمية تجد المنحني الذي يناسبها ، ولكن عدد الاحتمالات الناتج سيكون غير منتهى ، لذلك لا بد من إدخال إعدادات أخرى لتحديد هيئة المنحني المراد بشكل أدق ، وذلك بتحديد زوايا المماسات عند نقاط التحكم على المنحني ومقدار جذب المضلع للشكل كما سنوضح لاحقا .

- تصنف المنحنيات غير المنتظمة **Free form Curves** و التي نحصل عليها بواسطة تقنيات

الرسم الحاسوبية على شكل ثلاث صيغ بيزيير و بي اس بي لاين و نيربز - B_spline -

Bezier_Nurbs

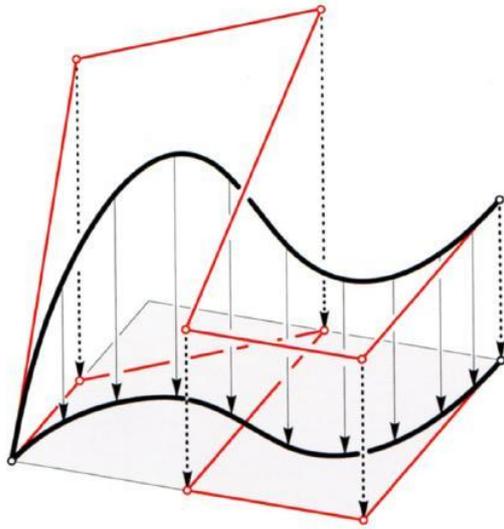
- منحنيات بيزيير (Bezier Curves) -

¹ Balakrishnan R./ Fitzmaurice G./ Kurtenbach G./Singh K., Exploring Interactive Curve and Surface Manipulation Using a Bend and Twist Sensitive Input Strip , (p-1)

وهي من أكثر المنحنيات ذات الأشكال غير المنتظمة انتشاراً ، وقد سميت بهذا الاسم بناء على اسم العالم " بيير بيزير " ¹.Pierre Bezier.

اختراع هذه المنحنيات : أدت الحاجة في عام 1950 إلى استعمال منحنيات أكثر تعقيداً من المنحنيات التقليدية المستعملة عادة كالقطوع والدوائر حيث ان تجاوز منحنيات تقليدية لا يعطي الانسابية المطلوبة لتصميم سطوح معقدة ، وقد استعملت هذه المنحنيات بشكل رئيسي في الأقسام التصميمية في مصانع الطائرات والسيارات ، لما تطلبه هياكلها من انسيابية

و من الدراسات الرائدة في هذا المجال دراسة اجراها عام 1959 العالم الفرنسي " بول ديكاستيلو " العامل في شركة سيتروين حيث صمم الفكرة الإنشائية للقطع المكافئ على شكل خوارزمية تعرف

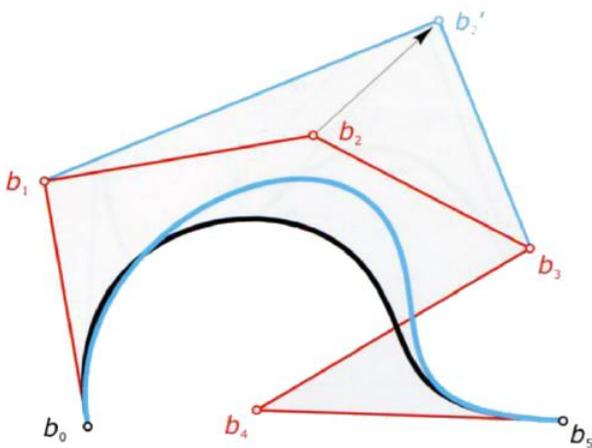


الشكل (011):منحني بيزير فراغي (المصدر 20-265)

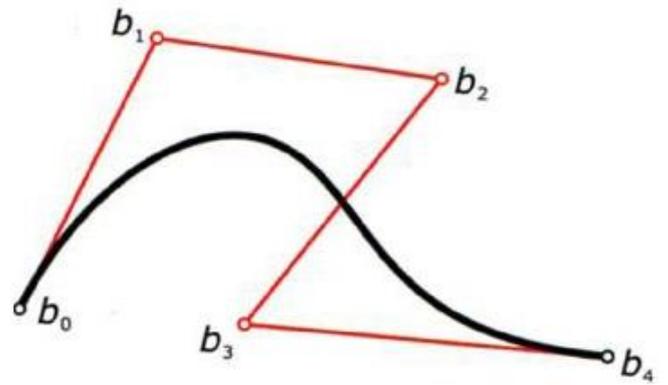
اليوم باسم خوارزمية " ديكاستيلو " وفكرتها تعتمد على أن عوضاً عن ثلاث نقط تحكم b_0 , b_1 , b_2 في حالة القطع نعتمد العدد n من نقاط التحكم. وشكلت هذه الخوارزمية الأساس تصميم هذه المنحنيات حيث تقوم منحنيات بيزير كذلك على نفس هذا المبدأ وهي التي اخترعها

لكن سمح لبيزير بنشر نتائج أبحاثه قبل " بول ديكاستيلو " وهو السبب الذي جعل هذه المنحنيات تعرف بهذا الاسم (Bezier Curves). ويمكن لهذه المنحنيات أن تكون مستوية فراغية بحيث تكون نقاط التحكم غير واقعة في مستوي واحد كما هو موضح في الشكل (011).

- درجات منحنيات بيزير تحدد درجة منحنيات " بيزير " بعدد نقاط التحكم في مضلع التحكم المحدد لها، الشكل (012)



الشكل (013):تحريك أي نقطة تحكم يغير كامل شكل منحني بيزير (المصدر 20-265)



الشكل (012):منحني بيزير رباعي الأضلاع (المصدر 20-259)

¹ Zlatanova S. / Pu S. And Bronsvort W.F. Freeform Curves And Surfaces In DBMS : A Step Forward In Spatial data Integration (p1-2)

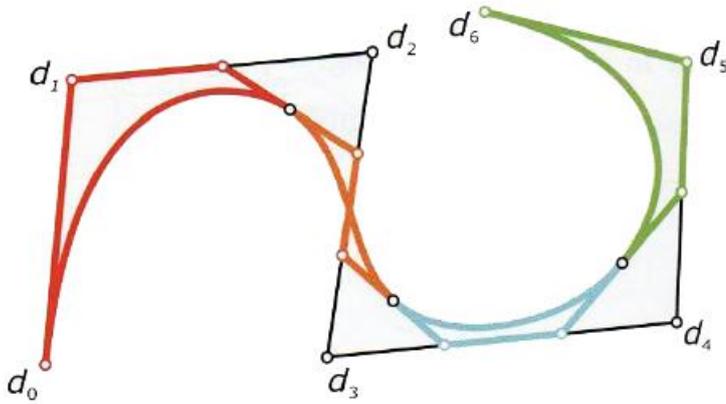
هناك اعتباران يؤخذان بعين الاعتبار عند استعمالهما في التصميم ، الأول ألا تكون الدرجة كبيرة لأنه يصبح عندها المنحني غير فعال ويشبه شكل المضلع .

و الثاني أنه عند إضافة نقطة أو حذفها أو تغيير مكانها سوف يكون له تأثير على كامل هيئة المنحني وليس على مكان التغيير فقط و هذا الموضوع هام جداً في عملية التصميم. الشكل (013).

- منحنيات بي اس بي لاين (B-Spline)

هي عبارة عن منحنيات غير منتظمة متعددة الأضلاع لكن هذه الأضلاع ليست خطوط مستقيمة هي على شكل أجزاء منحنية كل منها عبارة عن منحنى " بيزير " Bezier، وكلها ذات نفس الدرجة مجمعة مع بعضها في نهاياتها مع أكبر إمكانية للنعومة في مكان الاتصال. إن اسم Spline جاء من الآلة التي يستعملها بناء السفن لرسم منحنيات ناعمة باليد والمصطلح B - Spline أطلقه العالم الرياضي الروماني " أيزاك شونبرغ " حيث :

الـ B تعود لـ Basis (أساس) ، ولكن يمكن اعتبارها كمصطلح للتذكير بأنه يتألف من عدة أضلاع هي عبارة عن منحنيات Bezier " بيزير " ¹.



الشكل (014): منحنى B-Spline من الدرجة الثالثة (المصدر 20-270)

- درجات المنحني B-SPLINE

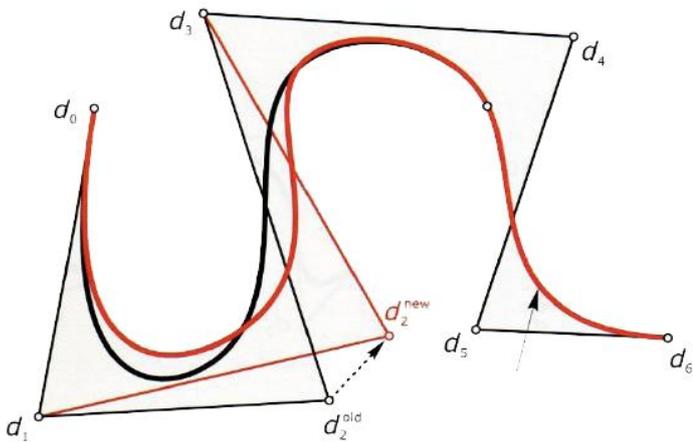
تختلف درجة المنحني B-spline عن منحنيات بيزير بأنه يحدد بثلاث عوامل هي :

عدد نقاط التحكم التي تحدد الشكل العام للمنحني ، إضافة إلى درجة الأجزاء من منحنيات " بيزير " و هي عدد نقط مضلع التحكم التي تشكل كل جز من المنحني (والتي يجب أن تكون نفس الدرجة لكل الأجزاء المكونة له). وأقصى درجة يمكن الوصول إليها هي نفس عدد أضلاع المنحني.

الشكل (014).

و أهم ما يميز منحنيات B-spline التحكم بالنقاط يتم بشكل محلي ، أي أنه بتغيير مكان نقطة واحدة يتغير جزء صغير من المنحني وليس المنحني كاملاً ، وهو جزء بيزير المرتبط بهذا المنحني ولا يكون التغيير على كامل طول المنحني من بدايته لنهايته.

أي أن الذي يتغير تماماً هو الضلع المنحني المتعلق بهذه النقطة ، لذلك يسمى بالتحكم المحلي. الشكل (015).



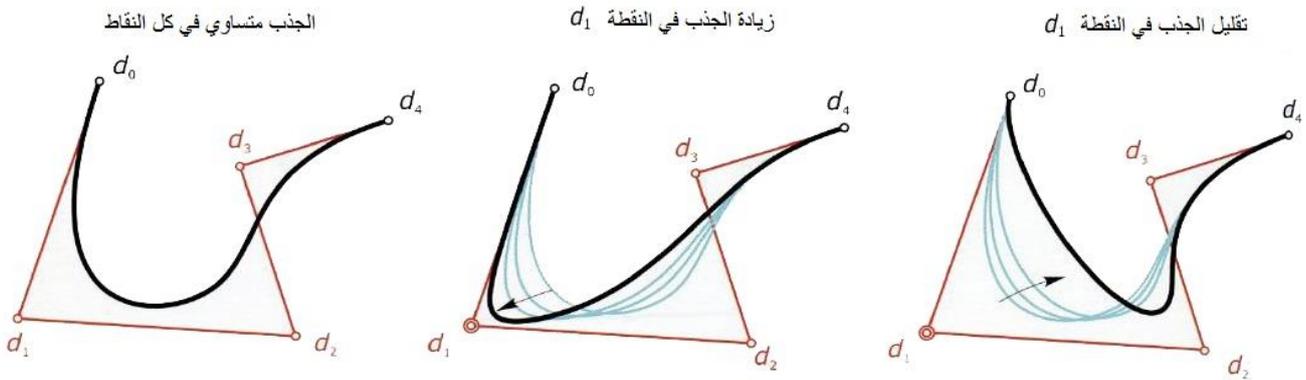
الشكل (015): تحريك أي نقطة تحكم يغير فقط جزء منحنى B-spline المرتبط بهذه النقطة (المصدر 20-265)

¹ Farin G., A History of Curves and Surfaces in CAGD p-9

الأكثر شهرة بين منحنيات الـ **B – Spline** المنحنيات هي من الدرجة الرابعة المعروفة cubic curves كونها تؤمن النعومة المطلوبة ، تكمن المشكلة في هذه المنحنيات كونه لايمكن استخدامها عن المنحنيات البسيطة كالدوائر والقطوع والمقاطع المخروطية، و بما أن هذه المنحنيات أجزاء مهمة من عملية التصميم كان لابد من ايجاد صيغة للتعبير عنها ، فقد أجريت دراسات عدة تشكل امتداد لهذه المنحنيات وتسمح برسم أي منحنى ، تسمى بمنحنيات نيربز سندرستها في الفقرة التالية :

- منحنيات النيربز Nurbs Curves

المصطلح Nurbs هو اختصار لـ non uniform rational B – Spline ، أي أنها منحنيات B – Spline ذات أشعة غير منتظمة في العقد non uniform Knot ، وكلمة Rational تأتي في الوصف الرياضي لهذه المنحنيات ، حيث تضم هذه المنحنيات معيار إضافي إضافة إلى معايير المضلع التحكم الذي لم يكن موجوداً في المنحنيات السابقة يدعى بنقل النقط ، وهو مقدار جذب نقطة المضلع للمنحنى ، وزيادة الثقل يسحب المنحنى باتجاه نقطة التحكم وتقليله يدفعها بعيداً عن النقطة¹ ، مما يعطي تنوعاً في الأشكال ، وهو معيار هام جداً في التصميم الشكل (016).



الشكل (016): تأثير جذب نقاط التحكم على شكل المنحنى Nurbs (المصدر 20-276)

لكن هذا الثقل له تأثير محلي على جزء من المنحنى ، فبتغيير الثقل يتغير جزء فقط من هذا المنحنى ، ويجب أن يكون الثقل في نقطة منها على الأقل مختلفة عن الباقي . من خلال ما سبق نجد أنه يمكن للمعماري التحكم بتصميم المنحنيات كما يلي بالنسبة لمنحنى Bézier نستطيع فقط تغيير نقاط التحكم ، لأن الدرجة تتعلق فقط بعدد النقاط الثقل متساوي لكل النقاط . أما بالنسبة لـ B – Spline نتحكم بنقاط التحكم ودرجة الأجزاء المؤلفة له ، بينما الثقل متساوي فقط بالنسبة لـ Nurbs يمكن التحكم بالمعطيات الثلاث . الجدول (01).

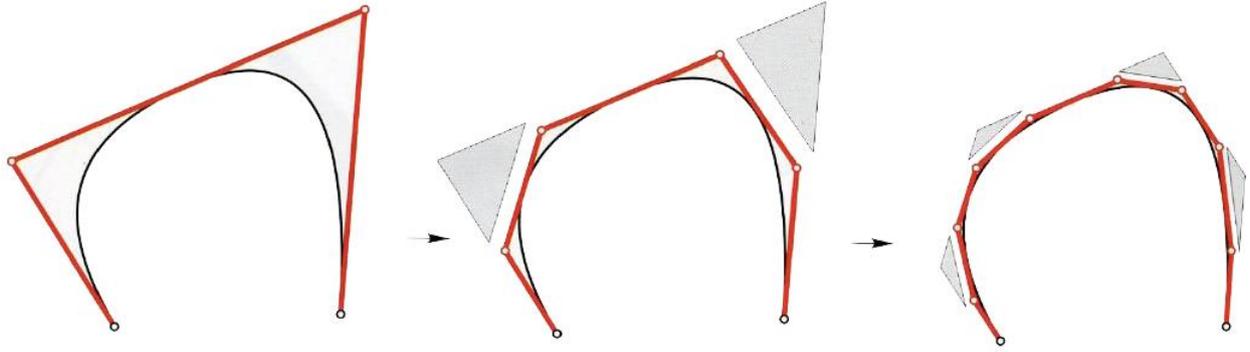
الجدول (01): محددات تصميم المنحنيات غير المنتظمة (المصدر 20-277)

| جذب النقاط | الدرجة | نقاط التحكم | |
|------------|--------|-------------|----------------------|
| | | • | منحنيات بيزير Bezier |
| | • | • | منحنيات B-Spline |
| • | • | • | منحنيات NURBS |

¹ Potmann H. , Architectural geometry (p-276)

3-1-3-1- المنحنيات المجزئة Subdivision Curves:

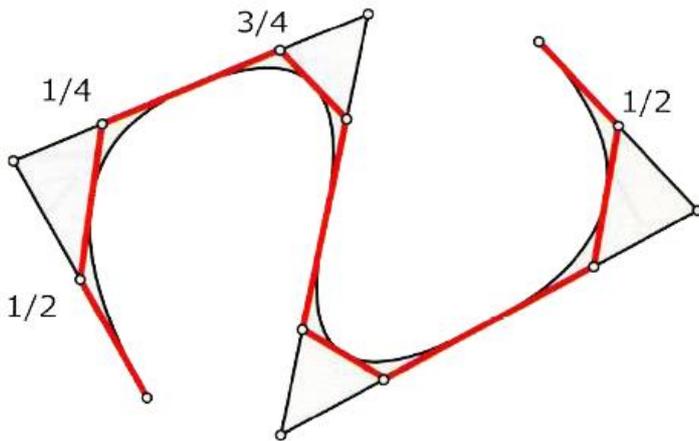
كمفهوم ملحق بمفهوم المنحنيات غير المنتظمة يأتي مفهوم المنحنيات المجزئة التي هي عبارة عن خطوط تنشأ من خلال تنعيم مضلع التحكم الخاص بأي منحنى من المنحنيات السابقة ، لنحصل على منحنى ذو التكسيرات الكبيرة أي (خشن المظهر) و تتم العملية بشكل متكرر حتى نحصل على المنحني الناعم المطلوب ، وذلك من خلال طريقة تدعى بقص الزوايا Corner – Cutting وفي كل تكرار يتم استبعاد الزوايا من المضلع المفروض حتى الوصول للنتيجة المطلوبة. الشكل (017).



الشكل (017): خوارزمية طرح الزوايا بحسب طريقة رام و شاينكن (المصدر 20-280)

قام العالم " شاينكن " Chaikin باختراع خوارزمية تقسيم عام 1914 التي تعتمد مبدأ تقسيم الربع وثلاثة أرباع من أجل التوليد السريع للمنحنيات على شاشات الحاسب ، وكلما تم التقسيم كلما أصبح شكل المضلع يشبه شكل المنحني أكثر.

تكمن أهمية المنحنيات المجزئة بدورها في تبسيط السطوح عند تنفيذها كما سنرى في فصول لاحقة لأنه قد نحتاج إلى تبسيط هذه المنحنيات لأجزاء مضلعة سهلة التنفيذ الشكل (018).

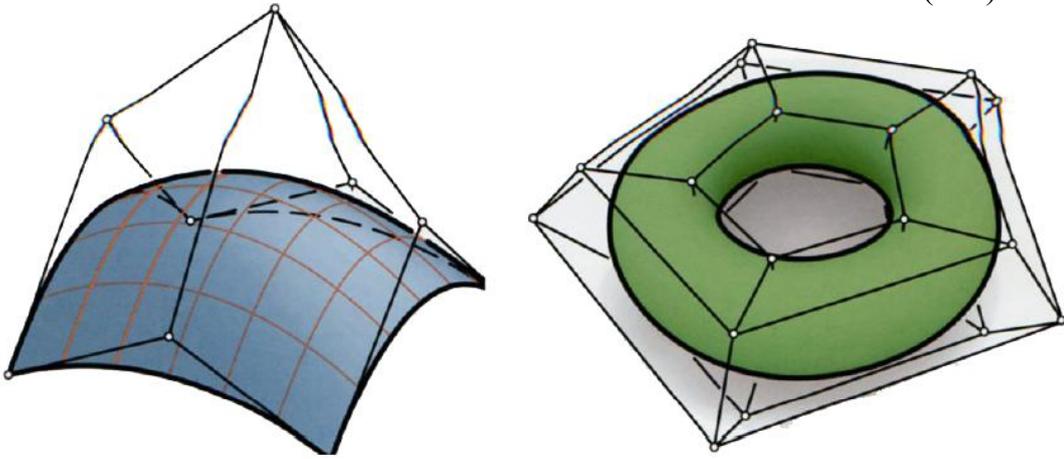


الشكل (018): طريقة قص الزوايا باستخدام خوارزمية شاينكن (المصدر 20-280)

الخلاصة : من خلال الدراسة السابقة للمنحنيات نكون قد توصلنا إلى الهدف المتمثل بتوحيد طريقة رسم كافة أشكال المنحنيات المنتظمة وغير المنتظمة التي يمكن استعمالها في تصميم أي سطح ومبنى يخطر ببال المصمم بطريقة واحدة وهذا الأمر الذي يسهل بشكل كبير تصميم عملية السطوح ، وخاصة بالطرق الرقمية المنتشرة في الفترة الأخيرة ، حيث أصبحت منحنيات النيربز Nurbs Curves نموذج لتمثيل المنحنيات في العديد من برامج الـ CAD وبرامج التصميم الرقمية المستخدمة في نطاق واسع في العمارة .

1-3-2- طريقة توليد السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة

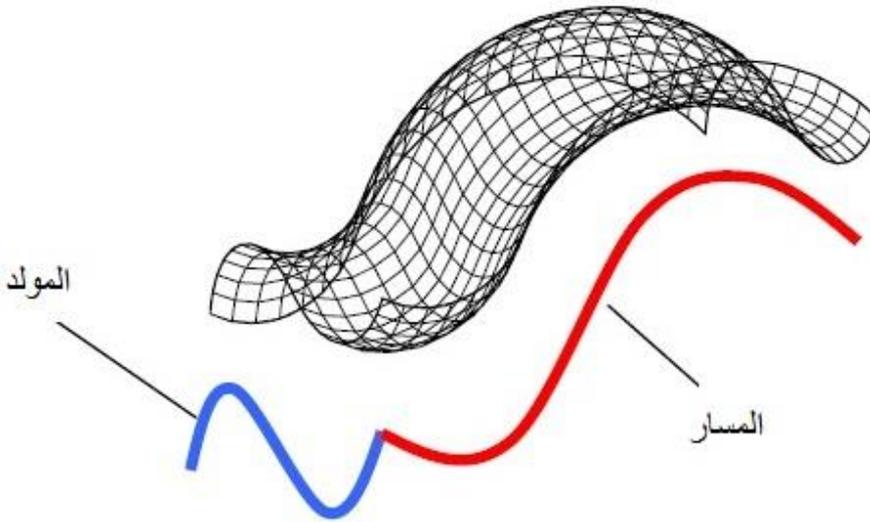
إن المرونة المطلوبة في تصميم السطوح ثلاثية البعد تبدو صعبة التحقيق باستخدام السطوح التقليدية كالأسطوانات والكرات والمخاريط والسطوح الدورانية و الانتقالية العادية. لذلك تقدم السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة مرونة أكبر، تتيح تنوعاً كبيراً في الأشكال ومفهومها يُعتبر امتداداً لمفهوم المنحنيات غير منتظمة الشكل التي درسناها سابقاً ، فهذه السطوح تنتج عن تفاعل مجموعة من الخطوط غير المنتظمة وهي تتيح إمكانيات تصميمية أوسع من السطوح التقليدية فمن خلالها نستطيع التعبير عن أي سطح أو حجم . تتولد السطوح غير المنتظمة بنفس طرق توليد السطوح العادية، ولكن تختلف عنها بنوع الكيانات ثنائية البعد (المنحنيات) المولدة لها ، حيث نستعمل منحنيات غير منتظمة بيزير او نيريز الشكل (019).



الشكل (019): اليسار سطح BEZIER اليمين سطح B-SPLINE (المصدر 20-361)

السطوح الانتقالية ذات الانحناءات غير المنتظمة هي من أكثر السطوح انتشاراً ،

حيث نأخذ منحنيين غير منتظمين ونقاطع نقاط التحكم الخاصة بشكل يسمح بانتقال أحدهما على الآخر للوصول إلى سطح انتقالي، فيكون بذلك السطح حاوياً على مجموعة من المنحنيات بالاتجاه الأول ومجموعة من المنحنيات بالاتجاه الثاني نتيجة الانتقال ومن المهم التمييز بين معايير المنحنيين في الاتجاهين ، لذلك يطلق على أحدهما الاسم (U) وعلى الآخر اسم (V). الشكل (020).

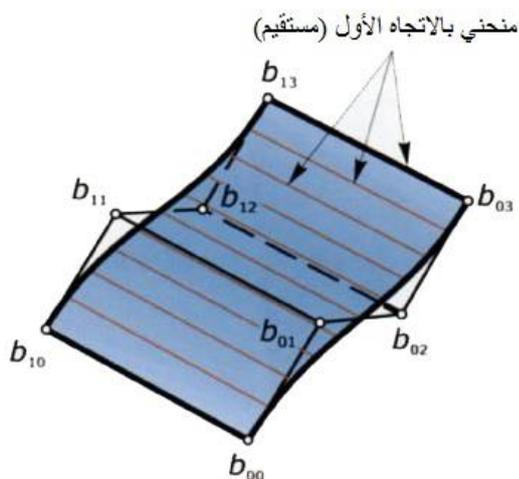


الشكل (020): سطح بيزير انتقالي يتشكل من انتقال منحنى بيزير من الدرجة الثالثة على طول منحنى بيزير من الدرجة الثانية (المصدر 27-190)

ويمكن أن تنشأ أسطح غير منتظمة ، وذلك بتدوير منحنى غير منتظم حول محور ، وعندها يكون الاتجاه الأول للسطح هو المنحني الذي قمنا بتدويره ، والاتجاه الثاني عبارة عن دوائر ممثلة بمضلعات تحكم.

3-3-1- أنواع السطوح غير المنتظمة :

بما أن السطوح غير المنتظمة تتشكل من منحنيات غير منتظمة فإن خواصها تكون مشابهة لخواص المنحنيات المشكلة لها ، وبالتالي تُصنف إلى ثلاث أنواع بحسب مواصفات مضلع التحكم (متعدد الوجوه هو الذي يقوم بالتحكم بالسطح) (Control Mesh) .



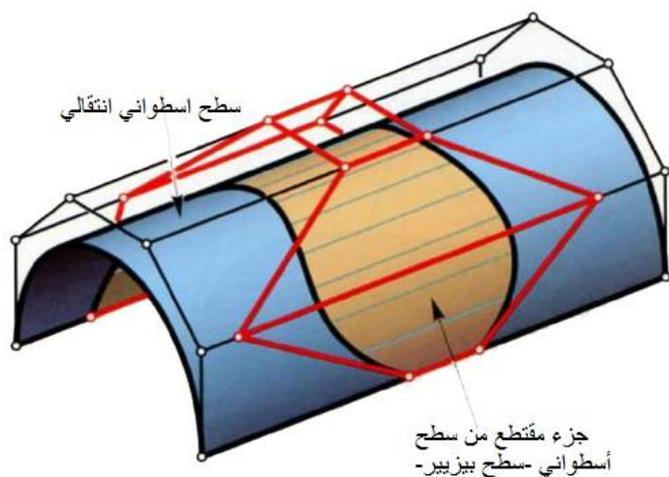
الشكل (021): سطح بيزيير مسطر (المصدر 20-370)

1-3-3-1- سطوح " بيزير " Bezier Surfaces

وهو أول أنواع السطوح غير المنتظمة وتختلف عن بعضها بمعيار واحد فقط هو درجة السطح.

درجة سطح " بيزير " (تعرف بدرجات المنحنيات المؤلفة لها) -فمثلاً إذا كانت من الدرجة الأولى (1,1) المضلع المغلف له هو عبارة عن رباعي فقط ، والسطح يضم عائلتين من منحنيات " بيزير " من الدرجة الأولى أي خط مستقيم.¹

سطوح " بيزير " يمكن أن تكون سطوح مسطرة Ruled Surfaces ، حيث يجب أن يكون السطح من الدرجة (1,n) أي أن المنحنيات في أحد الاتجاهين هي خطوط مستقيمة (كالأسطوانة أو المخروط) . الشكل (021).



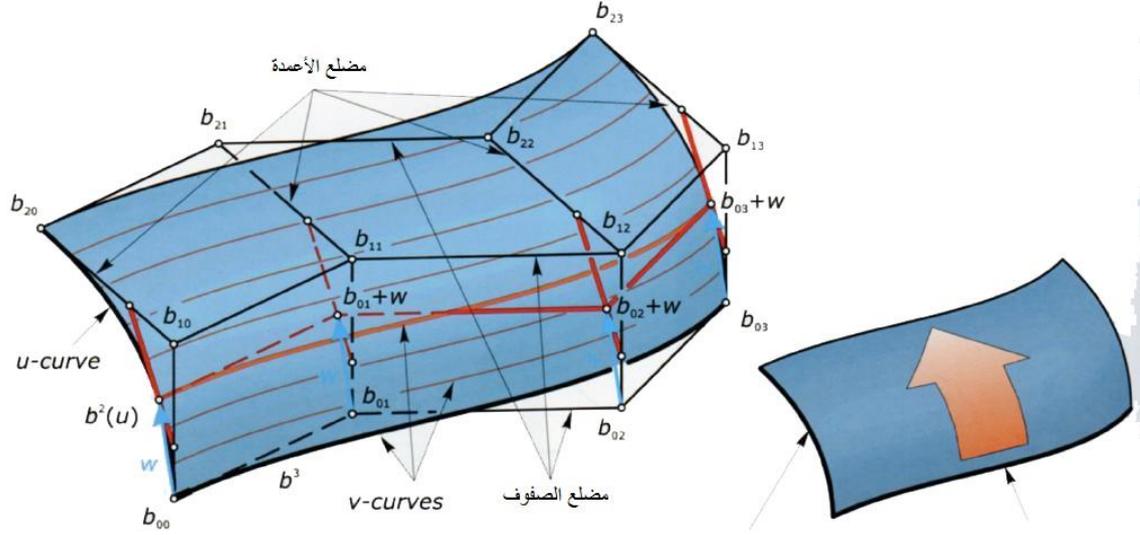
الشكل (022): سطح بيزيير مقطوع من سطح اسطواني (المصدر 20-370)

و يتيح مضلع التحكم الحرية في تعديل هيئة السطح من خلال تحريك إحدى نقاط هذا المضلع وعندها تصبح المنحنيات بالاتجاه الأول والثاني ليست متطابقة على امتداد السطح وهي ميزة هامة تسمح بتنوع أكبر في تصميم السطوح وتحقق الغايات التصميمية المطلوبة.

إن التعبير عن السطوح التقليدية كالأسطوانات ، أو المخاريط بهذه الطريقة يعطي حرية في التصميم ، فإذا كانت المضلعات المغلفة متوازية نحصل على سطح أسطوانة عادي ، أما إذا أجرينا تعديل على جزء مقطوع من أسطوانة فيمكن أن نحصل على تصاميم أخرى بالشكل المطلوب وهو ما لا يمكن الحصول عليه

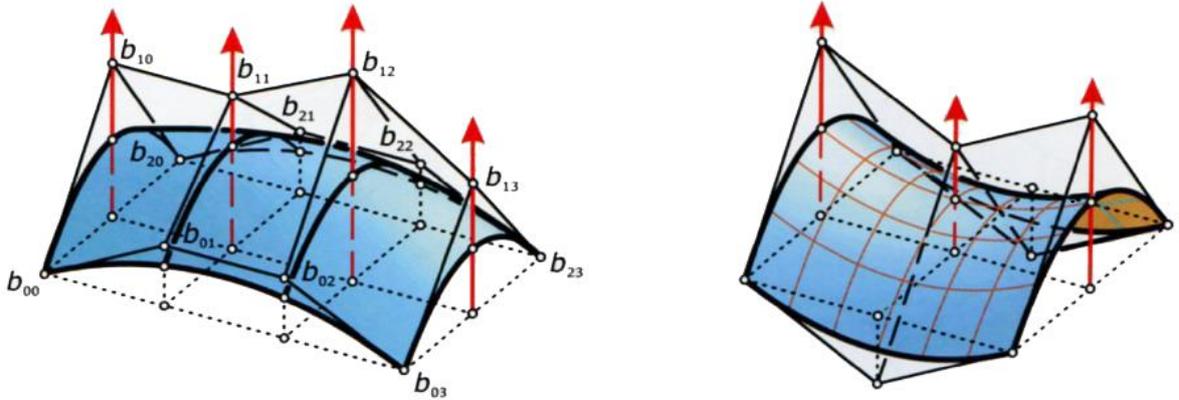
¹ Potmann H. , Architectural geometry (p-366)

بسطح انتقالي عادي الشكل (022) ، و يمكن أن يكون تحريك نقاط المضلع بشكل مستوي ، أو فراغي و كلما حركنا نقاطاً أكثر ، كلما حصلنا على سطوح أكثر تعقيداً.



الشكل (023): سطح بيزيير انتقالي يتشكل من انتقال منحنى بيزيير من الدرجة الثالثة على طول منحنى بيزيير من الدرجة الثانية (المصدر 20-361)

و تعميم الفكرة لسطوح من درجات أعلى ، فيزداد عدد نقاط التحكم ، وبالتالي يزداد السطح تعقيداً ، و يصبح هناك إمكانيات أكبر لتشكيله بالشكل المرغوب الشكل (023) (024).



الشكل (024): اليسار سطح بيزيير من الدرجة (2,3) اليمين سطح بيزيير من الدرجة (2,2) (المصدر 20-373)

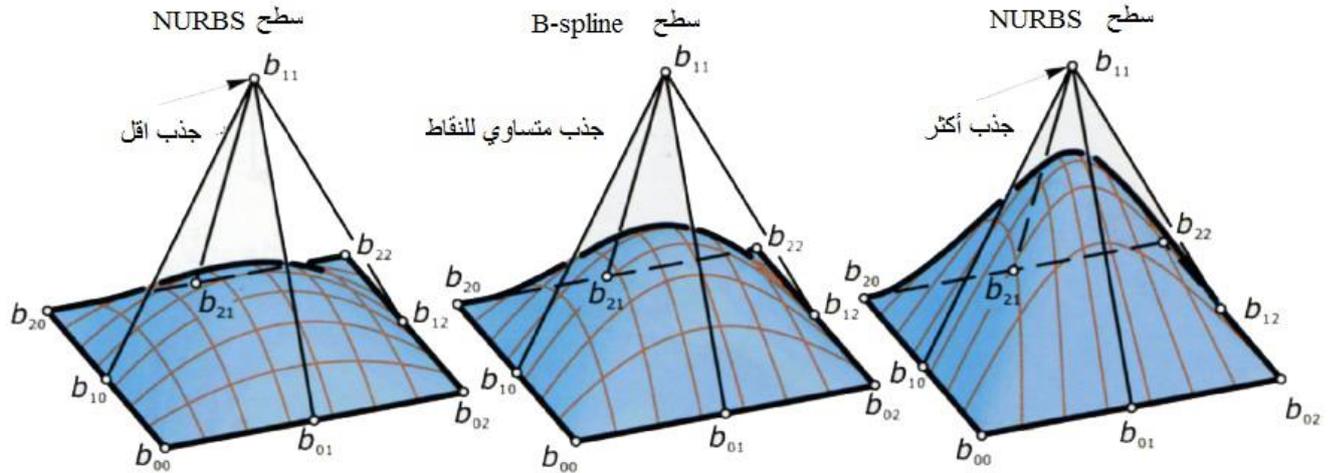
2-3-3-1- السطوح بياسبيلين B –Spline Surfaces

بما أن سطوح " بيزيير " هي عبارة عن مجموعات من منحنيات " بيزيير " فهي بالتالي تحمل نفس خواص المنحنيات المكونة لها ، أي إن تغيير أي نقطة من نقاط مضلع التحكم فيها ، سيكون له تأثير على كامل السطح ، مما قد يولد صعوبة في التعديل و التحكم بالسطح بالشكل المطلوب . لتجنب هذه المشكلة يمكن استعمال منحنيات B – Spline في تشكيل هذه السطوح وهي مثل سطوح " بيزيير " مؤلفة من شبكة تحكم مغلقة ، لكن يمكن أن نختار درجة المنحنيات في الاتجاهين U و V

وهي تعرف بعدد نقاط التحكم بالاتجاهين و درجة أجزاء المنحنيات المشكلة لها ، وبالتالي تؤثر على درجة نعومة السطح مثل تأثيرها على نعومة المنحني ، وتغيير إحدى نقاط التحكم يؤدي لتغيير جزء السطح المحدد بضلع المنحني بكل من الاتجاهين ، وبالتالي يساعد على التحكم بتصميم السطح بشكل أفضل¹ .

3-3-3-1 السطوح النيربز Nurbs Surfaces

النوع الثالث هو سطوح نيربز، وهي تختلف عن سطوح B-spline بمعيار إضافي هو معيار ثقل النقطة أو مدى جذب مضلع التحكم للسطح الشكل (025).



الشكل (025): تغيير شكل السطح Nurbs بتغيير مقدار جذب النقاط (المصدر 20-377)

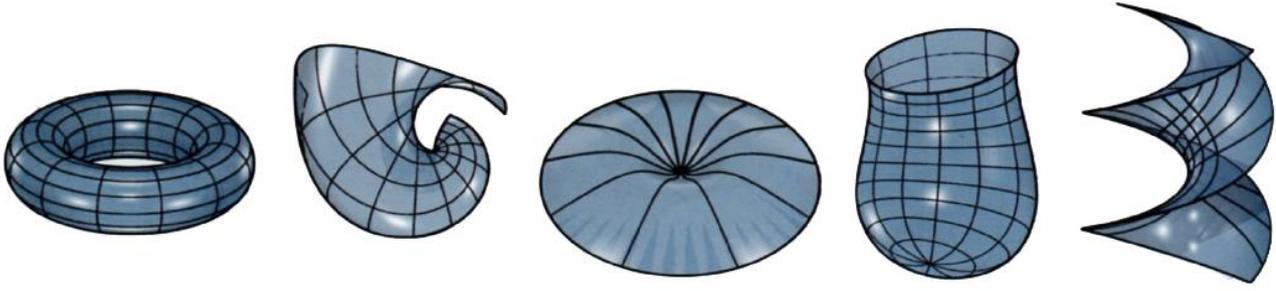
إن منحنيات B – Spline ومنحنيات Nurbs يمكن أن تنشأ بشكل مفتوح أو مغلق ، وفي الحالة المغلقة يجب أن يكون مضلع التحكم مغلقاً.

وبما أن السطح يتألف من مجموعتين من المنحنيات في اتجاهين مختلفين كل منهما يمكن أن يكون مفتوحاً أو مغلقاً، نكون هنا أمام ثلاث احتمالات من السطوح مفتوحة من الاتجاهين ، في أحدهما مفتوحة فقط ومغلقة في الاتجاهين.

4-3-1- معيار خطوط الانحناء الرئيسية Principal Main Curvature Lines

كما في حالة السطوح التقليدية تُعرف السطوح غير المنتظمة بانحنائها و انحناء غاوس ومتوسط الانحناء في كل نقطة منها ، والتي تكون متبدلة من نقطة إلى أخرى ولمعرفتها لا بد من تحديد خطوط الانحناء الرئيسية ، وهي عبارة عن منحنى على السطح مماساته محددة في الاتجاه الرئيسي ، حيث أنه في كل نقطة على السطح يوجد خطي انحناء رئيسيين يتقاطعان في زاوية صحيحة ويلمسان الاتجاهين الرئيسيين للسطح . الشكل (026) ، و تحديد خطوط الانحناء و قيم الانحناءات يكون بواسطة أدوات رقمية كما سنرى في فصول لاحقة.

Zlatanova S. / Pu S. And Bronsvort W.F. Freeform Curves And Surfaces In DBMS : A Step Forward In¹ Spatial data Integration (p1-2)



الشكل (026): خطوط الانحناء الرئيسية (المصدر 14-168)

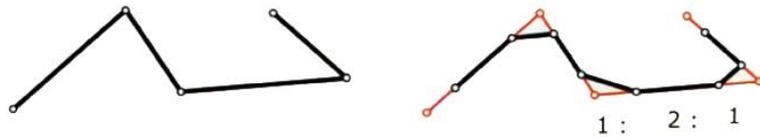
1-3-5- السطوح المجزأة Subdivision Surfaces

نحصل على سطح مجزء بتبسيط مضلع التحكم بأي سطح s-pline بإحدى خوارزميات التبسيط تماماً كطريقة الحصول على المنحنيات المجزأة من المنحنيات غير المنتظمة ، ويمكن بطريقة أخرى اعتبار سطح الـ B-Spline كنتيجة لتبسيط المضلع بطريقة تحافظ على انتظام شبكة التحكم الرباعية ، هكذا حتى نحصل على النعومة المطلوبة .

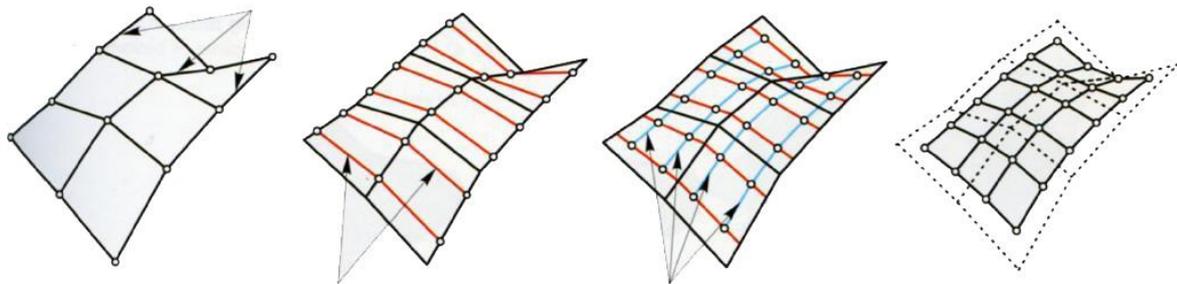
في عملية التقسيم لا يكون التركيز فقط على نعومة السطح ، ولكن يجب الاهتمام أيضاً بطريقة تكرار الوجوه من أجل تطبيقاتها في العمارة ، الدرجة التي تبدو مناسبة أكثر هي الدرجات الوسطية ، حيث تحقق الأبعاد المرغوبة للوجوه دون إلحاق الضرر بالنواحي الجمالية .

في أعوام التسعينات كان " بيكسار " Pixar رائداً باستعمال السطوح المقسمة في تطبيقات التصميم الحاسوبية Computer Graphics (كالرسوم المتحركة) ، تعد عملية التجزئة هي المنطلق الأساسي لتوليد الـ Mesh ذات المظهر المحبب ، و لهذا السبب طور عدد من نظم الرسم والبناء الثلاثية الأبعاد وأدوات التقسيم لتكون فاعلة في هذا المجال ¹.

خوارزمية شايكين



مضلع التحكم



مضلع التحكم الجديد بالاتجاه الأول

مضلع التحكم الجديد بالاتجاه الثاني

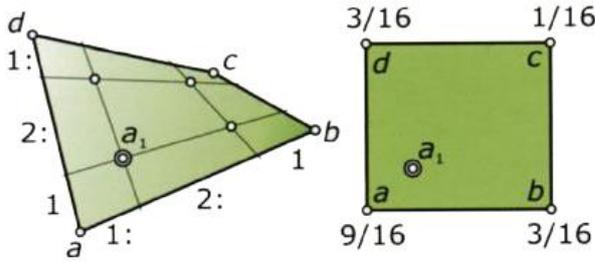
الشكل (027): خوارزمية شايكين لتقسيم السطوح (المصدر 20-399)

¹ Potmann H. , Architectural geometry (p-389)

- أهم الطرق المتبعة في التقسيم :

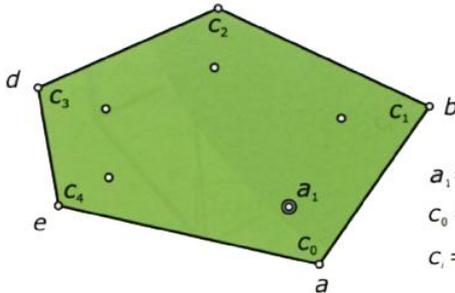
و من الطرق المستعملة في التبسيط باستعمال خوارزمية " شايبكين " للتقسيم لتوليد منحنيات B - Spline .الشكل (027).

في هذه الحالة نضع على كل ضلع نقطتين جديدتين بتقسيم الضلع بنسبة 1 : 3 و 3 : 1 ، ومن ثم نصل بين هذه النقاط الجديدة وهذه خطوة تُكرر عدة مرات . ولاستعمال نفس الفكرة لسطوح B - Spline يجب علينا تطبيق الفكرة بالاتجاهات كافة بدلاً من تطبيقها على نقطة واحدة. الشكل (028).



$$a_1 = (9/16)a + (3/16)b + (3/16)d + (1/16)c$$

الشكل (028): طريقة ايجاد قمم جديدة في رباعي الوجوه بهدف التبسيط (المصدر 20-400)

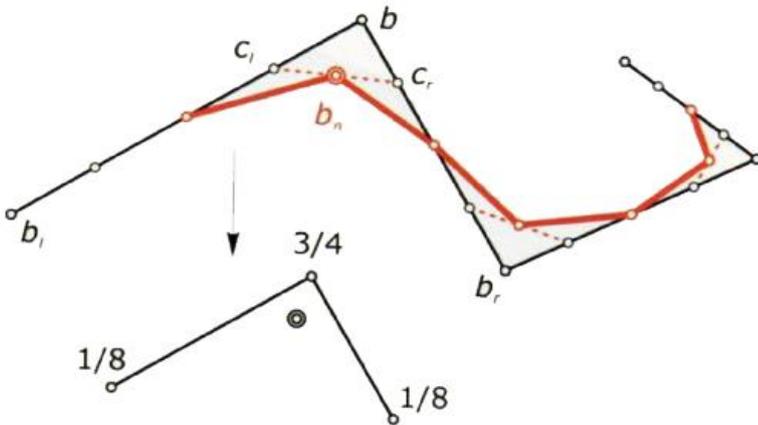


$$a_1 = c_0a + c_1b + c_2c + c_3d + c_4e$$

$$c_0 = 1/4 + 5/(4K)$$

$$c_i = (3 + 2\cos(2\pi i/K))/(4K), i=1, \dots, K-1$$

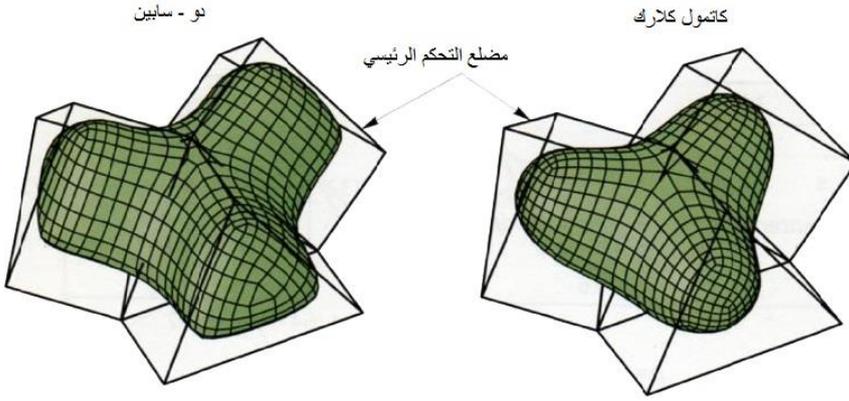
الشكل (029): طريقة ايجاد قمم جديدة في خماسي الوجوه بهدف التبسيط (المصدر 20-401)



الشكل (030): طريقة تبسيط B-Spline (المصدر 20-402)

وهنا طريقة تعتبر استمرار لطرق تقسيم الـ B - Spline ، لكنها تتعامل من حقيقة وجود قمم غير نظامية درجتها Valence أكثر من أربعة ، الأمر الذي يؤدي إلى تشكل وجوه غير رباعية تبسط كما هو مبين بالصورة. الشكل (029) إذا كان الوجه الإضافي مستوي منتظم عدد أضلاعه K (K - gon) ومركزه m ، فإن الوجه المبسط أيضاً سيكون منتظماً وله نفس المركز ، وسيكون مصغراً بنسبة 0.5 أي 1 / 2 . بهذا نكون قد ناقشنا الموضوع كمرحلة واحدة ، لكن للحصول على سطح مقسم يجب تكرار العملية عدة مرات.

إذا كان الوجه الإضافي مستوي منتظم عدد أضلاعه K (K - gon) ومركزه m ، فإن الوجه المبسط أيضاً سيكون منتظماً وله نفس المركز ، وسيكون مصغراً بنسبة 0.5 أي 1 / 2 . بهذا نكون قد ناقشنا الموضوع كمرحلة واحدة ، لكن للحصول على سطح مقسم يجب تكرار العملية عدة مرات..



الشكل (031): مقارنة بين خوارزميتين في التبسيط (المصدر 20-404)

طريقة اخرى كلارك كاتمول Catmull-Clark إن الاستراتيجية الموصوفة سابقاً للحصول على طريقة تقسيم للسطوح انطلاقاً من قاعدة تبسيط المنحنيات B-Spline والمسماة بخوارزمية Lan - Riesenfeld التي تقوم بوضع نقطة في منتصف المضلع للمضلع الحالي ، ومن ثم تشكيل سلسلة من المتوسطات الشكل (030).

إن النعومة الناتجة عن طريقة كاتمول - كلارك Cat mull- Clark هي أكبر من الناتجة عن طريقة دو سابين Du-Sabin وذلك بالنسبة لكل قمة على حدى. الشكل (031).

هناك تقريباً أكبر في سطوح Cat mull- Clark ، لذلك فهي تظهر نعومة أكبر وتكون السطوح أبعد عن مضلع التحكم الأساسي من السطوح الناتجة عن " دو سابين " ¹. إن مبدأ السطوح المجزأة هو من أهم المبادئ المستعملة في تنفيذ السطوح غير المنتظمة ، كما سنرى في الفصل الثاني ، ومع أن عملية التبسيط هذه تتم بطرق رقمية في معظم الأوقات إلا أن فهم مبدئها أمر لا بد للمصمم أن يأخذه بعين الاعتبار أثناء التصميم ، وهو موضوع بالغ الأهمية في تطبيقات هذه السطوح بالهندسة المعمارية ، حيث أنه بسبب الحجم والمقياس الكبير للسطوح لا يمكن أن نحقق استمرارية على كامل الهيكل كما في حالة الطائرات و السيارات .

¹ Potmann H. , Architectural geometry (p-404)

الفصل الثاني:

تأثير عناصر العمارة على تصميم و تنفيذ السطوح غير المنتظمة و دراسة
تطبيقاتها في الهندسة المعمارية

الفصل الثاني:

تأثير عناصر العمارة على تصميم و تنفيذ السطوح غير المنتظمة و دراسة تطبيقاتها في الهندسة المعمارية

انتشرت المباني التي تتألف من سطوح غير منتظمة بشكل واسع في العمارة المعاصرة ، و كانت محط اهتمام العديد من المعماريين والمصممين ، وقد تطلب التطبيق العملي لهذه التصاميم في المجال الهندسي دراسة معمقة لعلاقة هذه السطوح مع كافة جوانب الهندسة المعمارية ومدى تأثيرها بهذه العناصر بهدف الوصول إلى تصميم يحقق المتطلبات الهندسية بالشكل الأمثل ، كون الهدف الأساسي من المبنى هو تحقيق التوازن بين عناصر العمارة .

و فيما يلي سنستعرض دراسة لتأثيرات عناصر العمارة الرئيسية الأربعة (الوظيفة ، الجمال ، الاقتصاد و المتانة) ، على تصميم و تنفيذ السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة وسنتعرف على أمثلة عالمية لهذه التطبيقات .

2-1- تأثير المتطلبات الوظيفية على تنفيذ السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة :

لم تعد المباني المعمارية خلال العقود الأخيرة تهدف لتحقيق الأهداف الوظيفية فقط بل أصبحت بعض المباني ، وخاصة ذات التصميم المميز منها تشكل نقاط جذب جمالية و كيانات رمزية تعبر عن فكر المعماري الذي صممها .

و بالرغم من التطور في الفكر المعماري الذي جعل الوظيفة والنواحي الوظيفية ليست الهدف الوحيد للمبنى كما كان الحال في المدارس المعمارية القديمة، لكن تبقى الوظائف المعمارية ذات تأثير مهم على التصميم و تشكل عامل أساسي في تحديد شكل المبنى و أبعاده و حتى المواد الملائمة له .

و كغيرها من المباني المعمارية انتشرت السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة كمغلف لوظائف معمارية معينة و محددة ، لأن خواصها ومميزاتها تناسب وظائف معينة أكثر عن غيرها ، فنجد أن المباني الثقافية والرياضية قد نالت الحصة الأكبر من هذه التصاميم، إضافة إلى بعض مباني ووسائل النقل كالمطارات ومحطات القطارات، من جهة أخرى لا نجد تصاميم مماثلة للأبنية السكنية والتعليمية كون هذا النوع من الوظائف يتطلب فراغات ذات مواصفات معينة لا يمكن تأمينها باستخدام السطوح غير المنتظمة وسنستعرض في نهاية الفصل دراسة لوظائف بعض المباني العالمية جدول (03) و يتلخص تأثير الوظيفة المعمارية على السطوح غير المنتظمة في ثلاث نواحي أساسية:

2-1-1- المجازات الواسعة

تتميز السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة بإمكانية تغطيتها لمجازات واسعة ، وذلك بسبب خصائصها الإنشائية التي سنراها في فقرات لاحقة ، حيث إن عملها بالفعل الغشائي أو بالهيكل الشبكي يقلل من عزوم الانعطاف ، كما إن خفة المواد والعناصر المستعملة فيها تؤمن مجازات كبيرة وفراغات داخلية حرة وواسعة ، لذلك كانت ملائمة للمباني الثقافية والرياضية التي تحتاج هكذا مجازات و فراغات .

2-1-2- المواد المستعملة

تُستخدم المواد المستعملة بشكل عام في السطوح ذات الأشكال الحرة هي الزجاج ، و المعدن ، و البيتون ، إضافة إلى بعض المواد الصناعية كالمواد البلاستيكية ، ولكل من هذه المواد خصائصها التي تؤثر على المبنى داخلياً وخارجياً ، وبكل تأكيد هذه المواد لايناسب استخدامها كل أنواع الوظائف المعمارية ، حيث تتطلب المباني التعليمية والسكنية ،على سبيل المثال اكساءات معينة للفراغات الداخلية لا يمكن تطبيقها على السطوح غير المنتظمة كما أن متطلبات الإضاءة لمباني المتاحف ، والصالات الرياضية تفرض استخدام مادة معينة أكثر من غيرها .

2-1-3- الفراغات الداخلية

تعطي السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة تنوعاً كبيراً في الفراغات الداخلية ينتج عنها عدم انتظام في هيئة الجدران و زوايا غير النظامية، إضافة إلى فراغات داخلية حرة بدون أعمدة أو فواصل كما تعطي تفاوتاً في الارتفاعات وأحياناً نسباً غير متوازنة في أبعاد الفراغ الداخلي ، فقد يكون الارتفاع في أحد الفراغات ، يشكل عدة أضعافاً من طول أو عرض هذا الفراغ، وإضافة إلى موضوع الحجم تضفي السطوح غير المنتظمة انطباعات ضوئية متنوعة بين تفاوت الظل والنور والإغلاق التام، أو الشفافية المطلقة مولدة أجواء داخلية مميزة تُعتبر جزءاً هاماً من التصميم. كل هذه التأثيرات الفراغية والحجمية السابقة لا تناسب مع كافة الوظائف المعمارية، وخاصة الوظائف التي تتطلب أشكالاً خاصة للفراغ الداخلي ،حيث يجب تحقيق توازن بين متطلبات الفراغ الداخلي وظيفياً وشكله .

يقع على عاتق المعماري مسؤولية اختيار التصاميم التي تلائم الوظائف المطلوبة من المبنى المراد تصميمه بما يحقق المتطلبات الوظيفية لهذا المبنى من ناحية الفراغات الداخلية والخارجية ومواد الإكساء المستعملة ، وكل ذلك دون أن يلغي التصميم الحل الوظيفي المطلوب ، و أن يفسد الحل الوظيفي جمال التصميم فتحقيق التوازن بين الموضوعين هام جداً لنجاح التصميم .

2-2- تأثير النواحي الجمالية على تنفيذ السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة :

يُعتبر تحقيق المتطلبات الجمالية للمبنى من أهم النواحي المراد مراعاتها أثناء عملية التصميم وخصوصاً بالنسبة للسطوح غير المنتظمة التي تشكل مباني رمزية، وتعد تطبيقاً لتصميمات مميزة لذلك لا بد من دراسة تأثير النواحي الجمالية على هذا التصميم بشكل معمق وواسع.

2-2-1- الشكل الانسيابي المطلوب للسطوح غير المنتظمة

تتميز تطبيقات السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة في العمارة بكونها مباني ذات أحجام و أبعاد كبيرة نسبياً ، لذلك سيكون من الصعب إن لم يكن مستحيلًا تنفيذها كقطعة واحدة ، لذلك لا بد من تقسيمها إلى أجزاء أصغر قابلة للتنفيذ¹ ، وقد يكون في بعض الأحيان عدد هذه الأجزاء كبيراً ، لذلك تشكل علاقة هذه الأجزاء ببعضها نقطة حرجة قد تسبب نجاح أو فشل التصميم.

¹ Eigensatz M./ Kilian M./ Schiffner A./ Mitra , N./Pottmann H. and Pauly M. , Paneling Architectural Freeform Surfaces (p-1)

يُعتبر من أهم مراحل تصميم وتنفيذ السطوح غير المنتظمة تقسيم السطح إلى أجزاء ، و الهدف الأساسي منها الحفاظ على الانسيابية و عدم تشويه هيئتها المميزة .
إن أي سطح يمكن أن يقسم لأجزاء بعدد غير منتهى من الطرق ، و لابد للمعماري المصمم اختيار هذه التقسيمات بعناية في مرحلة التصميم، و ذلك بمساعدة تقنيات رقمية كما سنرى في فصول لاحقة لتحقيق الأهداف الجمالية المطلوبة.

2-2-2- مفهوم السطح متعدد الوجوه (الميش) (Polygonal Meshes) و دوره في تنفيذ السطوح غير المنتظمة :

لفهم عملية تقسيم السطوح إلى أجزاء بالشكل المطلوب لابد من التعرف على مفهوم الـ Mesh واسقاطاته في الهندسة المعمارية .

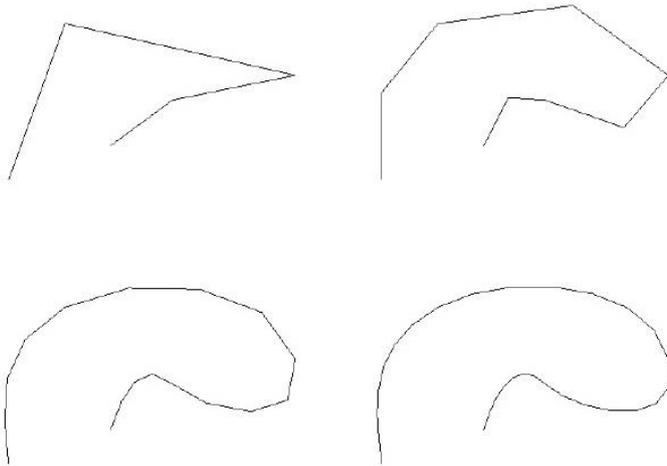
2-2-2-1- لمحة عن مفهوم الميش Mesh متعدد الوجوه في العمارة

- **تعريف الميش :** و تسمى أيضا بمتعدد الوجوه الشبكي و هو يتألف من ثلاث عناصر رئيسية هي القمم (Vertices) و الأضلاع (Edges) و الوجوه (Faces) و يتحدد شكل الميشو خواصها الهندسية من خلال توضع هذه العناصر و استمراريتها و علاقتها مع بعضها ¹ .
إن الوجوه لا تكون بالضرورة مستوية فيمكن أن تكون منحنية ، لكن عندما تكون مثلثية فإنها تكون مستوية بالضرورة و تتميز الميش بكون النتيجة النهائية للسطح لا تكون بالضرورة ناعمة كالسطح الأساسي ، و ذلك بسبب عدم استمرار المماسات بين الوجوه و وجود زوايا انحراف بين هذه المماسات .
إن معظم المجسمات ثلاثية الأبعاد المستعملة في الألعاب والأفلام الحاسوبية هي عبارة عن سطوح متعددة الوجوه Mesh ، و قد طبقت نفس مبادئها على الاسطح الهندسية .

المبدأ الأساسي لتحويل أي سطح إلى ميش هو وضع نقاط على السطح ، و الوصل فيما بينها بواسطة أضلاع ، و بتعبير آخر تقرب الأشكال المنحنية إلى أضلاع مستقيمة ، و يزداد الشكل تحسناً كلما كانت عدد الأضلاع المستقيمة أكبر .

الفكرة تكمن في أن أي خط منحنى يتكون من مجموعة من الأجزاء المستقيمة الشكل (032).

الـ Mesh ذات الوجوه المثلثية كانت أولى تطبيقات الميش التي استخدمت بكثرة في العمارة كون الأشكال الأخرى لا يمكن أن يتم جعلها مستوية بسهولة ، و قد بدأ التفكير باستخدام الانشاء الشبكي منذ ستينات و سبعينات القرن الماضي .



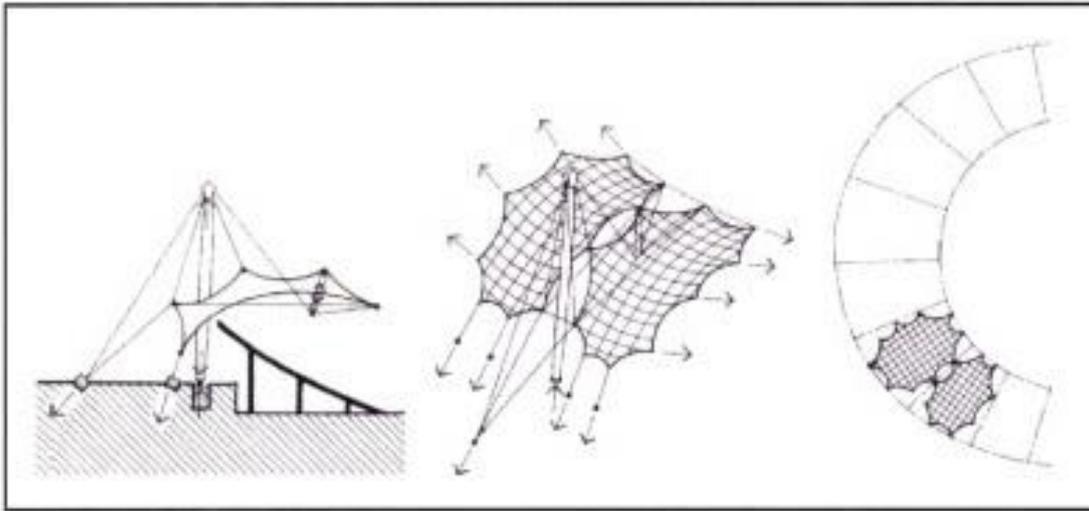
الشكل (032): تبسيط خط منحنى لأضلاع مستقيمة بدرجات نعومة مختلفة (المصدر 5-49)

¹ Thomas Funkhouser , Polygonal Meshes (p3-4)



و يعتبر ستاد ميونخ الأولمبي عام 1972 للمعماري " فري التو " Frie Olto. الصورة (02) من مرحلة بدايات استخدام مفهوم متعدد الوجوه في تغطية الفراغات الكبيرة حيث تتألف تغطيته شبكة من الكبلات التي تحمل ألواح أكريليك أبعادها 2.9X2.9 متر تجمع مع بعضها بواسطة وصلات نيوبرين ليتم ربطا بشكل مرن مع الكابلات الشكل (033)

الصورة (02):تغطية ستاد ميونخ الأولمبي (المصدر 14-33)



الشكل (033):تغطية ستاد ميونخ الأولمبي (المصدر 14-33)

- كلما كان عدد الوجوه أكبر كلما حصلنا على أشكال حرة أكثر في التصميم و انسيابية أكثر ، ولكن قد يكون هذا الأمر مولداً لأعباء أخرى تنفيذية ومادية.

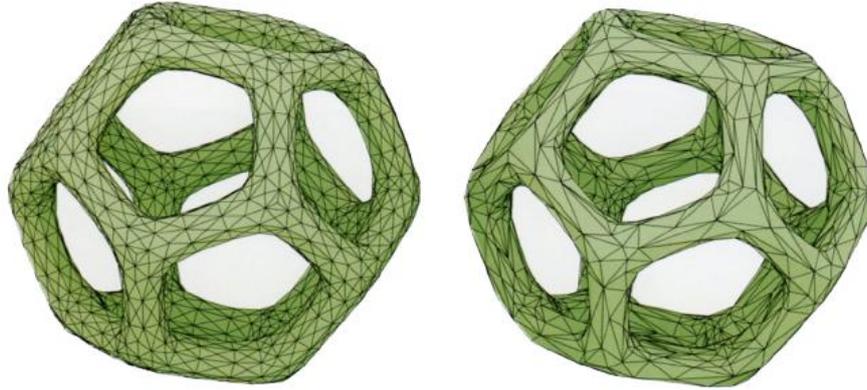
2-2-2-2- الشكل الهندسي للميش والاتصال بين الوجوه

(The Mesh Geometric Shape and The Faces connectivity)

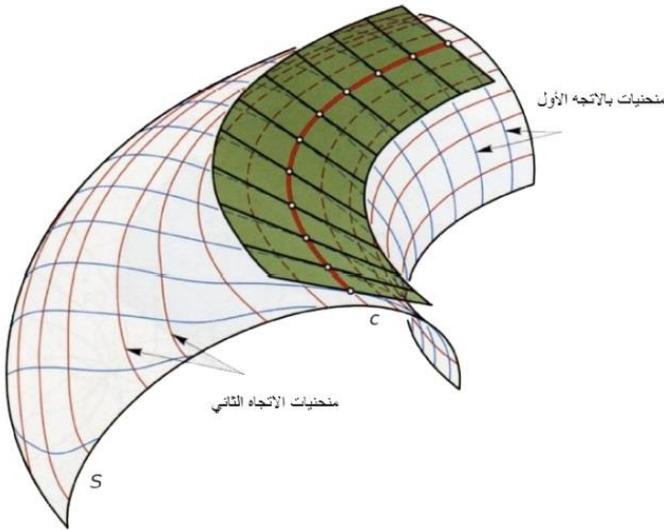
من أهم المواضيع التي يجب أخذها بعين الاعتبار عند التعامل مع تطبيقات الـ Mesh في الهندسة والعمارة موضوع اتصال الوجوه ، وطريقة توزيعها بجوار بعضها لتشكيل الهيئة العامة للسطح ،

¹ Fang R. , The Design and construction of Fabric Structure(p-14)

فيجب أن تدرس طريقة تجميع الوجوه مع بعضها بشكل يحقق الانسيابية المطلوبة، فحتى لو كان عدد الوجوه كبيراً وأبعادها صغيرة ، لكنها متجاورة بشكل سيء وبانحراف كبير في المماسات، فإن الشكل النهائي يكون مشوهاً فعلى المصمم أن يحدد الأضلاع والحواف بشكل مدروس ليجعل المماسات مناسبة ، مما يحقق أفضل استمرارية وانسيابية ممكنة الشكل (034) يُظهر كيف أن الشكلين متطابقين ، لكن طريقة اتصال الوجوه مختلفة بينها أحدهما أكثر جمالاً بصرياً من الآخر. كون الـ Mesh المكونة له أكثر توازناً ، لكن هناك موضوع آخر يجب مراعاته عند دراسة اتصال الوجوه مع بعضها هو تجنب ما يدعى بنقاط اتصال T عندما يلتقي ضلعان وجهان مع ضلع واحد لوجه آخر وهو أمر غير محبذ.



الشكل (034): ميش مثلثية لها نفس الشكل العام لكن بطرق اتصال مختلفة بين الوجوه (المصدر 20-5)



الشكل (035): تبسيط الميش إلى متعدد وجوه باستخدام خطوط الانحناء الرئيسية (المصدر 20-680)

و فيما يتعلق باختيار الشكل الهندسي للوجوه ، يمكن أن يتم اختيار الوجوه بحيث تكون عبارة عن أجزاء ذات طبيعة وهندسة مختلفة عن بعضها منها أجزاء مستوية و أخرى أجزاء أسطوانية او الكرات ، المخاريط ، سطوح قابلة للفرد، وأجزاء حرة الشكل و كل منها يؤثر على جمالية الشكل و الميش بنسب مختلفة ، ومن أفضل الطرق في تصنيع الميش تضليع للميش ، والذي يحقق أفضل شكل هندسي و استمرار للوجوه هو التضليع الناتج عن خطوط الانحناء الرئيسية ، وتسمى هذه الشبكة بالشبكة المتعامدة Orthogonal Curve Network ،

وهي منحنيات باتجاهات مختلفة تتقاطع بشكل متعامد وكل سطح S يملك هذه الشبكة عليه ، وهي تسمى بشبكة خطوط الانحناء الرئيسية الشكل (035) ، وهي تعكس بشكل جيد الخصائص الأساسية للشكل ، الأمر الذي يكون ملائماً جداً من وجهة النظر الجمالية¹.

¹ Potmann H. , Architectural geometry (p-680)

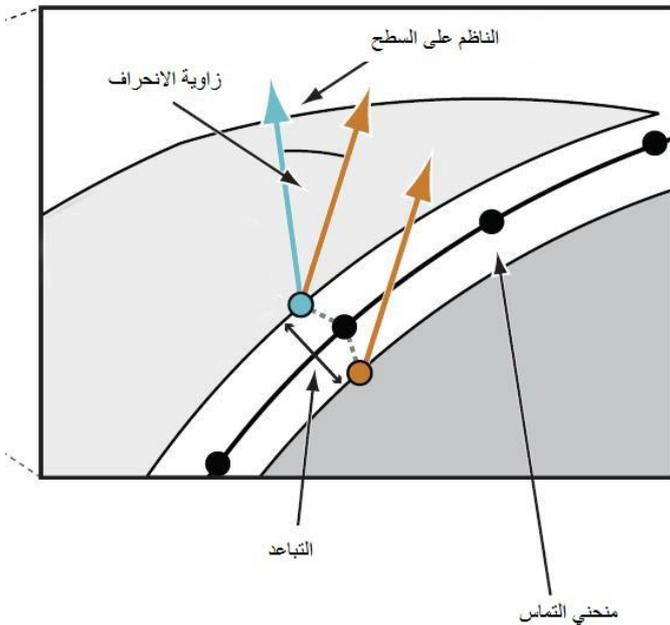
3-2-2-2- تحسين السطح

بعد تحويل أي سطح إلى متعدد وجوه يمكن تحسين الوجوه التي يتألف منها لتلائم التنفيذ أكثر مثلاً يجعل هذه السطوح أقرب ما يكون للمستوية ، وتقريب وجوه الميش إلى التصنيفات الأساسية للسطوح بما يسهل عملية التنفيذ في وقت لاحق.

ويجب ان يكون الاستواء محققاً على الأقل بتسامح يسمح باستعمال ألواح زجاجية مستوية لكن يجب الانتباه إلى أنه لا يمكن الحصول على ميش ذات سطوح مستوية ، مع الحفاظ على المتطلبات الجمالية، لذلك لابد من تحقيق التوازن الذي يؤدي إلى أفضل نتيجة.

4-2-2-2- متعدد الوجوه غير الملائم Bad Mesh

إن تصنيف متعدد الوجوه الـ Mesh الناتج عن عملية التبسيط و معرفة ما إذا كان جيداً أو سيئاً يعتمد على الناحية الجمالية بشكل أساسي ، لكن هناك شيء آخر يجب أخذه بعين الاعتبار وهو إمكانية وقابلية تنفيذ هذا السطح ، والتي تتعلق بأشكال الوجوه التي تتألف منها الميش ، ومدى إمكانية تنفيذها بالمواد المتاحة والأبعاد المقترحة، فإذا كانت تحتوي على سبيل المثال مثلثات رفيعة تصبح غير مناسبة للنواحي التنفيذية ، لأنه يوجد فيها على الأقل زاوية صغيرة جداً يصعب دراستها و قصها ، فبالرغم من كون الميش تحقق النواحي الجمالية بصرياً ، إلا أن احتوائها على مثل هذه الوجوه يجعلها سيئة . هناك مشكلة أخرى يمكن مواجهتها هي وجود الثغرات والفراغات Holes ، وهذه المشكلة تميل للحدوث عند أماكن تقاطعات السطوح مع بعضها، أو تنتج عند تحويل السطوح إلى سطوح مستوية بطرق غير مدروسة ، وهو موضوع يخلق مشاكل تنفيذية و صعوبات في الدراسة الإنشائية¹.



3-2-2- تصنيف السطوح غير

المنتظمة متعددة الوجوه :

كما ذكرنا في فصول سابقة يتعذر تنفيذ السطوح غير المنتظمة بحجمها الكلي كقطعة واحدة في المباني المعمارية نظراً لحجومها وأبعادها الكبيرة، وأنه لابد من من تجزئتها إلى أجزاء أصغر بمقاييس مقبولة قابلة للتنفيذ بحسب المواد المستعملة ، وبالرغم من الاحتمالات العديدة التي يمكن تجزئة السطوح إليها توجد تقسيمات شائعة لمتعدد الوجوه يتم استعمالها بكثرة و غالباً²

الشكل (036): الاستمرارية بين الألواح و زاوية الانحراف بين الألواح (المصدر 3-35)

¹ Potmann H. , Architectural geometry (p-393)

² Eigensatz M./ Kilian M./ Schiffner A./ Mitra , N./Pottmann H. and Pauly M. , Paneling Architectural Freeform Surfaces (p-1)

ما يتم تبسيط السطح إليها كونها تحقق النواحي الجمالية بدرجات مقبولة ، إضافة إلى إمكانية تنفيذ معقولة نسبياً، وسنستعرض في الفقرة التالية أهم التصنيفات التي تتعلق بتوضع الوجوه ، وارتباطها مع بعضها ، واستمرارية المماس بين وجهين متجاورين، حيث زاوية الانحراف Kink angle تحدد انحراف الشعاع الناظم بين الألواح الشكل (036) ،

يؤثر هذا التصنيف على الشكل المطلوب الوصول إليه ، والمواد المستعملة التي قد تكون شفافة أو غير شفافة تتضمن الزجاج والبيتون المقوى بألياف زجاجية والجبصين ، وأنواع عديدة من المعدن وكذلك الخشب¹ ، والتي سنتعرف عليها في فقرات لاحقة .

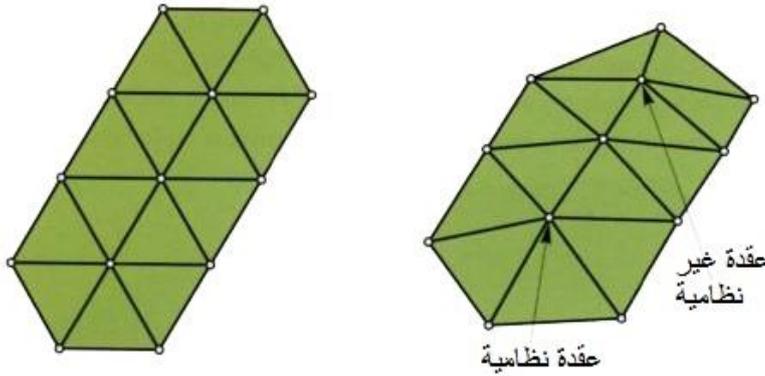
تُصنف السطوح متعددة الوجوه بحسب استمرارية السطح إلى ثلاث فئات أساسية هي :

- السطوح المنفصلة.
- السطوح نصف المنفصلة .
- السطوح المستمرة .

2-3-1- السطوح المنفصلة

تُعتبر السطوح متعددة الوجوه المنفصلة من أكثر السطوح المنتشرة في العمارة ، وبشكل عام يستعمل لتنفيذها الألواح المستوية كون الانحناء فيها لا يحسن النواحي الجمالية ، لأن الألواح غير مستمرة بالاتجاهين، و بالرغم من كون مظهرها مكسراً قد لا يلبي النواحي الجمالية بشكل ممتاز لكن سهولة تنفيذها نسبياً، وإمكانات تصنيعها ، أدت إلى انتشارها بشكل واسع²، إضافة إلى أنها و بالنسبة للمقاييس الكبيرة التي تغطيها تؤمن جمالية مقبولة نسبياً فتنفيذها على شكل بنى معدنية زجاجية Steel-glass تحدد بشكل مباشر الشكل الجمالي للمبنى ككل ويكون الشكل المنفصل جمالياً بحد ذاته³ .

إن التحديات الأساسية التي تواجه المعماري عند تصميم هذه البنى هي الشكل الجمالي للأضلاع وإعطاء انسيابية مقبولة ، إن استواء الوجوه أمر يصعب تحقيقه في بعض الأحيان والعقد التي تجمع العناصر الداعمة أهم الأشكال انتشاراً للسطوح المنفصلة:



الشكل (037): الجزء الأيمن ميش مثلثية تحوي قمم غير نظامية الجزء الأيسر ميش مثلثية كل قممها نظامية (المصدر 20-388)

- السطوح ذات الألواح المثلثية

من أقدم التقنيات في عملية تحويل السطح لوجوه (التحويل لألواح) استعمالاً وانتشاراً كانت الألواح المثلثية ، فهي تتكون من وجوه على شكل مثلثات تجتمع كل ستة منها في عقدة واحدة نظامية و قد يجتمع في بعض الأحيان عدد أقل من الوجوه المثلثية مشكلة عقدة غير نظامية الشكل (037).

¹ Eigensatz M./ Kilian M./ Schiffner A./ Mitra , N./Pottmann H. and Pauly M. , Paneling Architectural Freeform Surfaces (p-3)

² Pottmann H./ Brell-Cokcan S. and Wallner J., Discrete Surfaces for Architectural Design(p1-5)

³ Schober H., Glass Roofs and glass Facades (p-5)

قد تسبب بعض المشاكل في التنفيذ لكن في بعض الأحيان لا يمكن تجنبها ، إن إعادة تصميم هذه الميش بوجوه أكبر يؤثر على النواحي الجمالية ويقلل التكاليف

هناك عدة نقاط تتميز بها الألواح المثلثية وتجعل استخدامها عملياً :

- الألواح المثلثية ملائمة جداً للأشكال المعمارية ، كون وجوهها مستوية دوماً ، فأى سطح يمر من ثلاث نقاط هو سطح مستوي ، الأمر الذي يسهل من عملية التنفيذ.
- الميшат المثلثية سهلة التعامل من جهة التعبير عن أي سطح S بدقة مطلوبة ، وحتى المقيدات الجمالية ليست صعبة المنال فتكون عملية التحويل الوجوه أسهل و تحقق مقاربة جيدة للشكل ، حيث يمكن بكل بساطة توزيع شبكة نقاط على السطح ووصل كل ثلاثة منها بأضلاع للحصول على المثلثات المطلوبة .
- كون الشكل المثلث أكثر شكل هندسي مستقر إنشائياً، تحقق السطوح متعددة الوجوه المثلثية استقرار بعناصر حاملة أصغر ،¹ وبالتالي جمال أكبر الشكل (038).



الشكل(038):سطح مجزء إلى وجوه مثلثية (المصدر 55-240)

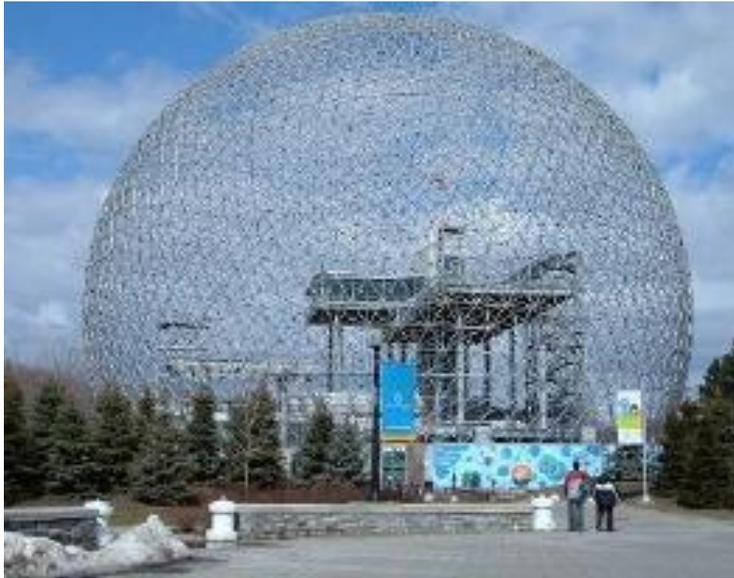
و من جهة أخرى هنالك عدة عوامل تجعل من الوجوه المثلثية أقل عملية :

- نحتاج عدد من المثلثات يساوي ضعف عدد الرباعيات اللازمة لتمثيل نفس الشكل ، لذلك تُعد أقل كفاءة من الناحية الاقتصادية وتولد صعوبة في القص، فقد أثبتت التجارب أن التكلفة على واحدة المساحة للميшат المثلثية أكبر من الألواح الرباعية ، والسبب في ذلك أن الأشكال الرباعية تملأ المربع المغلف لها أفضل مما تعمل الألواح المثلثية.
- تكون العقد الرابطة بين الأضلاع معقدة بالمقارنة مع الأنماط الأخرى بسبب التقاء كل ستة أضلاع في عقدة واحدة ، وهي تقلل كذلك من جمالية الشكل بسبب الثقل الذي تضيفه العقد المعقدة .

¹ Welch W. and Witkin A. Free-Form Shape Design Using Triangulated Surfaces (p-1)

- يؤدي التقاء ستة أضلاع في كل عقدة ، إلى شفافية أقل للإنشاء تؤثر على جمالية الشكل ، وتقلل الحمولات الإضافية التي يسببها كون الشكل يحوي على نسبة معدن أكبر.
- لا تعطي الميشتات المثلثية موازيات Offsets بمسافة ثابتة بين (الوجه والوجه) وبين (الضلع والضلع)، لذلك يُعد من الصعب استعمال الميشتات المثلثية في الإنشاء متعدد الطبقات Multilayer Free Form Construction¹، والذي يتطلب عمل موازيات بمسافات ثابتة¹.

و فيما يلي سنستعرض مجموعة من الأمثلة لمباني منفذة بوجوه مثلثية الشكل :



الصورة(03): القبة الجيوديزية في ديزني (المصدر 25-28)

- جناح الولايات المتحدة الأمريكية في ديزني.
يتألف تقريباً من كرة كاملة هيكلها الخارجي عبارة عن وجوه مثلثية الشكل على طبقتين مربوطة ببعضها بأقطار ، فنجد العقد يتجمع فيها مع عدد كبير من الأضلاع العناصر الحاملة هي عناصر معدنية على طبقتين الصورة (03).



الصورة (04): أوبرا غوانغزو هو Opera Guangzhou house (المصدر 66)

مبنى اوبرا غانز هو:

Guangzhou house opera للمعمارية زها حديد نجد انه تم تبسيط أجزاء من السطوح إلى شبكة مثلثية الصورة(04) ، و المبنى يقع في مقاطعة Guangdong.

وقد استعمل في الداخل تشكيلات من الجص المقوى بألياف زجاجية لتحافظ على انسيابية الشكل، والشبكة الحاملة الرئيسية مؤلفة من عناصر معدنية ملحومة تحمل ألواح مثلثية الشكل زجاجية أو حجرية الصورة (05) و(06).

¹ Schaefer S. and Singh M, Triangle Surfaces with Discrete Equivalence Classes (p-1)



الصورة(06):العناصر المعدنية Opera
Guangzhou house (المصدر 65)

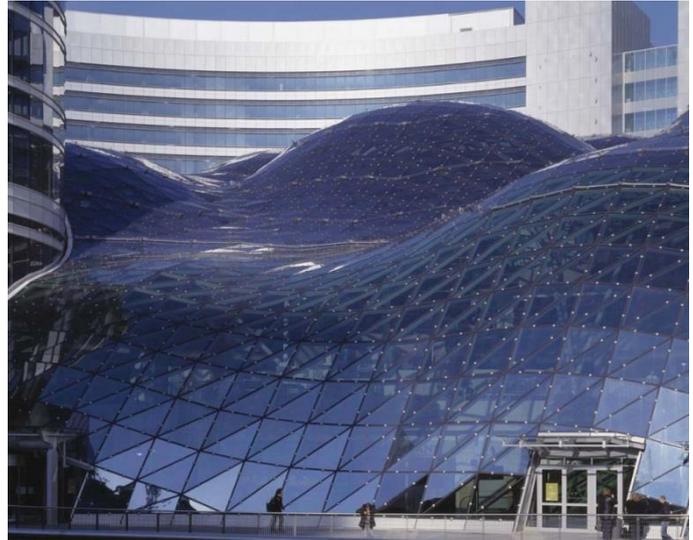


الصورة(05):الإكساء الخارجي Opera
Guangzhou house (المصدر 66)

مبنى (Zlote tarasy (Golden Terraces) في مدينة وارسو ببولندا الصورة (07). وهو يحوي محطة القطارات الرئيسية ، ومقر الثقافة وسط مدينة وارسو، تتألف من شبكة هندسية ذات عناصر معدنية متعددة مرتبطة مع بعضها و تحمل ألواح زجاجية مثلثية الشكل الصورة (08)، شكل العقد المعدنية الرابطة بين العناصر طور من العقد المستعملة في سقف باحة المتحف البريطاني.



الصورة(08):العناصر المعدنية الحاملة في
Zlote terraces (المصدر 65)



الصورة(07): مبنى Zlote tarasy (Golden terraces)
في مدينة وارسو (المصدر 65)



الصورة(09): مبنى المركز التجاري My Zeil
(المصدر 65)

مبنى المركز التجاري My Zeil في فرانكفورت بألمانيا ، وهو عبارة عن مركز تجاري صممه المعماري Rana architect و يتألف من شبكة معدنية تحمل ألواح زجاجية مثلثية الصورة (09).

مبنى متحف سيلفادور دالي Salvador Daly museum في فلوريدا بالولايات المتحدة الأمريكية
و يتألف من ألواح زجاجية مثلثية الشكل معزولة و مقساة الصورة (010)،(011)



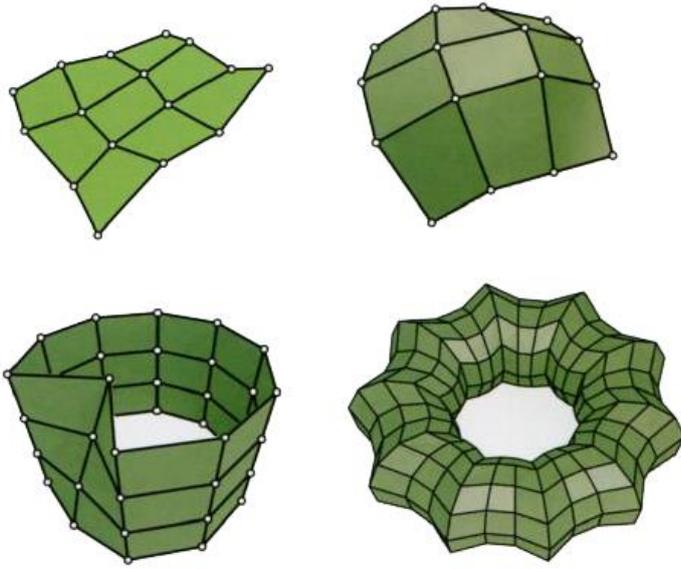
الصورة(011):العناصر المعدنية الحاملة في
متحف سيلفادور دالي (المصدر 65)

الصورة(010): مبنى متحف سيلفادور دالي Salvador
Daly museum (المصدر 65)

حالة دراسية لقبة من الزجاج مسبق الاجهاد بنيت في مدينة دوسيلدورف المانيا ،والمفقت للنظر أن
الألواح الزجاجية هي ناقل اساسي للحمولة ،يتم جمع كل 6 ألواح متجاورة بعقدة معدنية تتحمل أحمال
الشد التي قد تتعرض لها الصورة (012).



الصورة(012):القبة الزجاجية في 1998 Glasstec (المصدر 24-25)



الشكل (039): ميشات رباعية ذات قمم نظامية
(المصدر 20-387)

- السطوح ذات الألواح الرباعية تتألف من وجوه على شكل مربعات، أو مستطيلات، أو رباعيات غير منتظمة موزعة على السطح، قممها الداخلية التي لا تقع على المحيط الخارجي تلتقي فيها أربعة وجوه معاً، وبالتالي أربعة أضلاع وتسمى قمة من الدرجة الرابعة (Valence 4)، وعندما تكون الدرجة مختلفة عن 4، نكون أمام عقدة غير نظامية (irregular vertex).
قد تسبب مشاكل تنفيذية لذلك ينصح بتجنبها. يمكن الحصول على سطح رباعي متعدد الوجوه بسهولة بنقل أو تدوير مضلع على آخر، وبهذا نحصل على سطح انتقالي منفصل.
الشكل (039).

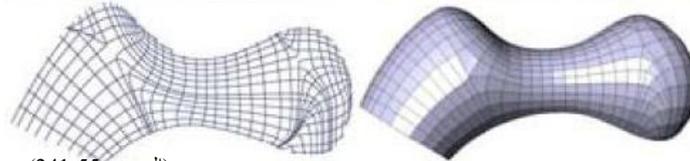
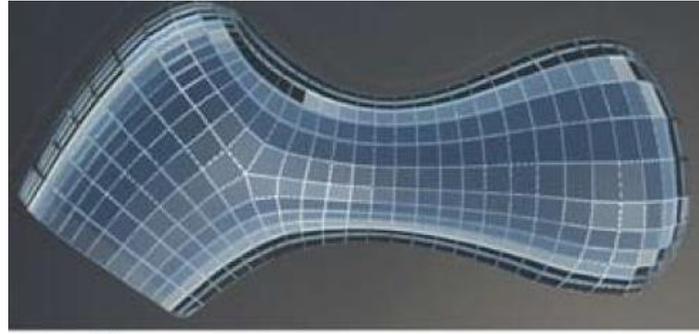
وهذه الخاصية يمكن أن تولد شبكة منحنيات Curve network تشكل أساساً في تصميم السطوح الانتقالية والدورانية، وبهذه الطريقة نستطيع تقريب سطح حر الشكل بالحفاظ على هيئته الأساسية¹. ومع أنه من الصعب جداً إيجاد أربعة نقاط عشوائية تقع في مستوى واحد، نجد أن الميشات الرباعية مستوية الوجوه PQ Meshes أكثر الأنماط انتشاراً في العالم فهي ساعدت في الحصول على توزيع أسهل وعقد أقل تعقيداً وسهولة في التنفيذ.

وإذا كنا نستعمل شبكة منحنيات الانحناء الرئيسية كشبكة مبدئية للمنحنيات، ستكون الميش الناتجة قابلة لعمل موازٍ لها بأبعاد ثابتة بين الوجوه، الأمر الذي ينتج عنه عناصر إنشائية مخروطية خالية من الفتل. الشكل (040).

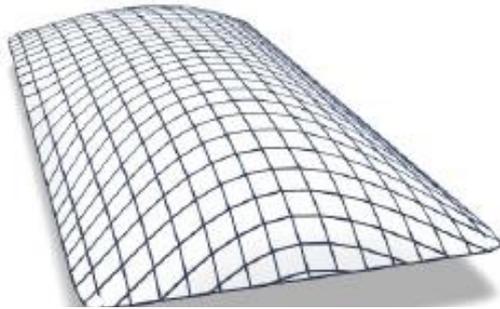
هناك عدة نقاط تميز الميشات ذات الوجوه الرباعية وتجعل استخدامها عملياً:
- تكون فيها العقد أقل تعقيداً، مما يقلل من التكاليف ويسهل إمكانية التنفيذ، ويزيد جمالية السطح الناتج.
- شفافية و انسيابية أكثر في الشكل.
- إمكانية عمل موازيات هندسية، وإذا كنا نستعمل شبكة منحنيات الانحناء الرئيسية كشبكة مبدئية للمنحنيات، ستكون الميش الناتجة قابلة لعمل موازٍ لها بأبعاد ثابتة بين الوجوه، الأمر الذي ينتج عنه عناصر إنشائية مخروطية خالية من الفتل.
و من جهة أخرى هناك عدة عوامل تجعل من استعمال الوجوه الرباعية أقل عملية.

¹ Potmann H. , Architectural geometry (p-387)

- إن الرباعيات المشكّلة للـ Mesh الرباعي بشكل عام غير مستوية (بالرغم من أن هذه الخاصة مهمة جداً في التطبيقات المعمارية، لذلك قد تتطلب بعض المعالجات الإضافية.
- صعوبة التبسيط لأنه من الصعب إيجاد أربعة نقاط عشوائية تقع في مستوي واحد ، فإنه من الصعب تطبيقها على سطح اعتباطي .
- الشكل الرباعي غير مستقر إنشائياً ، لذلك قد يتطلب الموضوع دراسات إضافية و عناصر مضافة تؤثر على الشكل.

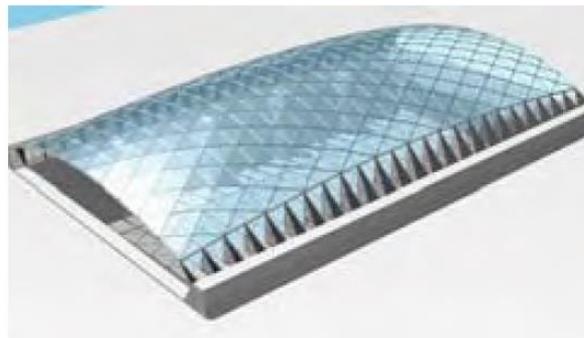


الشكل (040): سطح مجزء إلى وجوه رباعية (المصدر 55-241)



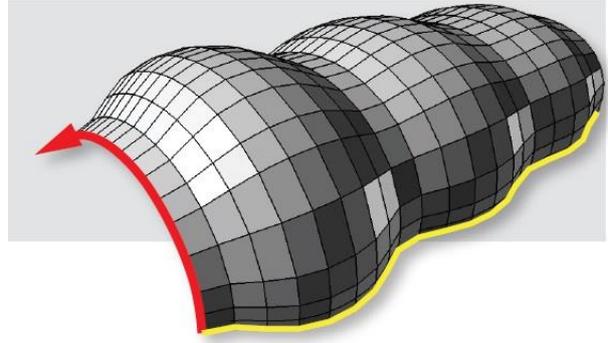
الشكل (041): تبسيط السطح الزجاجي لمحطة Neumunster (المصدر 53-8)

و فيما يلي سنستعرض مجموعة من الأمثلة لمباني منفذة بوجوه رباعية :
السقف الزجاجي في محطة مترو نومستر ابيي الشكل (041) Neumunster Abbey في اللوكسامبورغ Luxembourg حيث استعمل ألواح مثلثية ، ورباعية ، والعناصر الحاملة مؤلفة من مجموعة من الأقواس الدائرية بأقطار مختلفة الصورة (013).



الصورة (013): محطة مترو Neumunster Abbey (المصدر 21-41)

مبنى Sage للمعماري نورمان فوستر Norman Foster في المملكة المتحدة ، حيث تم تبسيط السطح المنحني إلى وجوه رباعية مستوية ، وتم الحصول عليها من خلال الخطوط المولدة للسطح الصورة (014).



الصورة (014): مبنى Sage (المصدر 115-21)



الصورة (015): مبنى فندق ياس مارينا (المصدر 65)

فندق ياس مارينا Yas Marina Hotel في جزيرة ياس أبوظبي الامارات العربية المتحدة الصورة (015) ، وهو يتألف من شبكة معدنية تحمل ألواح زجاجية رباعية ماسية الشكل ، وتشكل القشرة الخارجية المغلقة للمجمع الملحق بحلبة الفورمولا ون الصورة (016) و (017).



الصورة (017): العناصر المعدنية الحاملة في فندق ياس (المصدر 65)



الصورة (016): الفراغ الداخلي في فندق ياس (المصدر 65)



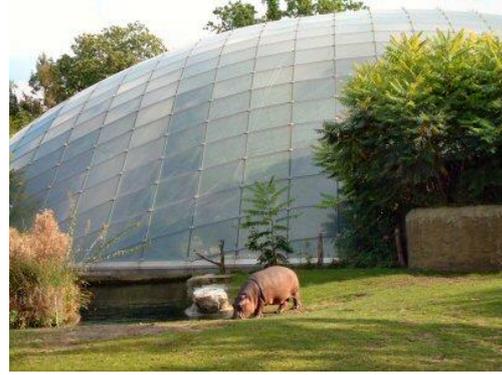
الصورة (018): مبنى The Opus (المصدر 66)

مبنى The Opus للمعمارية زها حديد في مدينة دبي الامارات العربية المتحدة ، وهو مبنى متعدد الوظائف يتألف من فندق ، وعدد من الشقق الفندقية ، ومكاتب جزئه الوسطي عبارة عن سطح عشوائي مكسي بألواح زجاجية رباعية الشكل الصورة (018).

مبنى منزل وحيد القرن The House of hippopotamus في حديقة الحيوان في برلين الصورة (019) ، وهو مؤلف من عناصر معدنية تحمل ألواح رباعية الشكل بينها روابط قطرية لضمان الاستقرار الإنشائي الصورة (020) .



الصورة (020):العناصر المعدنية الحاملة في مبنى The House of hippopotamus (المصدر 65)

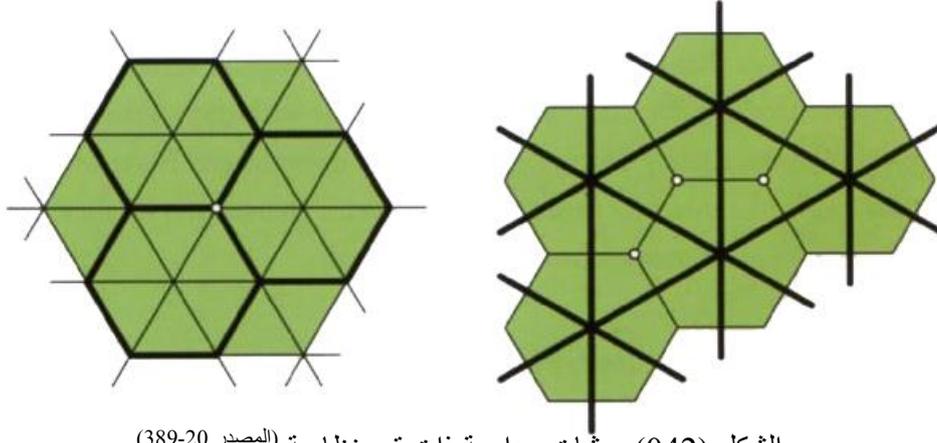


الصورة (019):مبنى The House of hippopotamus (المصدر 65)

- السطوح ذات الألواح السداسية

- و تكون فيها الوجوه على شكل مسدسات منتظمة أو غير منتظمة ، وبكل تأكيد كل ثلاث مسدسات أو وجوه تجتمع في قمة واحدة .
- اذا تكون فيها قمم من الدرجة الثالثة حيث تلتقي فيها ثلاثة أضلاع و بسبب بساطة هذه العقد يكون تصميمها و دراستها و تنفيذها أبسط و نظرا لكون السطح المار من ست نقاط ليس بالضرورة مستويا يمكن أن لا تكون مستوية لكن الوجوه المستوية هي الشائعة الشكل (042).
- أهم النقاط التي تتميز بها السطوح ذات الوجوه المسدسة و تجعل استخدامها عملياً :
- الشفافية التي تؤمنها بسبب قلة نسبة الحديد بالنسبة للزجاج ، مما يمنح التصميم خفة أكبر.
- العقد البسيطة لكونها تجمع فقط ثلاث أضلاع.
- خفة الوزن التي تساعد على تغطية مجازات أكبر¹.

¹ Wang W./ Liu Y./ Yan D./ Chan B./ Ling R. and Sun F., Hexagonal Meshes with Planar Faces (p-1)



الشكل (042): ميثيات سداسية ذات قمم نظامية (المصدر 20-389)

و من جهة أخرى هنالك عدة عوامل تجعل استعمال الوجوه السداسية أقل عملية.
 - الأوجه في الغالب غير مستوية تتطلب معالجات إضافية للحصول على وجوه مستوية.
 - الصعوبة في التحويل لوجوه ، حيث لا يمكن الاعتماد على الخطوط الأساسية ، أو الخطوط المولدة للسطح لاستخراج الوجوه .



الصورة (021): قباب مشروع Eden (المصدر 25-21)



الصورة (022): الوحدات عشارية الوجه التي تتألف منها مبنى قباب عدن (المصدر 25-22)

من الأمثلة لمباني منفذة بوجوه سداسية مبنى حدائق عدن Eden في انكلترا المملكة المتحدة الصورة (021).

يتألف من قباب جيوديزية عملاقة مبنية على هياكل معدنية مملوءة برفاقات ETFE على شكل سادات هوائية ، وكون الوجوه المليئة بالهواء لا تلعب أي دور إنشائي فإنه من الصعب أن يستقر المبنى بطبقة واحدة ، لذلك أضيفت طبقة ثانية من العناصر الإنشائية وجمع الطبقتين، مما أدى لتشكيل وحدات إثني عشرية الوجوه و وحدات ذات عشرين وجه ، حققت الصلابة الإنشائية المطلوبة .

الابعاد الكبيرة لوجوه هذا المبنى جعلت من المستحيل تنفيذه بالزجاج فاستعملت مواد خفيفة للحفاظ على الشفافية المطلوبة الصورة (022).

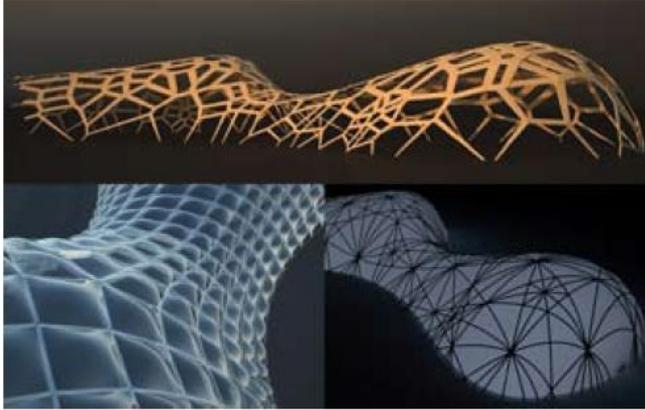
جناح KREOD في لندن الذي صممه المعماري Chun Qirgli ، ويتألف من عناصر خشبية على شكل مسدسات منتظمة الصورة (023) و (024).



الصورة(024):العناصر الخشبية الحاملة في جناح KREOD في لندن (المصدر 65)



الصورة(023): جناح KREOD في لندن (المصدر 65)



الشكل (043):تبسيط السطوح بأشكال مختلفة (المصدر 55-242)

- السطوح ذات ألواح بأشكال أخرى

ليس بالضرورة أن تنحصر تقسيمات السطوح المنفصلة بالأشكال السابقة ، ومن الممكن أن تكون التقسيمات بأشكال أخرى ، ونقشات مختلفة لكنها أقل شيوعاً لصعوبتها ، وكونها مكلفة أكثر فكل منها يشكل حالة خاصة تدرس انشائياً بشكل مستقل، وتحتاج طرق خاصة للتصنيع لتحقيق النواحي الجمالية المطلوبة منها الشكل (043).

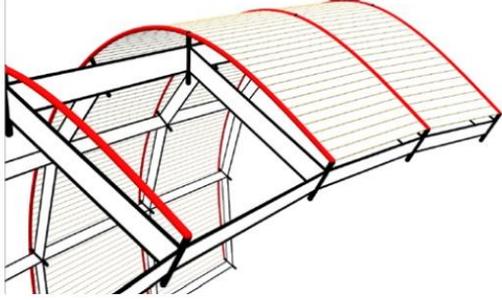
من الأمثلة على المباني المنفذة بألواح ذات أشكال دائرية ، مبنى المركز التجاري في برمنغهام في بريطانيا الصورة (025) ، فالسطح الخارجي ذو هيئة منحنية مثبت عليه ألواح معدنية دائرية الشكل تعطي انطباعاً مميزاً و خاصة مع الاضاءة.



الصورة (025): الواجهات الخارجية لمبنى المركز التجاري في برمنغهام (المصدر دكتور غسان عيود)

2-3-2-2- السطوح نصف المنفصلة

يكون استعمال السطوح المنفصلة في بعض الأحيان غير ملائماً للنواحي الجمالية ، ولتحقيق التصميم المطلوب ، كونها تسبب انقطاعاً في انسيابية الشكل ، لذلك يكون من الممكن استعمال السطوح نصف المنفصلة للتقليل من هذا الانقطاع ، وإعطاء مقاربة أفضل للسطح .



الشكل (044): ألواح منحنية باتجاه واحد مثبتة على هيكل حامل منفصل (المصدر 3-46)

- لقد أتاحت تقدم التقنيات الحديثة إمكانية تصنيع أجزاء منحنية من مواد مختلفة ، ولكن بالنسبة لمعظم المواد المستخدمة في عملية التنفيذ كالألواح الزجاجية ، الألواح الخشبية والرقائق المعدنية سيكون من المكلف جداً تصنيع أشكال منحنية بالاتجاهين ، لذلك من الممكن أن نلجأ للطريقة الأقل تكلفة بالتنفيذ باستعمال السطوح نصف المنفصلة المنحنية باتجاه واحد¹.

يمكن في بعض الأحيان أن يكون الإكساء فقط هو المنحني ، والعناصر الحاملة مؤلفة من وجوه منفصلة تثبت عليه ألواح الإكساء بطرق معينة ، وهذه الطريقة تسهل من تصنيع العناصر الحاملة لكون تشكيلها بشكل مستقيم يعد أسهل بكثير من تشكيلها بشكل منحنى الشكل (044). من أهم ميزات استعمال السطوح المنفصلة إمكانية التصنيع بدون الحاجة إلى القوالب أو المتطلبات الإضافية اللازمة لتصنيع الألواح المنحنية بالاتجاهين.

- السطوح ذات الألواح المنحنية باتجاه واحد

يكون فيها السطح مجزئاً لأجزاء منحنية باتجاه واحد على شكل قطوع وأسطوانات ، غالباً ما تكون رباعية الشكل وهذه السطوح لها ميزة مهمة جداً ، حيث أنها من الممكن بسهولة أن تشكل بصفيحة معدنية ، أو حتى بالأنواع الأخرى من الصفائح كونها قابلة للفرد على مستوي . وقد استعمل عدداً من المعماريين هذه السطوح وخاصة المعماري "فرانك غيري" . بالإضافة إلى ميزات و سيئات الشكل الهندسي للوجه، والتي استعرضناها سابقاً لها نقاط إضافية سلبية وإيجابية تتعلق بموضوع انحناء الوجه ، فمن الميزات الإضافية التي يضيفها استعمال سطح منحنى :
- الجمال و الانسيابية في الشكل و بالتالي مقاربة أجمل للشكل الأصلي .
- سهولة حني الألواح نسبياً بالطرق التقليدية.

لكن موضوع كلفتها العالية مقارنة مع السطوح المنفصلة وعدم إمكانية استعمال أنواع محددة من المواد ، فليست كل المواد قابلة للحني وعملية حني بعضها الآخر مكلف، كل هذه الأمور ستجعل استعمال الألواح المنحنية باتجاه واحد غير عملي في بعض الأحيان .

ومن الأمثلة على هذه المباني : Avignon TGV station

¹ Pottmann H./ Schiffner A./ Bo P./ Schmiedhofer H./Wang, W./ Baldassini N. and Wallner J., Freeform Surfaces from Single Curved Panels (p-1)

مبنى محطة القطارات السريعة في أفينيون فرنسا، والشكل عبارة عن سطح منحنى مبسط الوجوه مؤلفة من ألواح زجاجية وعناصر حاملة ، والنتيجة كانت ألواح مستطيلة الشكل، ونسبتها بين الطول والعرض كبيرة ، وقد تم حنيها على البارد أثناء عملية التركيب نظراً للانحناء الخفيف المطلوب لتشكل السطح المطلوب كون نسبة طولها لعرضها كبيرة الصورة (026).



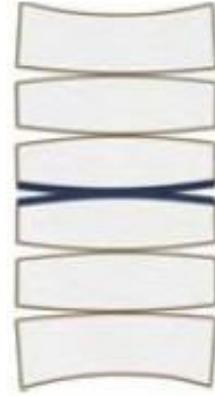
الصورة (026):محطة القطارات السريعة أفينيون (المصدر 21-42)

مبنى محطة القطارات السريعة في ستراسبورغ فرنسا Strasburg TGV station الصورة (027) وهو عبارة عن سقف زجاجي جديد يغلف واجهة المحطة الاصلية ، ويتألف السطح من مجموعة من الألواح المنحنية ، بشكل متتابع لتعطي سطحاً ناعماً أسطواني الشكل . سماكة الزجاج المستعمل تم دراسته بحيث يكون مناسباً لكل من عملية الحني ، ولتحافظ على الصلابة الإنشائية المطلوبة، وقد تم حني الألواح قبل التقسية .



الصورة (027):محطة القطارات السريعة ستراسبورغ (المصدر 21-43)

يمكن أن تكون الألواح المنحنية باتجاه واحد خشبية ، لكن بسماكات تساعد على حني الخشب ، أو يمكن أن يشكل الخشب بواسطة شرائح رقيقة تثبت فوق بعضها البعض بواسطة الغراء لتعطي الانحناء المطلوب، و كمثل عليها الشرائح الخشبية المستعملة في الفراغ الداخلي لصالة المسارح في ديزني الشكل (045).



الشكل (045): اليمين تفريد الألواح على مستوي - الوسط تجميع الألواح مع بعضها - اليسار أثناء تصنيع الألواح لصالة المسارح في ديزني (المصدر 7-45)

- السطوح المؤلفة من شرائح قابلة للفرد

تُعد فكرة تبسيط أي سطح منحنى لشرائح قابلة للفرد من أكثر الأفكار شيوعاً ، وتطبيقاتها منتشرة بشكل واسع خاصة في صناعة السفن والطائرات ، حيث انتشرت كذلك في مجالات أخرى كالهندسة بهدف تغليف المباني المنحنية ، ومن أهم المواد المستعملة الشرائح المعدنية أو الخشبية ، حيث يمكن الحصول عليها من خلال الوصل بين خطين متجاورين لمجموعة من الخطوط المعيارية على السطح . و بهذه الطريقة يمكن أن نفكر بتقريب أي سطح لمجموعة من الشرائح القابلة للفرد ، حيث يمكن وضع عدة منحنيات متتالية على السطح والوصل بين كل اثنتين بسطح قابل للفرد ، و لكي لا نحصل على حالات تصبح فيها السطوح المتصلة غير ناعمة ، لذلك نقترح استعمال منحنيات على السطح تكون قريبة للمنحنيات الأساسية *Principal Curvature line* ، ويكون هذا الأمر واضحاً في الحالة الخاصة التي هي عبارة عن السطوح الدورانية ، حيث أن منحنياتها الأساسية هي الدوائر والخطوط المدارية¹ . توجد مجموعة من الخطوط الجيوديزية غير المتقاطعة على أي سطح ، لأنه كما هو معلوم إن وضع الشريحة الرقيقة من مادة مرنة على سطح منحنى فإنها ستتحني بمسار جيوديزي كونها أقصر خط يصل بين نقطتين الشكل (046).

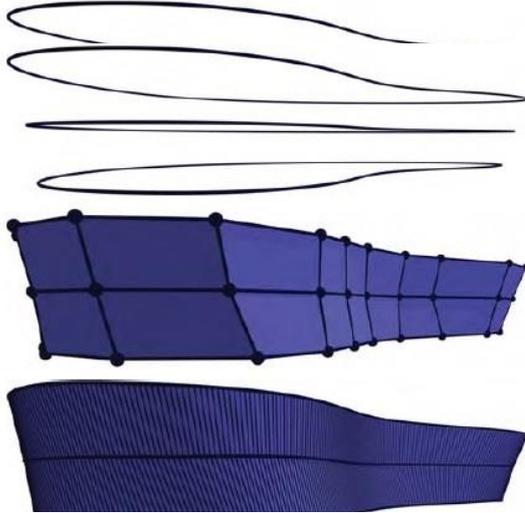
إيجابياتها : يمكن الحصول على شكل مقارب جمالياً بنسبة أكبر للشكل الأصلي .
 سلبياتها : وبالرغم من ذلك وبسبب انحناءها فإن قص الألواح من شرائح قابلة للفرد أكثر كلفة من الألواح المستوية ، لكن ليس بغلاء الألواح المنحنية باتجاهين .
 - لا يمكن تنفيذها بالزجاج ، وبالتالي لا يمكن الحصول على شفافية .
 - تحتاج لهيكل إنشائي حامل حيث لا يمكن أن تكون حاملة .
 - معالجة الوصلات بين الألواح يجب أن تدرس بشكل أفضل كي لا تخرب الشكل².

¹ Kahlert J./ Olson M. and Zhang H., Width-Bounded Geodesic Strips for Surface Tiling(p 1-2)

² Pottmann H./ Schiffner A./ Bo P./ Schmiedhofer H./Wang, W./ Baldassini N. and Wallner J., Freeform Surfaces from Single Curved Panels (p-5)



الشكل (046): تبسيط السطح لشرائح قابلة للفرد (المصدر 20-556)



الشكل (047): تبسيط مبنى Szervita Square لشرائح قابلة للفرد (المصدر 21-46)

من الأمثلة على تطبيقات الشرائح القابلة للفرد إحدى مقاربات مبنى سزيرفيتا Szervita Square الشكل (047) في بودابست للمعمارية زها حديد ، حيث أنه في إحدى الدراسات التي أجريت تم تبسيط الشكل الخارجي للمبنى لمجموعة من الشرائح التي تتماشى مع المستوي و تربط بين البلاطات الثلاث التي يتألف منها المبنى ¹.

من الأمثلة على تطبيقات الشرائح القابلة للفرد في المباني مبنى the southern cross station in Melbourne محطة التقاطع الجنوبي في ملبورن استراليا الصورة (028) ، وهو مغطى بشرائح معدنية مستقيمة يتم تشكيلها لتأخذ شكل السطح المنحني للمبنى.



الصورة (028): مبنى محطة the southern cross station (المصدر 28-7)

2-3-3-2- السطوح المستمرة الناعمة (ذات الألواح المنحنية باتجاهين)

هي عبارة عن سطوح تتألف من متعدد وجوه منحنية بالاتجاهين ، وانسيابية فيما بينها فقد أتاح تقدم التقنيات الحديثة إمكانية تصنيع الألواح المنحنية باتجاهين ، مما أتاح مجالاً تقريباً أفضل للسطوح ، إن تصنيع الألواح المنحنية يركز عادة على استعمال القوالب ، وبما أن كلفة تصنيع القالب تتجاوز كلفة اللوح نفسه يكون استعمالها غير مجدي أحياناً.

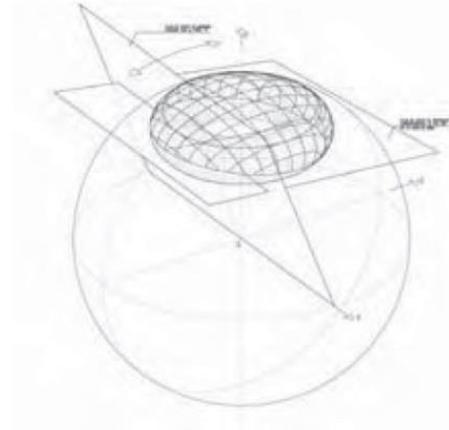
¹ Pottmann H./ Asperl A. and Hofer M. , Advances in Architectural Geometry 2008, Springer Vienna(p-46)

من أكثر الأشكال الشائعة للألواح ثلاث أنواع (المجسم المكافئ الدوراني ، الـ Tours التي مقاطعها تحوي دوائر وقطع مكافئ ، مما يسهل صناعة القالب ، و المكعبية Cubic هي الأكثر غلاء في التصنيع لكنها تعطي مرونة كبيرة ، حيث يمكن استعمالها بعدد قليل ليكون من الممكن الحصول على تكاليف مقبولة.

السلبيات : صعوبة التصنيع ، القوالب تتطلب عملاً تصميمياً مضاعفاً ، والمواد التي يمكن استعمالها محدودة .

الإيجابيات : الشكل الجميل والانسائية ومقاربة كبيرة جداً للشكل الأصلي ، وبالتالي جمالية عالية و سهولة التبسيط إلى ألواح من خلال أي شبكة منحنيات من الأمثلة على أبنية منفذة بألواح منحنية باتجاهين ، (lentelles st lazar (gare st lazar) الصورة (029).

محطة قطارات سان لازار فرنسا الكتلة تنتج عن تقاطع أجزاء كروية مع أجزاء torus فينتج عنها شكل يشبه الفقاعة ، وقد وزعت العناصر الإنشائية على شكل مجموعتين من المستويات القطرية التي تغطي خطين متعامدين يمران من مركز الكرة ، ونتج عن ذلك ألواح زجاجية مختلفة عن بعضها وكلها منحنية باتجاهين ، لكن تم نمذجتها وجعل أغلبها كروية لتقليل القوالب واستعمل الزجاج المقسى لضمان الأمان والاستقرار.



الصورة (029): محطة القطارات في سانت لازار (المصدر 21-42)

محطة قطارات اينزبورغ في النمسا Hungerburgbahn, innsbruck السطح مؤلف من ألواح معدنية منحنية باتجاهين. الصورة (030).



الصورة (030): محطة قطارات Hungerburgbahn, innsbruck (المصدر 35-2)

قاعة الاجتماعات في مبنى DZ Bank في برلين المانيا للمعماري "فرانك غيري" فالسطح الخارجي لهذه القاعة المضافة في الباحة مؤلف من ألواح معدنية منحنية باتجاهين لتعطي الانسيابية المطلوبة الصورة (031).



الصورة (031): قاعة الاجتماعات في مبنى DZ Bank (المصدر 69)

2-2-3-4- السطوح المسطرة

ما يدعى بالسطوح المسطرة تشبه السطوح المنحنية باتجاه واحد ، كونها تتشكل بتحريك خط مستقيم وبالرغم من ذلك لا يمكن فردها بدون تشويه على مستوي ، لأن هذه الحركة تكون عشوائية في الفراغ، ولإنها تتألف من مجموعة خطوط مستوية فإنها تفتح مجالات واسعة وخيارات من حيث طرق التنفيذ والجملة الإنشائية ، والقوالب ، والمواد المستعملة¹ ، حيث أن السطوح المسطرة منتشرة بكثرة منذ أيام انتونيو غاودي و من أهم ميزاتهما :

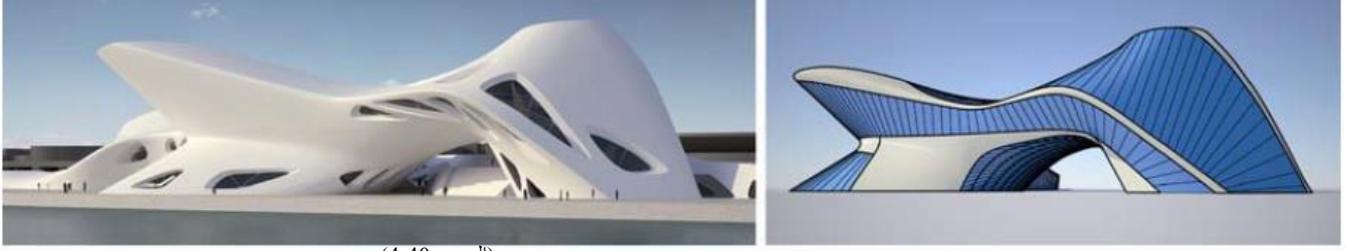
- أنه يمكن تنفيذها بمجازات كبيرة للأجزاء، ومقاييس كبيرة يمكن أن تغطي في بعض الأحيان كامل حجم الواجهة و بأجزاء قليلة انسيابية.
- مقارنة جيدة جداً للشكل كونها منحنية ودون فواصل.
- سلبياتها : عدم الشفافية والمواد التي تستعمل في تنفيذها محدودة.

من الأمثلة على أبنية منفذة بواسطة سطوح مسطرة.

مثال : أجزاء من واجهة مركز كاغلياري للفن المعاصر.

CAGLIARI CONTEMPORARY ARTS CENTER للمعمارية زها حديد الشكل (048) إن تحليل انحناء غاوس لهذا السطح أظهر أنه يمكن تنفيذه بواسطة سطوح مسطرة ، وقسم بالاعتماد على خطوط الانحناء الرئيسية إلى 81 جزء وصلت مع بعضها حسب التصميم. في النهاية من الجدير بالذكر معرفة أنه ليس بالضرورة أن يتم تبسيط كامل الشكل التصميمي للمبنى إلى نمط واحد من الأنماط السابقة ، حيث يمكن الجمع بين عدة نماذج معاً ، بما يحقق النواحي الجمالية لكن دون اغفال النواحي الاقتصادية ، وهنا يكون الدور الأهم للمعماري ليقترح تصميماً بشكل يحقق التوازن و يساعد في الحصول على شكل جميل للمبنى.

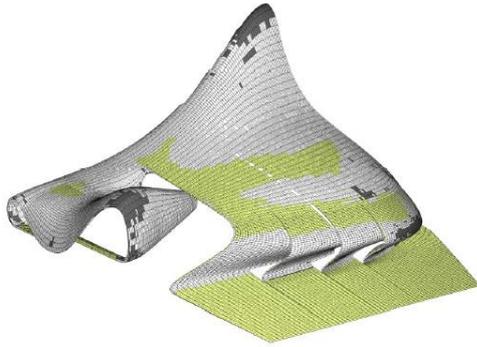
¹ Pottmann H. Ruled Surfaces for Rationalization and Design in Architecture (p-2)



الشكل (048): مركز كاغلياري للفن المعاصر (المصدر 4-40)

بعض أجزاء مبنى المركز الثقافي Heydar Aliyev Cultural center للمعمارية زها حديد الصورة (032).

حيث نلاحظ أن السطح الخارجي للمبنى يتألف من أجزاء مستوية موضحة باللون الأخضر، وأجزاء على شكل ألواح مسطرة موضحة باللون الرمادي الفاتح و أجزاء منحنية باتجاهين موضحة باللون الرمادي الغامق .



الصورة (032): اليمين صورة مبنى المركز الثقافي Heydar Aliyev Cultural center اليسار السطح الخارجي لمركز Heydar الثقافي (المصدر 8-41)

2-3- تأثير النواحي الاقتصادية على تنفيذ السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة:

إن اختيار طريقة تبسيط السطح المصمم إلى ألواح و أجزاء تتعلق بعدة عوامل ، أهمها المواد المتاحة و تقنيات التصنيع المستعملة ، فبالرغم من أن التصميم المعماري هو تصميم جمالي يهدف للحصول على شكل مميز ، إلا أننا لا يمكن أن نتجاهل حقيقة كون التكاليف العالية جداً للتنفيذ أمر غير مقبول، فحتى لو كان التصميم جميلاً، ومحققاً للمتطلبات الوظيفية المطلوبة منه ، لا بد أن يكون تنفيذه مجدياً من النواحي الاقتصادية . إن تقليل تكاليف التنفيذ غالباً ما سيؤثر سلباً على النواحي الجمالية للتصميم، إلا أن اتباع بعض الضوابط أثناء عملية التصميم ، وإدخال بعض التعديلات التي لا تقصد الشكل العام للمبنى ، يمكن أن يخفف من تكاليف التنفيذ بشكل كبير . وفيما يلي أهم المعايير التي يجب مراعاتها و أخذها بعين الاعتبار أثناء التصميم للوصول إلى شكل مجدي اقتصادياً:

2-3-1- اختيار شكل متعدد الوجوه الذي سيحول إليه السطح المنحني :

تؤثر هيئة متعدد الوجوه الذي يبسط إليه أي سطح على كلفة المبنى بشكل كبير ، لذلك يقع على عاتق المعماري اختيار الطريقة التي سيبسط فيها السطح ، بما يحقق التوازن مع كل الجوانب الأخرى

ويضمن تكاليف مقبولة للتنفيذ ، واختيار متعدد وجوه مناسب منذ البداية يسهل مراحل التنفيذ، ويقي من بعض المشكلات التنفيذية في مراحل لاحقة ، وبإدخال بعض التعديلات البسيطة على شكل الوجوه لا تشوه التصميم الكلي ، ولكنها قد توفر بالتكاليف إلى حد كبير . ويتلخص تأثير شكل متعدد الوجوه بعدة نقاط أساسية أهمها¹ .

- الشكل الهندسي لمتعدد الوجوه : فمثلا الألواح الرباعية المستوية المنتظمة تُعد أكثر الألواح اقتصاداً ، كونها تحتاج لقص أقل من الألواح المثلثية ، وتؤدي لهدر أقل في المواد من الأشكال الأخرى ، فقد أظهرت التجارب أن تكلفة الألواح الزجاجية المثلثية على واحدة المساحة أكبر من تكلفة الألواح الزجاجية الرباعية ، وهذا يعود بشكل رئيسي إلى حقيقة أن الرباعيات تملأ المستطيلات المغلفة لها أكثر من المثلثات ، وكذلك الأشكال السداسية المنتظمة أكثر اقتصاداً من غير المنتظمة ، لكنها ليست كالرباعيات المنتظمة، و بالإضافة لذلك يؤثر شكل الوجوه على كلفة العقد وتعقيدها ، فالعقد من الدرجة الثالثة أو الرابعة تكون أكثر اقتصادية من العقد ذات الدرجة السادسة ، وكون الألواح مستوية يقلل كثيراً من الكلفة، فالألواح المنحنية باتجاهين تكون ذات كلفة عالية جداً كونها تحتاج لمعالجات مختلفة وقوالب معقدة خاصة إذا كانت من الزجاج .
- الشكل غير المنتظم للوجه : كلما تحولت الوجوه إلى أشكال غير منتظمة وغير متناسقة الأبعاد كلما زادت التكاليف والهدر، فالألواح ذات الزوايا الحادة جداً صعبة القص ، وتؤدي إلى هدر في المادة إضافة إلى صعوبة تصنيع العناصر الإنشائية والعقد التي تجمعها ، الأمر نفسه ينطبق على الألواح التي تكون نسبة طولها لعرضها غير منطقية ، حيث يؤثر عدم انتظام أطوال الأضلاع على انتقال القوى، لذلك سيكون من الضروري تطبيق مقيدات صارمة على أشكال الوجوه وزوايا أضلاعها ، فسواء كانت صغيرة أو كبيرة جداً ، فهي تسبب مشاكل في التصنيع .
- طريقة تفريد الألواح لقصها : بالرغم من أن هذا الموضوع ليس من عمق تصميم متعدد الوجوه ولا يؤثر على الشكل النهائي للمبنى ، لكن يمكن التحكم به من خلال تصميم السطح، حيث يتعلق الموضوع بطريقة تفريد الألواح وتوزيعها على الألواح أثناء عملية القص و تخيل هذا التوزيع أثناء التصميم ، يمكن أن يوفر التكاليف بشكل كبير .

2-3-2- اختيار المواد التي سينفذ بها السطح :

يجب أن تتناسب المواد المختارة لتنفيذ السطح مع تصميم و أشكال الوجوه الذي وضعها المعماري في مراحل التصميم المبكرة، فبعض المواد لا تتناسب مع نمط معين من الألواح ، لذلك لا بد أن يكون اختيار المواد جزءاً هاماً من عملية التصميم ، فمثلاً الألواح الزجاجية مناسبة جداً للألواح المستوية المنفصلة على اختلاف أشكالها الهندسية ، ويمكن أن تكون مقبولة بالنسبة للألواح المنحنية باتجاه واحد ولكنها غير مناسبة أبداً للألواح المنحنية باتجاهين إذا نظرنا للموضوع من وجهة نظر اقتصادية كونها تتطلب معالجات معقدة غير مبررة، وفيما يلي أهم المواد التي تُستخدم في تنفيذ السطوح غير المنتظمة ، وتأثير هذه المواد على عملية التنفيذ :

¹ Hesselgren L. / Sharma S./ Wallner J. / Baldassini N./ Bompas P. and Raynaud J. , Advances in Architectural Geometry 2012,(p-165)

- المعادن

تُعد المعادن على اختلاف أنواعها ، وبشكل خاص الحديد والألمنيوم (عندما نذكر الحديد فإننا نتحدث ضمناً عن الفولاذ ، حيث يُعتبر الحديد المادة الأولية لإنتاج الفولاذ ، فالفولاذ هو حديد مضاف إليه نسبة معينة من الكربون) ، من أهم المواد التي تُستخدم في العمارة بشكل عام ، وفي المنشآت ذات السطوح غير منتظمة الشكل بشكل خاص في مختلف أنحاء العالم، فاستعمال المعدن أطلق حلولاً معمارية مختلفة لم تكن معروفة من قبل أضفت على الشكل المعماري إحساساً و ملمساً ورشاقة مختلفة لا تؤمنها المواد الأخرى ، وتستخدم المعادن على اختلاف أنواعها على هيئة مقاطع مختلفة في الهياكل الإنشائية للقشريات وخاصة الشبكية (العناصر الحاملة) ، سواء كانت ظاهرة أو مخفية، كما تُستخدم الصفائح والشرائح المعدنية لإكساء الواجهات والجدران ، نظراً لمقاومتها العالية للعوامل الجوية وخفة وزنها ولما تمنحه من تنوع كبير في الأشكال ، وكذلك لليونتها وإمكانية حنيها وتشكيلها بالهيئة المطلوبة ، حيث يمكن لهذه الشرائح والصفائح أن تكون مستوية أو منحنية باتجاه واحد أو باتجاهين ، وهي مناسبة لتنفيذ السطوح القابلة للفرد ، كما ويشكل المعدن مادة أساسية لتصنيع عناصر الربط والعقد الواصلة بين مختلف الألواح والعناصر الحاملة ، فمعظم عقد القشريات الشبكية مصنوعة من المعدن ، و في بعض الأحيان يُستعمل المعدن على شكل قوالب تُستعمل لتشكيل مواد أخرى كالبيتون بالهياكل المطلوبة .

- البيتون (الخرسانة)

ويُعتبر أكثر المواد المستعملة في العالم لتنفيذ القشريات على اختلاف أشكالها ، حيث شكل اكتشاف البيتون نقطة تحول هامة في العمارة من ناحية الأشكال والمجازات المتميزة التي يمكن تنفيذها، لكن لا يمكن استخدامه بشكل كبير في السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة، نظراً للوزن الكبير ، ولصعوبة توزيع مواد التسليح في الأشكال المعقدة ، ومع ذلك يبقى استخدامه واسعاً جداً في هذه الأنواع من المباني، وهو ملائم جداً لتنفيذ السطوح المسطرة لإمكانية تنفيذ الكوفراج بسهولة ، وللاستمرارية الكبيرة التي يحققها ، وهو كذلك ملائم لتنفيذ الأجزاء المنحنية باتجاهين بسهولة تشكيله و صبه ، و من جهة أخرى يُعتبر من غير المبرر استخدام البيتون لتنفيذ الألواح المستوية ، في حين يمكن استخدام مواد أكثر خفة ، كما يمكن استعمال البيتون المسلح لتنفيذ بعض العناصر الإنشائية الضخمة التي تستند عليها القشريات، وفي حال المجازات الأصغر الغير خاضعة لإجهادات كبيرة ، يمكن تقوية البيتون عن طريق استعمال ألياف خاصة ، وبشكل عام لا تزيد هذه الألياف من صلابة البيتون الإنشائية بشكل كبير، حيث لا يمكن استعمالها عوضاً عن حديد التسليح ، لكنها تفي بالغرض للأجزاء غير المعرضة لقوى شد وعزوم انعطاف كبيرة و مناسبة للأجزاء بالغة التعقيد لعدم الحاجة لتوزيع حديد تسليح فيها .

- الزجاج

يتكون الزجاج بشكل أساسي من الرمل والسلكا وعدد من الإضافات الأخرى، تُصهر جميعها بدرجات حرارة مرتفعة للحصول على عجينة طرية لزجة تُستخدم لتصنيع الألواح بالشكل المطلوب ، أو تُصب على شكل كتل زجاجية يُعاد تدويرها و تصنيعها في وقت لاحق¹ ، يُعد الزجاج من أكثر المواد المستعملة

¹ (P427-428) , Porous and Reconstructed glasses , Thomas H. Elmer

في تنفيذ الهياكل الشبكية ، وخاصة إذا كانت الوجوه مستوية ، حيث يعطي الشفافية والخفة المطلوبة ، و يمكن كذلك استعماله للألواح المنحنية باتجاه واحد وحتى الألواح المنحنية باتجاهين اذا تطلب الأمر .

- البلاستيك

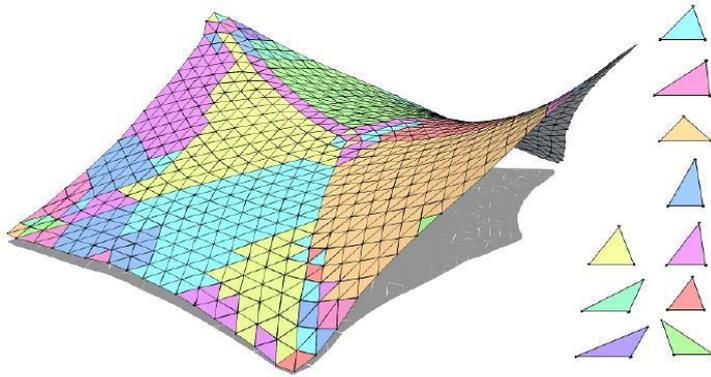
لقد انتشر استعمال المواد البلاستيكية في السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة بشكل واسع عالمياً ، بسبب سهولة تصنيعها و تشكيلها بالأشكال المطلوبة ، و ينتشر استعمالها في ألواح الإكساء لخفة وزنها و سهولة صبها بأشكال عديدة ، كما تستعمل المواد البلاستيكية كذلك لتصنيع القوالب التي قد تُستخدم في صب البيتون .

- الخشب

يُعد الخشب من أقدم المواد المستعملة في البناء وخاصة في الأسقف صغيرة الأبعاد نسبياً ، كما يُستعمل لحاجات معمارية ، لكن استعماله للسطوح الخارجية محدود نسبياً بسبب عدم مقاومته للعوامل الجوية والمجازات الصغيرة نسبياً التي يؤمنها ، مع تقدم الهندسة والتقنيات الرقمية اعتبر الخشب إحدى المواد الهامة لتنفيذ السطوح حرة الشكل ، و انتشر استعماله في السطوح غير المنتظمة على شكل تغطيات خشبية أو شرائح تُثبت على جوائز شبكية ، كما يُستعمل كعناصر حاملة بشكل محدود وأيضاً في تصنيع القوالب ، يُعد استخدام الخشب للأجزاء المنحنية مكلفاً نظراً للمعالجات الخاصة التي يتطلبها.

2-3-3- النمذجة و تكرار الألواح

لتحقيق توازن جيد بين النواحي الجمالية والاقتصادية في السطوح ذات الأشكال بالغة التعقيد، يمكن جمع عدة نماذج من الألواح في متعدد الوجوه الذي سيبسط اليه السطح و تقريبها لبعضها لتصبح موحدة، و يكون هذا الجمع بالشكل الذي يوفر الكلفة قدر المستطاع دون تشوه في الشكل الانسيابي فنحصل على نماذج معدودة من الألواح كل منها يسمى مجموعة Cluster تتشكل من خلال مجموعة عمليات دمج ، وتكون كل مجموعة مشتركة مع بعضها ليس فقط بالسعر بل في طريقة الالتقاء مع الجوار بطريقة تسهل عملية القص وتقلل من عدد القوالب المصنعة



الشكل (049): سطح مبسط إلى 1280 مثلث مقسمة إلى عشر مجموعات (المصدر 4-50)

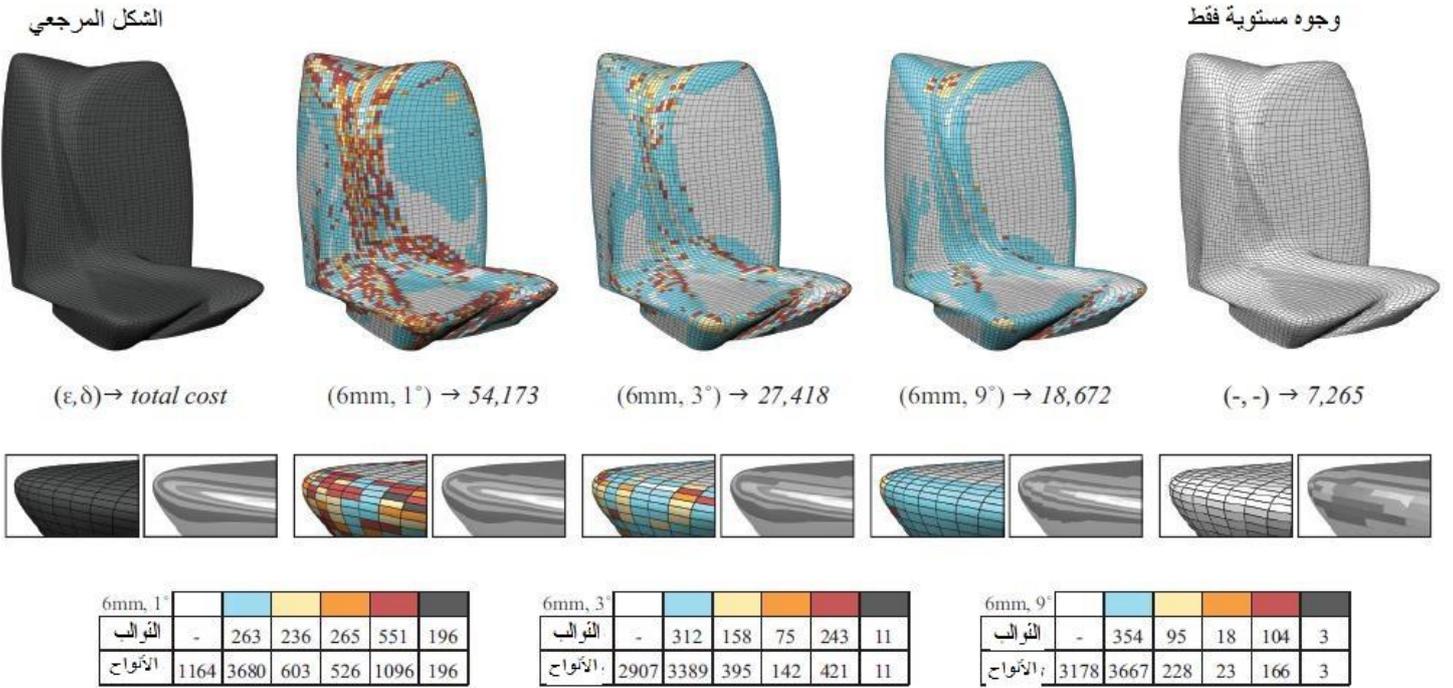
، ومن أجل تصحيح طرق التقاء الألواح يمكن تحريك كل لوح في أي اتجاه الشكل (049) يظهر دراسة أجريت على سطح بشكل سرج حصان مقسم الى شبكة مثلثية و تمت نمذجة المثلثات بعشرة مجموعات رئيسية موضحة بالألوان و كل مجموعة متمثلة مع بعضها بالشكل و الأبعاد و الالتقاء مع الجوار و طريقة التبسيط هذه تساعد على تنفيذ الشكل بإنشاء معدني زجاجي

من الناحية العملية يجب علينا تجنب الألواح ذات الأشكال المميزة المعقدة و غير المكررة، ولكن ليس بالضرورة أن تكون كل الألواح بسيطة ، ففي بعض الأحيان إضافة لوح معقد واحد مرتفع الثمن يزيد من بساطة الألواح المحيطة به ، وبالتالي يقل ثمنها¹

الشكل (050) يُظهر مقارنة دراسية بين عدة مقاربات لشكل مرجعي لتوضح و تبين العلاقة بين شكل الألواح وتكرارها و و الكلفة النهائية للمشروع .

ف نجد أن الشكل المرجعي قم تم تبسيطه بأربع طرق تختلف عن بعضها من حيث الانحراف و عدد مجموعات الألواح التي بسط اليها السطح (حيث تم التعبير عن كل مجموعة متماثلة بلون) . فالتبسيط الأول درجة الانحراف فيه واحد و هو مقارب بشكل كبير للشكل الأصلي ، و التبسيط الثاني درجة الانحراف فيه 3 و هوة أقل مقارنة للشكل المرجعي لكن كلفته تقريبا نص كلفة التقريب الأول و هكذا حتى تم الوصول الى التبسيط الأخير الذي يتألف بالكامل من وجوه مستوية الأمر الذي أعطى فرقا كبيرا في التكاليف

و قد يكون في بعض الأحيان اختيار أكثر النماذج اقتصادية يقضي على الجمالية المطلوبة، لذلك لا بد من رفع التكاليف قليلا.



الشكل (050): تبسيط سطح بعدة طرق توضح كيف انه كل ما زاد عدد القوالب المكررة كلما قلت التكاليف و نلاحظ عدم تأثر الشكل بمقدار كبير (المصدر 7-35)

4-2- تأثير المتانة الإنشائية على تنفيذ السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة:

تعمل السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة ونتيجة لشكلها وأبعادها، تعمل بنظام القشرية الإنشائي، حيث يمكن تسميتها بالقشريات غير المنتظمة .

¹ Ceccato C. / Hesselgren L. / Pauly M. / Pottmann H. and Wallner J. , Advances in Architectural Geometry 2010,(p-56-62)

فالقشرية : هي منشأة خفيفة سماكتها صغيرة بالنسبة للبعدين الباقيين ، والتشوّهات الحاصلة فيها تكون صغيرة مقارنة مع السماكة، وتقوم بنقل حمولاتها بالفعل الغشائي الذي يتشكل تحت تأثير القوى الداخلية ، و بسبب شكلها يسمى هذا النظام الانشائي بالنظام القشري Shell Structure .
بدأ هذا النوع من الإنشاء بالظهور في نهاية القرن التاسع عشر وله نوعان رئيسيان:
- القشريات الصفائحية المصمتة Plate Structures .
- القشريات الشبكية Lattice Shell Structures or Grid Structures .

يُعد موضوع المتانة الإنشائية للسطح غير المنتظم (نظراً لعملها بالنظام القشري) ، أمر بالغ الأهمية لتأثيره على التصميم و طريقة التنفيذ ، فمن أجل تنفيذ هذه السطوح بشكل أكثر سهولة ، يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار بعض النواحي الإنشائية أثناء عملية التصميم ، وبالرغم من أن الحسابات الإنشائية الدقيقة لعناصر ومكونات هذه القشريات ، لا تتم إلا بواسطة برمجيات معقدة تعطي التصميم الدقيق لكافة العناصر الإنشائية المؤلفة لهيكل سطح القشرية ، إلا أنه من المهم أثناء مرحلة التصميم وقبل إجراء هذه الدراسات الإنشائية التفصيلية تحقيق بعض الاعتبارات الإنشائية الأولية التي تتعلق باستقرار وثبات المنشأة وتقل قدر المستطاع من التشوّهات التي يمكن أن تحصل في أي جزء من أجزاءها ، وتساهم كذلك في التقليل من الكلف المتوقعة لعملية التنفيذ ، كل ذلك يجب أن يتم دون إلحاق الضرر بالنواحي الجمالية المطلوبة ، هذه الاعتبارات الإنشائية التي يجب دراستها تتعلق بالشكل الانسيابي للسطح و هيئته المعمارية (architectural shape) و سلوكه الانشائي ، وكذلك بشكل الألواح التي يجزء إليها السطح ، وأبعاد هذه الألواح والسلوك الإنشائي لكل لوح على حدى ، إضافة إلى تأثير شكل الوصلات والعقد وموادها .
وهذه التوصيات الإنشائية المتبعة تم الحصول عليها من خلال إجراء دراسات حاسوبية أو تجارب على نماذج فيزيائية.

ملاحظة : القوى التي تؤخذ بعين الاعتبار عند دراسة السلوك الانشائي القشري هي الأحمال قصيرة الأمد يمكن تصنيفها في عدة أنماط: قوة الرياح و أحمال الثلج ، بالإضافة إلى الوزن الذاتي للهيكل ، ويختلف سلوك القشرية بالتعامل مع هذه القوى باختلاف طريقة نقلها للحمولة¹ .
ويمكن تلخيص التوصيات الإنشائية التي يجب مراعاتها في مجموعة من النقاط هي :

2-4-1- تأثير السلوك الانشائي على اختيار الشكل العام للقشرية

من الهام جداً تحديد الشكل العام للقشرية (general shape) وانحناءاتها في مرحلة مبكرة من مراحل المشروع (مرحلة التصميم الأولي) ، حيث أن اختيار هذه الهيئة والشكل هو جوهر عملية التصميم ، وتُعتبر الهدف الذي سنسعى لتنفيذه و تحقيقه ، بأقل قدر من الانحرافات الممكنة.
وعند اختيار الشكل المناسب ذو سلوك انشائي مدروس ، سيكون ممكناً في وقت لاحق تسهيل عملية التنفيذ والوصول إلى نتائج مرضية ، حيث أن بعض الأشكال يكون تنفيذها غير ممكناً أو صعباً جداً من الناحية التقنية و من ناحية المواد المقترحة.

¹ Gheorghiu A. and Dragomir V. , Geometry of Structural Forms (p-2)

وكذلك سيكون للشكل العام للقشرية دور كبير في المنهجية المتبعة لتحويل السطح إلى متعدد وجوه ، وبالتالي تحقيق درجة النعومة المطلوبة ، والشكل النهائي المطلوب واختيار مواد التنفيذ. لتحديد شكل القشرية هناك مجموعة عوامل يجب أخذها بعين الاعتبار أهمها:

2-1-4-1- اتجاه انحناء السطح (Direction of curvature)

- إن اتجاه انحناء السطح يؤثر على طريقة نقل الحمولة و توزيع الاجهادات في هذا السطح ، ويُحدد هذا الانحناء بواسطة قيمة انحناء غاوس (Gaussian curvature) الذي يكون موجباً , معدوماً أو سالباً ، حيث أن القباب مثلاً ، وهي سطوح ذات انحناء " غاوس " موجب لأن الانحنائين الرئيسيين بنفس الاتجاه والقنوات ذات انحناء غاوس معدوم كون انحنائها باحد الاتجاهين الرئيسيين معدوم ، تتولد إجهادات ضغط في معظم أجزائها ، بينما السطوح مثل سرج الحصان ذات انحناء " غاوس " السالب يتولد اجهادات شد في معظم أجزائها عدا بعض المناطق المحدودة. إن نوع الاجهادات المتولد سيؤثر في وقت لاحق على اختيار مواد التنفيذ وأبعاد الأجزاء المنفذة و طريقة التقسيم إلى ألواح¹.

فمثلاً : الزجاج مادة ضعيفة على الشد ، لأن الشد يسبب تشققات صغيرة ميكروسكوبية في بنية الزجاج ، لذلك يكون من المفضل أن تكون الأجزاء الزجاجية معرضة للضغط ، وهذا يتطلب أن يكون اتجاه انحناء القشرية في هذه الأجزاء يولد إجهادات ضغط في معظم حالات التحميل التي سوف يتعرض لها ، وفي الأجزاء التي تعمل على الشد يختار مواد أخرى مناسبة لتحمل اجهادات شد ، وفي الأشكال التي تعمل على الشد يستخدم المعدن كعنصر انشائي لأنه يتحمل الشد بشكل جيد. من هنا نستنتج أن لجهة انحناء السطح دور أساسي في اختيار طريقة ومواد تنفيذه ، وبالتالي يؤثر بشكل كبير على المشروع النهائي.

2-1-4-2- شدة الانحناء (مقدار الانحناء) Magnitude of curvature

إن مقدار انحناء السطح (شدة الانحناء) يؤثر في شدة ومقدار الإجهادات المتولدة فيه ، حيث أن المناطق ذات الانحناء البسيط تسمح بتشكيل عزوم انعطاف أكبر من الأجزاء ذات الانحناءات الأكبر ، وهذا النوع من إجهادات الانعطاف غير محبذ في القشريات ، حيث أنه يلغي فكرة عملها الأساسية كغشاء متكامل ، نظراً لعدم قدرتها على تحمل هذه العزوم بسبب خصائص المواد المستعملة فيها والسماكة القليلة.

لذلك ومن الهام من أجل تشكيل قشرية ذات فعالية إنشائية تعمل بشكل جيد ، الابتعاد عن وضع مناطق ذات انحناء منخفض بشكل أفقي، حيث أنه كلما كان أقرب إلى الوضع الأفقي كلما تشكلت عزوم انعطاف أكبر ، وكلما كان الجزء مائلاً كلما صغر هذا التأثير ، فمثلاً من أفضل الأشكال مقاومة للانعطاف الأشكال التي مقطعها الشاقولي القطع المكافئ¹.

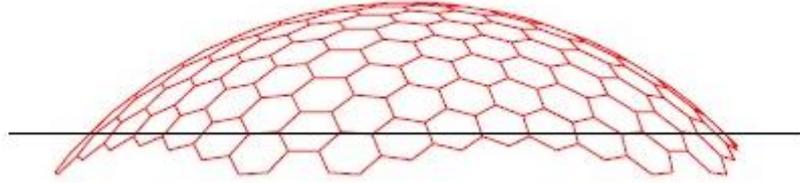
2-1-4-3- استناد القشرية على الأرض

يجب أن تكون طريقة تثبيت القشرية و سندها على الأرض تمنع تشكل إجهادات إضافية ، وتسمح بتشكيل الفعل الغشائي لهذه القشرية ، حيث يُفضل أن تكون قاعدة القشرية مستوية ، الأمر الذي يزيد

¹ Aanhaanen J. ,The Stability of a Glass Facetted Shell Structure (p-18)

من إمكانية تثبيت القشرية بشكل كافٍ ، وسوف يساعد في الوقت نفسه على عمل نهاية نظيفة للقشرية ، وكلما كان الاستناد على كافة الأضلاع كلما كان الثبات أفضل ، حيث أن وجود أجزاء خارج نطاق التثبيت قد يسبب إجهادات إضافية ، وخاصة إجهادات قتل بسبب الدوران ، وكذلك عدم وقوع نقاط التثبيت في مستوي واحد يغير من توزيع الإجهادات ويزيد التشوهات في القشرية نتيجة تشكل إجهادات إضافية فيها . الشكل (051).

و يؤثر شكل انحناء القشرية على متطلبات سندها و شكل المساند التي تثبت عليها ، فالقشريات ذات الانحناء الموجب تحتاج لعناصر استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل، وهو أمر لا نحتاج إليه عند سند السطوح ذات الانحناء السالب .



الشكل (051): قطع قبة باستعمال مستوي أفقي سوف يسبب قطعاً في عدد من الوجوه (المصدر 25-51)

2-4-2- العلاقة بين شكل متعدد الوجوه الذي سيبسط اليه السطح و المتانة الإنشائية

كما أصبح معلوماً لدينا أنه عند تنفيذ القشريات سيكون من غير الممكن تنفيذ السطح بأكمله كقطعة واحدة وبالمقياس المطلوب. لذلك يقسم السطح لعناصر أصغر يمكن أن تكون مستوية أو منحنية تعرف بـ plates أو الصفائح وهذا التقسيم يكون بإمكانيات واسعة جداً ، واحتمالات كبيرة و متنوعة وبنقشات مختلفة تُجمع مع بعضها بواسطة وصلات تحقق الثبات المطلوب.

و فهم السلوك الإنشائي للأجزاء المكونة للسطح (plates) في مراحل التصميم يساعد على تجنب مشكلات إنشائية مستقبلية ، فيمكن بتغيير بسيط لهندسة هذه الألواح أن تخفف من أعباء انشائية لاحقة.

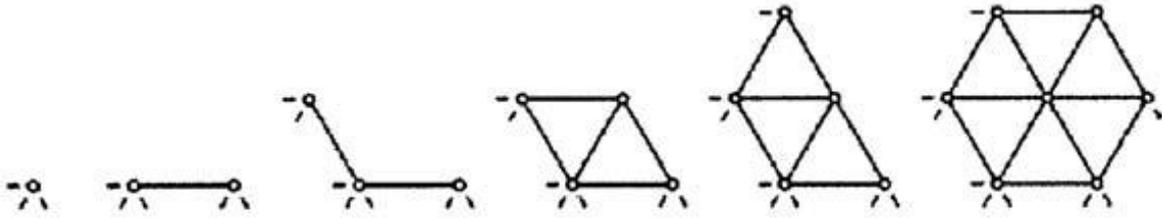
2-4-2-1- تأثير طريقة نقل الحمولة بين وجوه القشرية

كما رأينا في تعريف القشريات عند تحويل السطح إلى متعدد وجوه نكون أمام احتمالين بالنسبة للسلوك الإنشائي الذي ستسلكه القشرية و يتعلق هذا السلوك بشكل الوجوه وعلاقتها مع بعضها :

الاحتمال الأول : أن تكون مهمة نقل حمولات السطح تقع فقط على الوصلات من أضلاع وعقد (الهيكل المعدني) ، وهنا يكون دور الألواح فقط كفاصل بين الفراغ الداخلي والخارجي ، وتستخدم هذه الطريقة في حالة المواد الضعيفة التحمل كالرقاقات البلاستيكية Etfه والمواد اللدنة وتسمى بالهيكل الشبكية (Lattice Shell structure) ، وهي مناسبة لتنفيذ للسطوح المنفصلة¹.

ملاحظة : القشرية المؤلفة من مثلثات قادرة على تحقيق التوازن من خلال الهيكل فقط بسبب الخواص الإنشائية للشكل المثلاثي ، أي أن الألواح تكون غير معرضة لإجهادات وتلعب دور الفواصل فقط. الشكل (052).

¹ Aanhaanen J. ,The Stability of a Glass Facetted Shell Structure (p-37)



الشكل (052): مثال عن نظرية سترينغر (Almegaard 2004) (المصدر 25-37)



الصورة (033): هيكل شبكي من طبقة واحدة (المصدر 25-37)

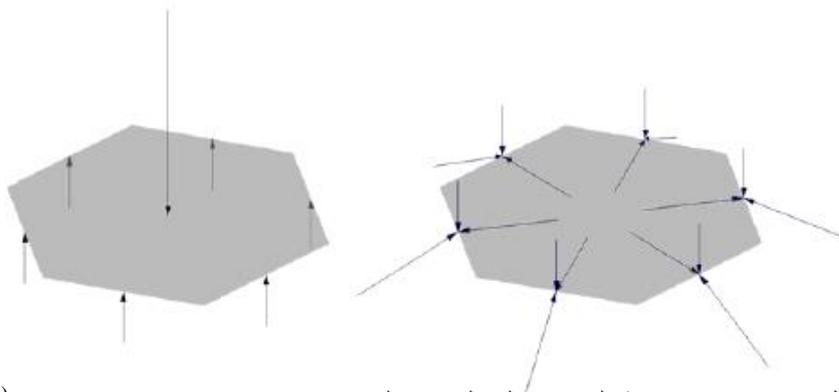
حيث يتم نقل مختلف القوى المؤثرة على الوجوه والتي تسبب انعطاف محلي فيها إلى العقد و الوصلات مباشرة بواسطة طريقة تثبيت معينة ، حيث أن الوجوه تسند على العقد مباشرة ثم يتم نقلها فيما بعد عن طريق قوى محورية في الأضلاع الرابطة ، وهنا لا تتعرض أضلاع السطح الشبكي سوى لعزوم انعطاف صغيرة جداً ناتجة عن وزنها الذاتي ومقطعها ، حيث يمكن إهمالها أي يكون كل وجه مسؤول عن نقل حملاته فقط إلى العقد مباشرة، و لا يكون هناك تأثير متبادل بين الوجوه، وبالتالي لا يتعرض الوجه لقوى ضمن المستوي من الوجوه المجاورة الصورة (033).

الاحتمال الثاني : أن تساهم هذه الألواح في نقل الحمولات بين بعضها ، وبالتالي يتعرض كل منها

لقوى من الألواح المجاورة وتسمى بـ Plate Structure. الهياكل الصفائحية. ويمكن الفرق الأساسي في أن الهياكل الشبكية تنقل قوى محورية مركزة في العناصر الخطية ، بينما الهياكل المولفة من صفائح تنقل القوى محورية ضمن مستوي الصفائح ، وهنا يجب أن تكون مواد هذه الصفائح قابلة لتحمل هذه القوى ونقلها للصفائح المجاورة ، وذلك في القشريات المولفة من أجزاء تتفاعل في ما بينها بقوى ضمن مستوي الوجه (in plane force) ، والتي تعرف بالانشاء الصفائحي plate structure وهي مناسبة للسطوح المسطرة .

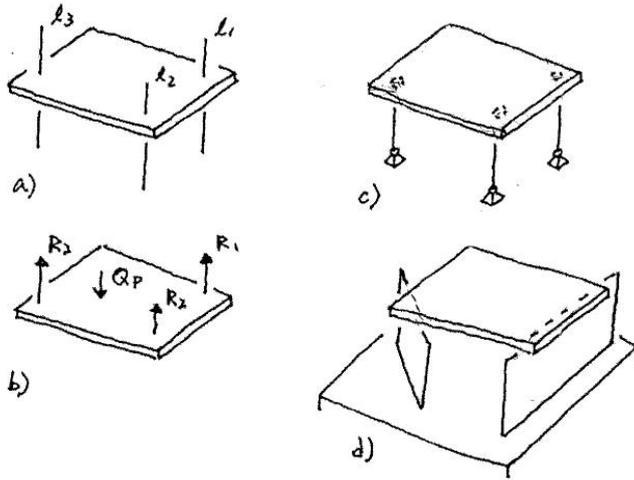
من أجل توضيح فكرة عمل القشرية الصفائحية نأخذ قشرية ذات أوجه مستوية ، لكي يسهل إيجاد طبيعة القوى المؤثرة وكيفية التفاعل بين الوجوه، تكون القشرية بشكل عام معرضة لقوى عمودية على مماس القشرية ناتجة في معظمها عن الوزن الذاتي لها في كل نقطة، و بسبب الثلوج مسببة عزوم انعطاف محلية في الألواح ، وهذه الحمولات تسبب إجهادات داخلية في كل وجه تنقلها الوجوه بقوى محورية داخلية in plane force تُعرف بشعاع محصلة القوى المحورية في الوجه والقوى الناتجة على الأحمال الشاقولية في نفس الوجه.¹

¹ Aanhaanen J. ,The Stability of a Glass Facetted Shell Structure (p-34)

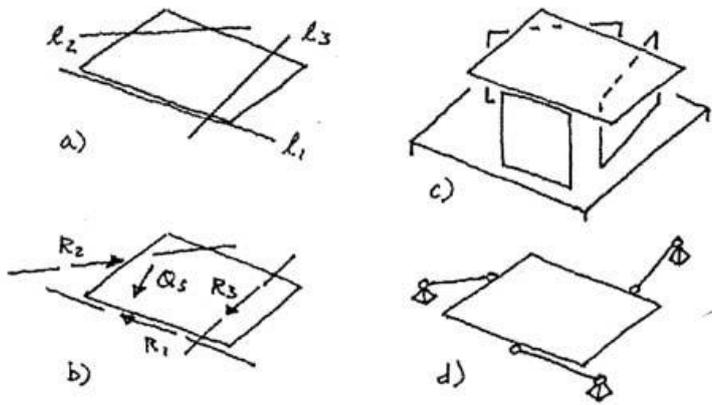


الشكل (053): ميكانيكية التحنيب المحلي في الوجوه. (Bagger et al. 2007a) (المصدر 25-44)

و بالتالي تكون الوجوه معرضة لـ : حمولات عمودية على المستوي الناتج من العزوم ، وقوى موازية للمستوي الناتج عن القوى المحورية من الوجوه المجاورة الشكل (053).
لكن النظام الإنشائي ككل ينقل كل حمولاته عبر أجزائه بواسطة قوى محورية بفضل الفعل الغشائي membrane action الذي يتشكل في القشرية و الناتج عن شكلها.



الشكل (054): شروط استقرار صفيحة محملة بقوة خارج مستوي. (Almegaard 2003) (المصدر 25-36)



الشكل (055): شروط استقرار صفيحة محملة بقوة داخل المستوي. (Almegaard 2003) (المصدر 25-37)

وبما أن مقاومة هذه الوجوه تكون ضعيفة تجاه الانعطاف (Bending) بالمقارنة مع القوى المحورية بسبب أبعادها فيكون من المفيد تقليل فعل الانعطاف ما أمكن ، وزيادة الفعل الغشائي (membrane action) للقشرية ككل ، وذلك بزيادة عدد الوجوه مع / أو تقليل مجازها ، بحيث يكون هناك تناسب بين مجاز القشرية ومجاز الألواح ، بهدف تفعيل قوى محورية في كافة أضلاع الوجه ، إن اختيار المواد و شكل التحويل لصفائح يؤثر على طريقة عمل القشرية ككل .

2-2-4-2- تأثير السلوك الإنشائي

لكل وجه في القشرية

يجب أن يكون تثبيت كل وجه من الوجوه محققاً للمتطلبات الإنشائية التالية ليكون مستقراً:

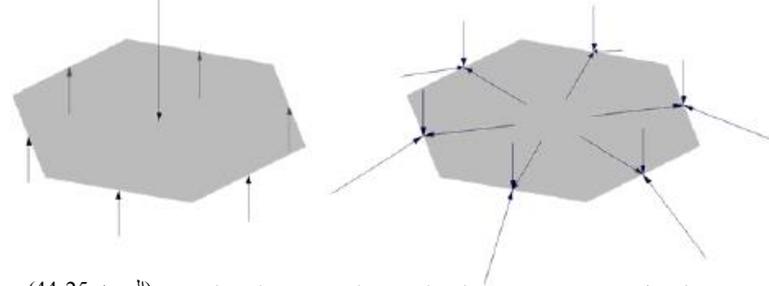
1- بالنسبة للحمولات خارج المستوي (مستوي الوجه) out plane forces هناك ثلاث قيود مطلوبة تتمثل في ثلاثة عناصر استناد في مستوي الوجه على أن تكون غير متوازية وغير متقاطعة في نقطة واحدة الشكل (054).

2- أما بالنسبة للحمولات داخل المستوي *in plane force* القادمة من الأوجه المجاورة هناك أيضاً قيود إضافية عبارة عن ثلاث عناصر استناد عمودية على مستوي الوجه غير واقعة في خط واحد. الشكل (055).

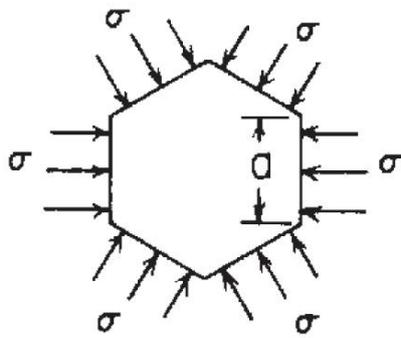
و يكون كل وجه من وجوه القشرية معرضاً لكافة الأحمال السابقة، وهذا يعني أننا بحاجة لستة قيود لكل لوح يتم تأمينها من خلال / 3 / مساند (على الأقل) / 3 / قيود عمودية على اللوح والثلاثة الباقية في مستوي اللوح.

هذا الموضوع هام جداً لأن استقرار كل لوح يؤثر على استقرار القشرية ككل ، حيث يكون الاستقرار العام مضموناً عندما تطبق الشروط السابقة ، وأي خلل في أحد الوجوه قد يؤثر على الاستقرار العام للقشرية . الشكل (056) .

بعد التأكد من موضوع استقرار كل وجه يجب التأكد فيما اذا كان هذا الوجه قادراً تحمل القوى المعرض لها .



الشكل (056): محصلة القوى المؤثرة على الوجه (المصدر 25-44)



الشكل (057) : القوى المحورية التي يتعرض لها اللوح (Young & Budynas 2001) (المصدر 25-108)

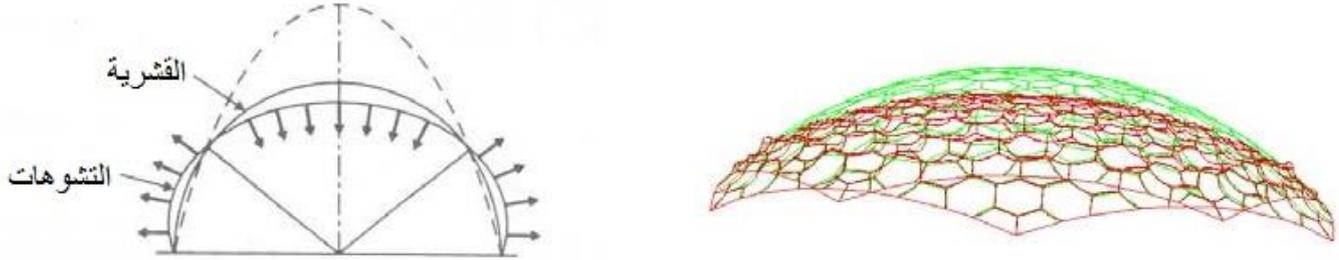
ففي حالة القشريات (ذات الوجوه) faceted يكون الوجه معرضاً بشكل رئيسي لقوى محورية في نفس مستوي الوجوه الشكل (057) . و تكون هذه القوى غير موجودة في حالة الإنشاء الشبكي.

و في كلتا الحالتين تؤثر قوى عمودية على مستوي الألواح بسبب وزنه الذاتي وحمولات الثلج التي قد يتعرض لها ، ينتج عنها انعطاف محلي في الوجوه هو عبارة عن إجهادات سالبة من مركز الوجوه ، تزداد أو بالمعنى الأصح تصبح موجبة وذات قيمة أكبر قرب الأضلاع، وهنا يجب التأكد إذا ما كانت الألواح (الوجوه) المختارة قادرة على مقاومة الانعطاف وإجهادات القص التي تتعرض لها، و بالتالي إذا ما كانت معرضة للانهياب.

تُظهر الدراسات التي أجريت سابقاً على السلوك الإنشائي للوجه منفرداً ، أن إجهادات الانعطاف في وسط الوجه لن تشكل مشكلة كبيرة للمادة إذا كانت صلابتها كافية، ولكن عندما تُستعمل في الوصلات مادة قاسية تماماً سوف يحصل تركيز للإجهادات في أضلاع الوجه و خاصة في زوايا الوجه .

عند اختيار متعدد الوجوه الذي سيبسط إليه السطح يكون فهم السلوك الانشائي لمتعدد الوجوه منذ المرحلة الأولى أمراً بالغ الأهمية، لأنه سيؤثر على طريقة التحويل للأواح وتصميمها واختيار مواد التنفيذ ، وكذلك على تصميم العقد والوصلات واختيار موادها الشكل (058).

ملاحظة : كلما كان الوجه منحنيًا ، فإن ذلك يقلل من الانعطاف ويزيد من القوى المحورية في الوجوه ، لكن ذلك من الممكن أن يؤثر في سهولة وتكاليف التنفيذ كما رأينا في الفقرة السابقة.



الشكل (058) : التشوهات بسبب عدم تشكل الفعل الغشائي (Schodek 2004) (المصدر 25-66)

2-4-3- تأثير الخصائص الهندسية لشكل الألواح

كما رأينا سابقاً يمكن تبسيط السطوح غير المنتظمة لمتعدد وجوه بعدة طرق و بأبعاد مختلفة ، وهذا الاختيار لا يتعلق فقط بالنواحي الجمالية والاقتصادية ، بل بالنواحي الإنشائية حيث أن اتباع بعض التوصيات التي لا تؤثر على جمالية الشكل ، يمكن أن تضمن المتانة والاستقرار الإنشائي . ويمكن اختصار بعض التوصيات في النقاط التالية:

- شكل اللوح :

إن وجود عدة ألواح مختلفة عن بعضها ، أو كون شكل اللوح بحد ذاته غير منتظم سيولد اختلافات في أطوال الأضلاع ، وبالتالي اختلافاً في نقل القوى وتصميم الوصلات ويؤثر على سلوك كل لوح وسلوك القشرية ككل . إضافة إلى ذلك قد يخلق مشاكل في تشكل الفعل الغشائي ونشوء إجهادات انعطاف محلية إذا كانت هذه الفروقات غير مدروسة في الأطوال، لذلك لا بد من اختيار شكل الألواح بحيث تحقق الانتظام قدر المستطاع دون إلحاق الضرر بجمالية الشكل¹.

- أبعاد اللوح :

يُلاحظ من خلال التجربة أنه كلما كانت الوجوه أكثر و أبعادها أصغر تزيد المقاومة للتشوهات وإجهادات الانعطاف في هذه الوجوه ، أي أن القشرية ستعمل بشكل أكبر كقشرية ناعمة (يكون الفعل الغشائي فيها أفضل)، ولكن عند تصغير أبعاد الألواح إلى حد كبير تكون عندها زيادة عدد الوجوه غير مجدية ، لأنها لن تؤدي إلى خفض التشوهات والعزوم بشكل كبير ، وبالتالي لن يؤدي هذا التصغير إلى تحسين عمل القشرية ، و بالمقابل كلما زادت أبعاد الوجوه ، أدى ذلك إلى إجهادات انعطاف أكبر فيها وينشأ فيها تحنيب محلي كبير يولد إجهادات في الوصلات ويؤثر على التحنيب في القشرية ككل

¹ Aanhaanen J. .The Stability of a Glass Facetted Shell Structure (p-187)

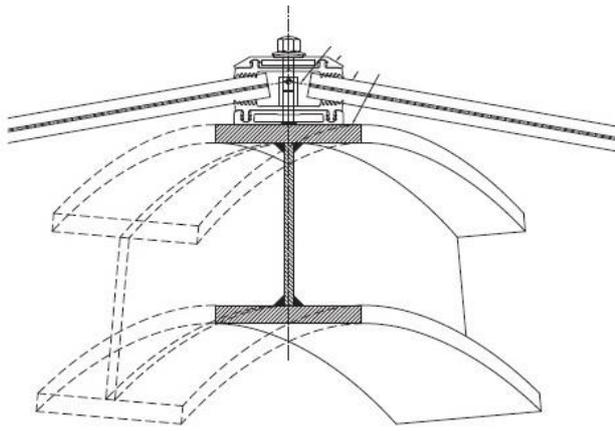
و يؤثر على استقرارها ، وعندئذ سوف تخسر القشرية خاصتها الرئيسية بالعمل كغشاء ، ولا يعود هناك معنى لشكلها.¹

- سماكة اللوح :

سماكة اللوح هي من المعايير التي يمكن تغييرها بسهولة والفكرة المنطقية أن صلابة القشرية تنخفض بانخفاض سماكة اللوح ، لكن هناك مرحلة يصبح عندها زيادة السماكة له تأثير سلبي و خاصة في المواد ذات الوزن الثقيل . لأنها سوف تزيد عزوم الانعطاف و التحنيب¹.

- مادة اللوح :

بالنسبة لمادة الألواح إن زيادة (E – modules) يؤثر عامل الصلابة على الصلابة الكلية للقشرية بشكل واضح ، ومع الوقت تنخفض صلابة المادة ، لكن تأثير ذلك يكون أقل مما لو كانت صلابة المادة منخفضة بالأصل ، لذلك لا بد من تحليل مقاومة المادة المراد استعمالها عند التصميم و التأكد من ملائمتها لشكل و أبعاد الوجوه.¹



الشكل (059) : عنصر وصل بين لوحين مثبت على على عنصر حامل (المصدر 21-48)

2-3-4- تأثير الوصلات بين الوجوه

كما بات معلوماً عند تصميم السطح لا بد أن يكون مقسم لأجزاء Patches تسمى بالصفائح أو Plates و تكون الوصلات عبارة المحيط الخارجي لهذه الأجزاء فهي الأساس في تشكيلها وفي ارتباطها مع الأجزاء المجاورة ، ودراستها موضوع هام جداً ، لدورها الأساسي في الحفاظ على نعومة الانحناء والمماسات بين الأجزاء المتجاورة .

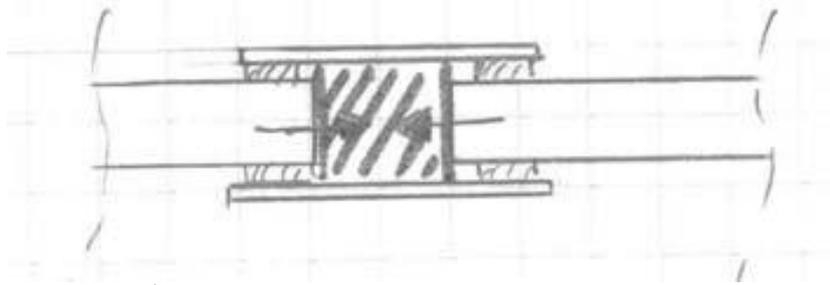
وفي النهاية فإن السطح الأخير يجب أن يكون السطح الكلي مستمراً. الشكل (059).

و بحسب طريقة نقل الحمولة في القشرية يختلف شكل الوصلات و التعامل معها ، فإذا كان السطح شبكي فإنها تستند على العناصر الإنشائية لتنتقل اليها الحمولات مباشرة ، أو يمكن أن يكون العنصر الإنشائي يلعب دور الوصلة بين اللوحين ، عندها تكون أبعاد هذه الوصلات ومقاطعها أكبر ، وفي هذه الحالة تكون الاجهادات فيها محدودة ودراستها مهمة أكثر من ناحية محافظتها على استمرارية السطح والربط بين الألواح ، فتحملها للقوى في هذه الحالة يكون محدوداً ، يجب أن تكون موادها ملائمة لهذا السلوك الإنشائي فيستخدم المعدن عندها في أغلب الأحيان.

أما اذا كان السطح يعمل كقشرية صفائحية ، فيجب تشكيل فجوة بين الألواح لتنفيذ الوصلات ، وهذه الفجوة تُملأ بشكل جزئي بمادة مختلفة الصلابة غالباً (يمكن في بعض الأحيان تكون صلابتها

¹ Aanhaanen J. ,The Stability of a Glass Facetted Shell Structure (p-187)

مساوية لصلابة الألواح) ، وتثبت مع الألواح المجاورة لها ، حيث تتشارك هذه الوصلات مع الألواح في نقل هذه الحمولات ، لذلك يكون موضوع دراستها بالغ الأهمية كون أي خلل في نقلها القوي يؤثر على عمل القشرية الانشائي الشكل (060).



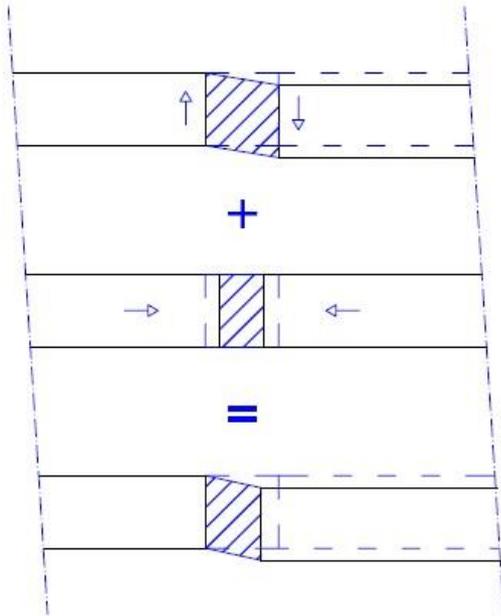
الشكل (060) : الاجهادات و القوة التي تتعرض لها الوصلة (المصدر 167-25)

2-4-3-1- الاجهادات في الوصلات و تأثير صلابة مادة الوصلة

- يجب أن تقاوم الوصلة في الهياكل الصفائحية ثلاثة أنواع من الإجهادات (قوى محورية و قوى قص و عزوم انعطاف) أي يكون فيها صلابة انعطاف ، صلابة محورية ، صلابة قص الشكل (059).

و هناك موضوع هام يجب مراعاته وهو أنه عندما تُستعمل في الوصلات مادة قاسية تماماً سوف يحصل تركيز للإجهادات في أضلاع الوجه، وبالتالي يتأثر سلوك اللوح والقشرية ككل. الطريقة الوحيدة لتقليل هذه الإجهادات اذا كان هذا السلوك غير مرغوب هي استعمال وصلات ذات قدرة على الدوران ، فعندما تكون صلابة العقد أصغر من صلابة الألواح ستحدث دورانات لكن قد تؤثر على استمرارية الشكل و جماليته ،

اذا يراعى عند اختيار مادة الوصلات ثلاث احتمالات أن تكون صلابتها أصغر من اللوح ، أو مساوية لها ، أو أكبر منها ولكل حالة تأثير على الإجهادات في الوجوه و القشرية ككل ، إن السماح ببعض الدوران يمكن أن يخفض فيها الاجهادات دون تأثير كبير على الشكل والاستقرار. الشكل (061).



الشكل (061): التشوهات في الوصلات نتيجة القوى (المصدر 163-25)

و هذا التأثير لا يكون موجوداً عندما يكون السطح شبكي ، حيث لا يكون للألواح تأثير كبير على الوصلات ، لكن عندها يظهر تأثير التحنيط المحلي (Buckling behavior) : حيث أن كل عنصر معرض للحنيط (عندما يكون معرضاً لقوى ضغط محورية) Normal forces وهي القوى الأساسية المؤثرة في القشرية ، وهذا التحنيط يتعلق بطول العنصر ، ونصف قطر عتالة مقطعه ، وطريقة تثبيت الطرفين (طول التحنيط).

وبالتالي إن اختيار شكل العناصر وأبعادها والعقد يلعب دوراً هاماً في تفادي هذه التأثيرات. وهنا يجب التحقق إذا ما كانت بنية المادة قابلة للتحنيب ، وهذا الأمر يتعلق بصلابة هذه المادة و من خلال ذلك يحدد عند تصميم أي قشرية الحمولة التي يبدأ عندها التحنيب ، وبالرغم من أن زيادة سماكة المادة قد توفي بالغرض ، إلا أنه هناك مرحلة تصبح عندها زيادة مقطع المادة ، أمراً غير مجدياً لأن الوزن الذاتي للعنصر هو سيكون سبب أساسي في التحنيب.¹

2-3-4-2- شكل الوصلات و أبعادها

و يجب مراعاة أن يكون شكل الوصلات يحقق التوازن بيت الشكل والغاية الإنشائية المطلوبة و فيما يلي بعض الاعتبارات التي يجب مراعاتها :

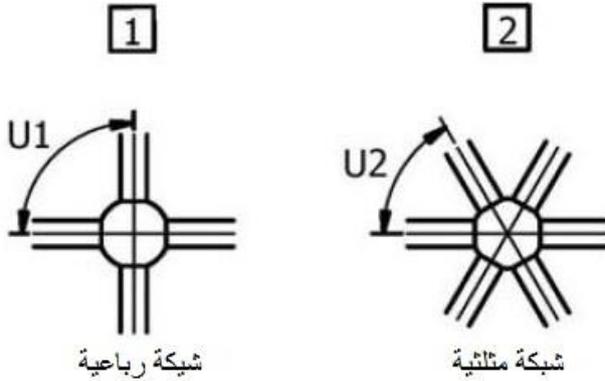
- من الأشكال الأكثر شيوعاً للوصلات عنصراً لقط معدنيين ، يوضع بينهما وبين الزجاج شرائح من النيوبرين (مادة مرنة).

يجب إملاء الوصلات بمادة مطاطية مثل " النيوبرين " هذا يعطي إمكانية أكبر للألواح الزجاجية لتنتقل القوى المحورية بشكل مباشر.

1- عرض الوصلات : عندما تكون الوصلة ذات عرض غير متساوي يؤثر هذا الأمر على صلابتها ، لكن هذه التأثيرات يمكن إهمالها إذا كانت نسبتها صغيرة بالنسبة لعرض الوصلة، إذاً يُفضل تصميم الوصلات بأبعاد منتظمة لتجنب الاجهادات الإضافية فيها.

2- سماكة الوصلات : سماكة الوصلة كذلك لها تأثير على الناحية الجمالية ، وخاصة الشفافية لأنها تتعلق بزوايا النظر والوقوف، لذلك يجب أن لا تكون سميكة جداً.

2-4-4-4- تأثير العقد بين العناصر الإنشائية في الهياكل الشبكية



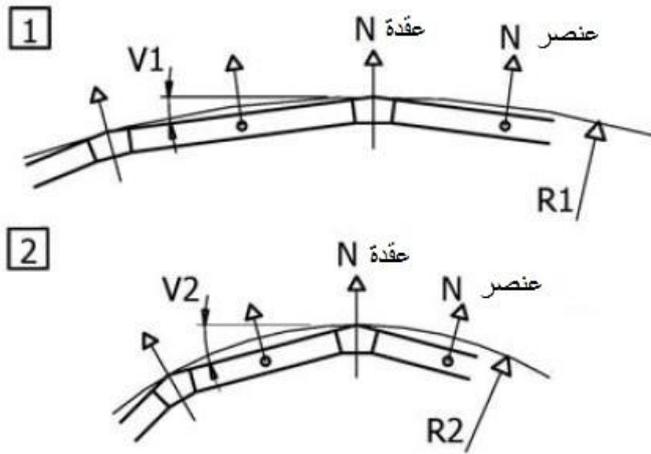
الشكل (062): الزاوية الأفقية للعقد (المصدر 25-163)

تشكل العقد موضوعاً هاماً، حيث أن تصميم السطح يرتبط باختيار نوع العقدة و بالمواد المستعملة والدراسة الإنشائية لهذه العقد بشكل كبير.

و العقد في السطوح التي تعمل بالفعل القشري شأنها شأن الوصلات بين الأجزاء ، لكن الإجهادات فيها تكون أعقد نسبياً ، نظراً لالتقاء عدة وجوه فيها وفي بعض الأحيان تُترك الزوايا حرة لتحرر الإجهادات ، فلا يكون للعقد تأثير مميز على صلابة المنشأة.

لكن الأمر مختلف تماماً عندما يكون السطح شبكي حيث تُعتبر العقدة عندها مكون هام يجب دراسته بشكل معمق، ويكون لكل عقدة ثلاث زوايا تؤخذ بعين الاعتبار عند عملية التصميم و هي الزاوية القطبية U لل عناصر الإنشائية في المستوي المماس للعقدة تدعى بالزاوية الأفقية للعناصر Horizontal angle الشكل (062).

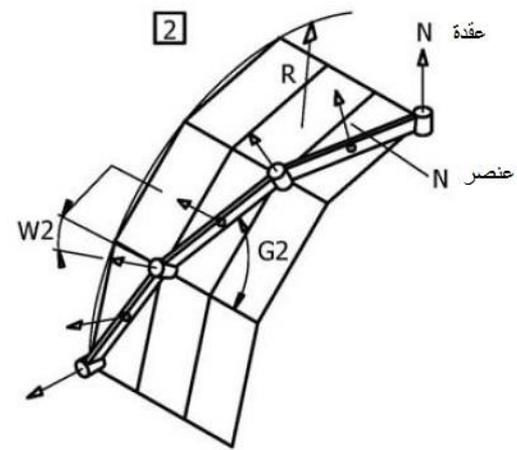
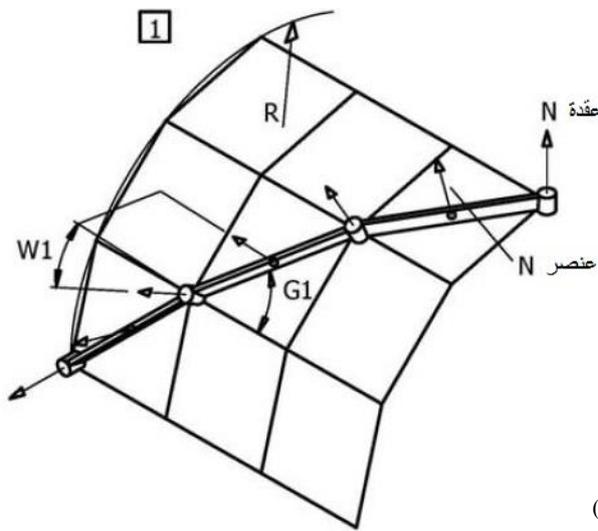
¹ Aanhaanen J. .The Stability of a Glass Facetted Shell Structure (p-165)



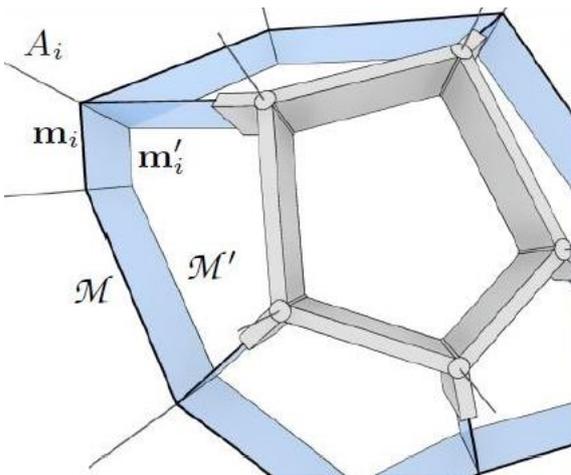
الشكل (063): الزاوية الشاقولية للعقد (المصدر 25-163)

الزاوية الشاقولية V للعناصر الإنشائية وتعلق بالناظم على العقدة تدعى بالزاوية الشاقولية للعناصر Vertical angle. الشكل (063).

الزاوية W بين المستوي الناظم للعناصر الإنشائية والمستوي المحدد بناظم العقدة و محور العنصر تسمى زاوية الفتل Twist angle للعنصر في هذه العقدة¹. الشكل (064).



الشكل (064): زاوية الفتل للعقد (المصدر 25-163)



الشكل (065): هندسة ارتباط محاور العقد مع محاور العناصر الحاملة (المصدر 44-3)

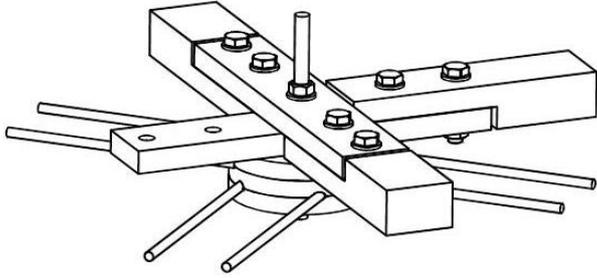
تعتبر هذه الزوايا من أهم مكونات تصميم العقدة، وتحدد ارتباطها مع العناصر الحاملة المرتبطة بها، وتؤثر على الحمولات المتبادلة بين العناصر الحاملة والعقد الشكل (065).
و فيما يلي بعض تصنيفات العقد المستعملة في السطوح الشبكية حرة الشكل.

¹ Stephan S. / Sánchez-Alvarez J. and Knebel K. , Reticulated Structures on Free-form Surfaces (p 6-7)

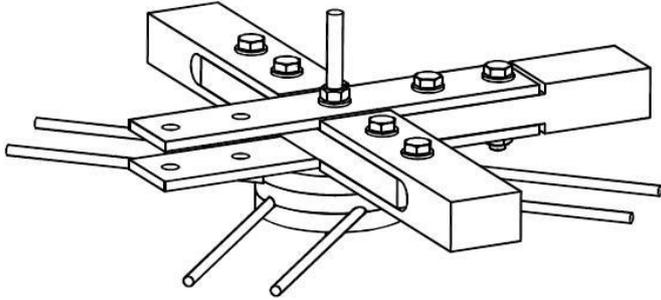
1-4-4-2- العقد المرتكزة على صفيحة تماس Splice connectors (وصلات اللصق)

وهذه الوصلات تتميز بما يلي: السطح الواصل بين العقدة والعنصر الإنشائي يكون على شكل صفائح تلصق ببعضها على المحور الطولي للعنصر الإنشائي ، حيث يتم التثبيت بواسطة مسامير (براغي) تتحمل إجهادات قص¹ ولها عدة احتمالات :

1- تتألف العقدة من صفيحتين مستويتين متصلتين مع بعضها بواسطة برغي واحد مركزي ، وكل عنصر إنشائي يُربط بصفيحة اللصق الأفقية بواسطة مسمارين أو أكثر (براغي) ، المسمار الوسطي يساعد على سهولة ضبط للزاوية الأفقية U بين العناصر الإنشائية ، الزاوية الشاقولية V يمكن أن تحقق من خلال صفائح الوصل القابلة للطي ، زاوية الانحراف تحصل فقط من خلال بعض الأخطاء البسيطة الشكل (066) ، لذلك إن تطبيق هذه العقدة استعمل في العديد من المشاريع مثل سقف باحة متحف تاريخ المدينة في هامبورغ.

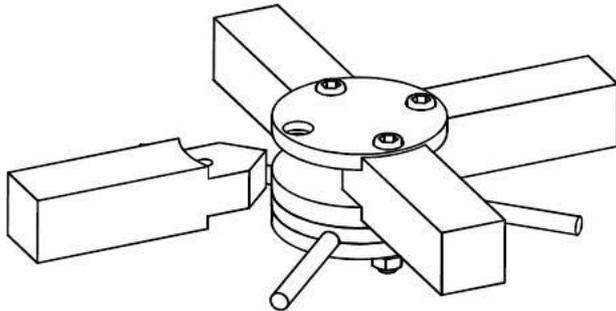


الشكل (066): عقدة مرتكزة على صفيحة تماس نموذج 1 (SBP-1) (المصدر: 9-52)



الشكل (067): عقدة مرتكزة على صفيحة تماس نموذج 2 (SBP-2) (المصدر: 9-52)

2 – وفي نموذج آخر يمكن أن يكون اتصال العناصر الحاملة مع العقد بشكل آخر، حيث ترتبط الصفيحة الوسطية بجزء مفرغ (على شكل شوكة) في نهاية العنصر الإنشائي ببرغيين أو أكثر ، تكون حدود الزوايا الأفقية والشاقولية والانحراف هي نفسها وقد اقترحت هذه النسخة هذه العقد في إنشاء سقف محطة السكك الحديدية في برلين. الشكل (067).

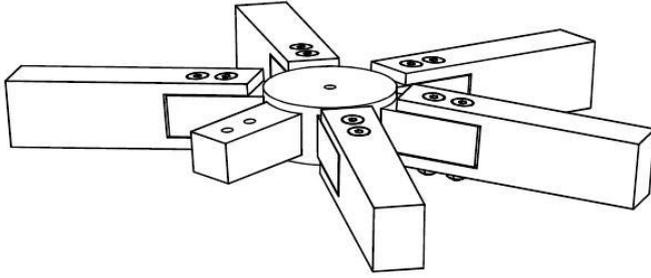


الشكل (068): عقدة مرتكزة على صفيحة تماس نموذج 3 (HEFI-1) (المصدر: 10-52)

3 - تتألف العقدة التالية من قرصين مستويين مع فتحات وثقوب دائرية عليها، وتُجهز العناصر الإنشائية بلسان مشطوف الزوايا في نهاياتها وتدخل في الفراغ بين القرصين وتثبت مع بعضها ببرغي. الشكل (068) الزوايا الأفقية والشاقولية وزوايا الانحراف في العناصر الإنشائية يمكن أن تحدد من خلال تصنيع اللسان في هذه العناصر ومكان الثقوب.

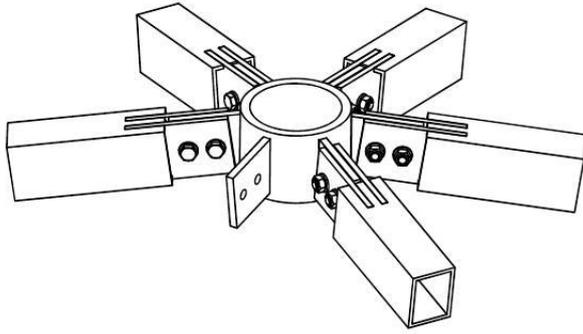
¹ Stephan S. / Sánchez-Alvarez J. and Knebel K. , Reticulated Structures on Free-form Surfaces (p-9)

وقد طبقت هذه العُقد في سقف الفراغ الداخلي في Berlin Friedrichrass .



الشكل (069) : عقدة مرتكزة على صفيحة
تماس نموذج 4(SBP-3) (المصدر 10-52)

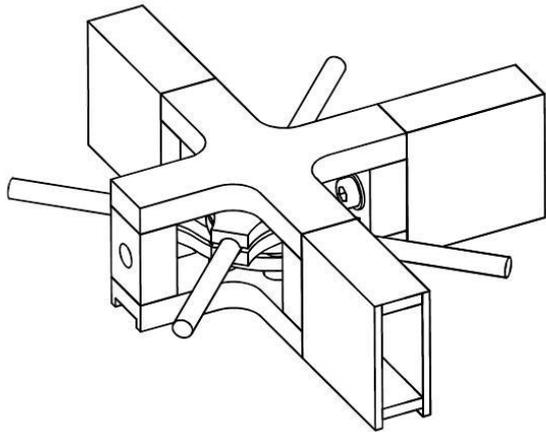
4- طريقة أخرى للعقد ، حيث تتألف العقدة من صفيحة دائرية مزودة بعدد من الأصابع التي تُستخدم للوصل ، والعناصر الإنشائية جُهزت بنهايات على شكل شوكة تُربط بأصابع العقدة بواسطة برغيين أو أكثر ذات قص مضاعف. الشكل (069).
الزوايا الأفقية والشاقولية والانعطاف للعناصر تحدد بطريقة تصنيع العقد والأصابع وخاصة الزاوية الشاقولية.



الشكل (070): عقدة مرتكزة على صفيحة
تماس نموذج 5 (POLO-1) (المصدر 10-52)

5- طريقة رابعة بأن تكون العقدة ذات عناصر اتصال شاقولية ، وقد طورت هذه العقد من قبل Polonyi & Fink في ألمانيا من أجل سقف محطة السكك الحديدية في كولونيا. الشكل (070).
تتألف هذه العقدة من أسطوانة موشور في الوسط وعدد من صفائح الوصل الموضوعية بشكل شاقولي والمجهزة بثقوب أما العناصر الإنشائية لها صفيحتان شاقوليتان في نهايتها على شكل شوكة.

ويمكن أن تتم العملية بشكل معاكس ، بحيث تكون القطع المثبتة على شكل شوكة يوضع بينها العنصر الإنشائي، الزوايا الأفقية والشاقولية والانحراف تُحدد من خلال تصميم صفائح التثبيت وبفضل التوجيه عزوم انعطاف أكبر يمكن نقلها من خلالها ، وقد استخدمت عقد مماثلة لممر البنك الألماني في برلين.



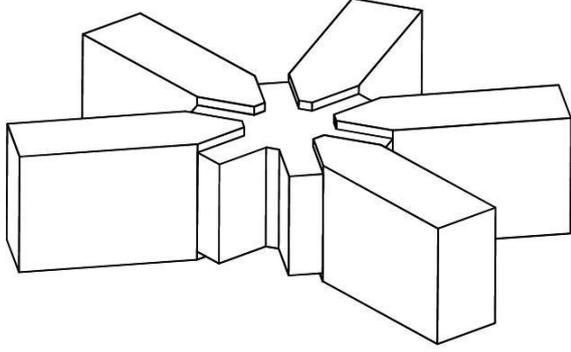
الشكل (071): عقدة مرتكزة على تجاور وجوه
نموذج 1 (SBP-4) (المصدر 11-52)

2-4-4-2- العقد المرتكزة على تجاور الوجوه - end face connectors (وصلات وجوه النهاية)

تتميز هذه الوصلات بما يلي:
- سطح الاتصال بين العقدة ووجه نهاية أو طرف العنصر الإنشائي هي موجودة في الاتجاه العرضي أو العمودي على المحور الطولي للعنصر الإنشائي. - يمكن أن يتم الوصل كما في الحالة السابقة بواسطة براغي ذات إجهادات شد - Tension Stessed أو بواسطة اللحام. و لها أشكال مختلفة ¹.

¹ Stephan S. / Sánchez-Alvarez J. and Knebel K. , Reticulated Structures on Free-form Surfaces (p-11)

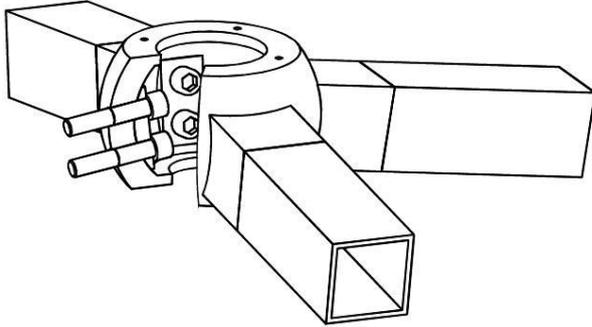
1- وهذه العقدة تتألف من صفيحتين ذات شكل متصلب، وأربع صفايح شاقولية تصل بين الأطراف العناصر الإنشائية ، حيث تُربط مع نهاية الوجوه في العقدة بواسطة اللحام . الشكل (071).
استعملت في سقف باحة Schlueterhof في المتحف التاريخي الألماني في برلين.
يمكن أن تحقق الزوايا الأفقية للعناصر الإنشائية فقط من خلال شكل الصفيحة المتصلبة ، والزوايا الشاقولية يمكن أن تضبط من خلال شكل نهايات العقدة end faces الصفايح الشاقولية، يمكن أن تظهر زوايا الانحراف فقط من خلال بعض مشاكل التنفيذ.



الشكل (072) : عقدة مرتكزة على تجاور وجوه نموذج 2 (WABI-1) (المصدر 11-52)

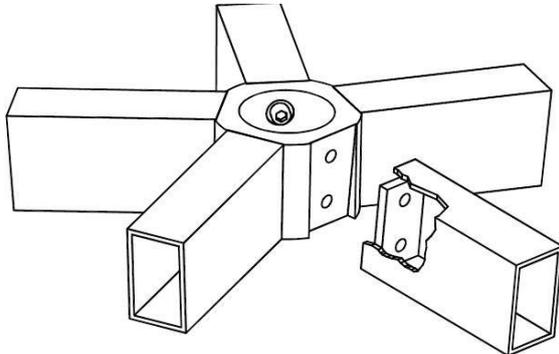
2-العقدة المستعملة في سقف باحة المتحف البريطاني بلندن ، وتتألف العقدة من صفيحة على شكل نجمة خماسية أو سداسية ، وكل ذراع منها تكون وسط عنصرين إنشائيين ترتبط معها باللحام وجوه الاتصال في العنصر الإنشائي المقصودة في الاتجاهين ، لتلائم مع الفجوة بين ذراعي العقدة ، سماكة صفيحة العقدة تكون أقل سماكة من ارتفاع العناصر الإنشائية. الشكل (072).

السطحان العلوي والسفلي لصفيحة العقدة تتصل مع العناصر الإنشائية بواسطة لحام مشطوف .
الزوايا الأفقية والشاقولية والانحراف للعناصر الإنشائية في هذه العقدة تتحقق من خلال طريقة شطف زوايا العناصر الإنشائية .



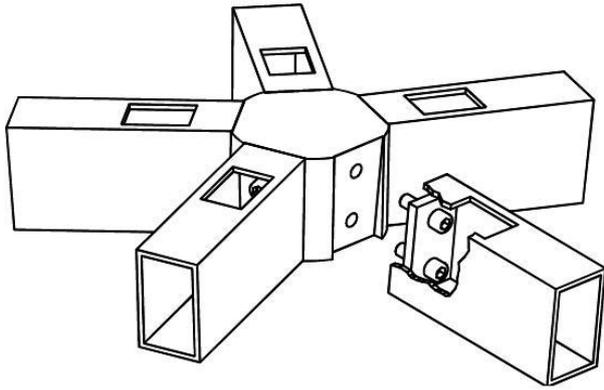
الشكل (073): عقدة مرتكزة على تجاور وجوه نموذج 3 (OCTA-1) (المصدر 11-52)

3-تتألف هذه العقدة من كرة مجوفة ذات فتحات في الأعلى والأسفل ، وكل عنصر إنشائي يرتبط بالعقدة الكروية بواسطة برغيين خارجيين من داخل الكرة المجوفة ، الشكل (073) لتتحقق الزوايا الأفقية والشاقولية. يتحقق الانحراف في العناصر الإنشائية في هذه العقد من خلال هندسة الثقوب التي تثبت فيها البراغي.



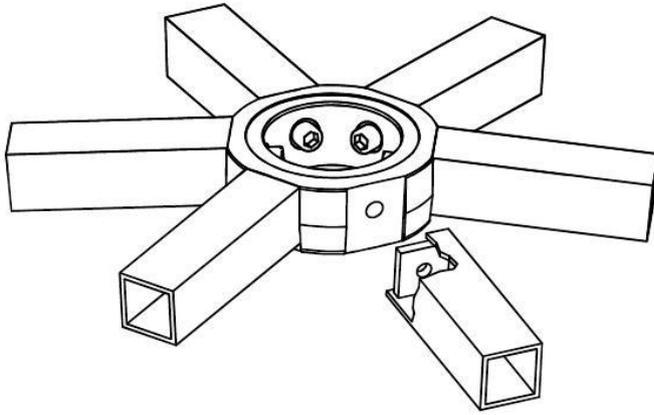
الشكل (074) : عقدة مرتكزة على تجاور وجوه نموذج 4 (MERO-1) (المصدر 11-52)

4- نموذج آخر يتألف من أسطوانة مجوفة مجهزة بفتحات كل عنصر إنشائي يتصل بها بواسطة برغيين تكون خارجة من داخل التجويف، الشكل (074) الزوايا الأفقية والشاقولية وزوايا الانحراف للعناصر الإنشائية تتحقق بواسطة توجيه المستويات الجانبية للعقدة تسمح هذه الوصلات بنقل عزوم انعطاف كبيرة جداً.



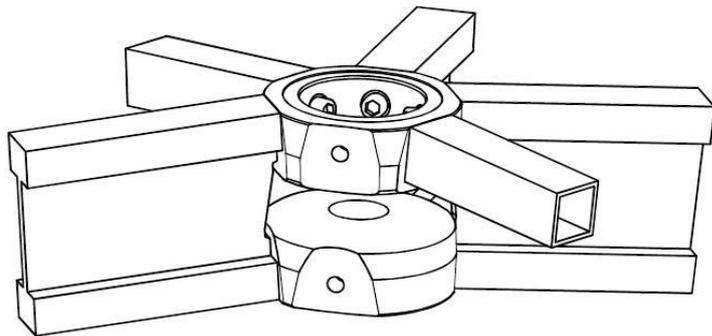
الشكل (075) : عقدة مرتكزة على تجاور
وجوه نموذج 5 (MERO-2) (المصدر 12-52)

5- لقد تطور هذا النموذج من العقد من أجل السقف في المحور الرئيسي ومركز الخدمات في المعرض الجديد في ميلانو بإيطاليا، وكلا السقفين هما إنشاء شبكي حر الشكل، العنصر الوسطي مصمت ويرتبط مع العناصر الحاملة ببراعي الشكل (075).



الشكل (076) : عقدة مرتكزة على تجاور
وجوه نموذج 6 (MERO-3) (المصدر 12-52)

6- يمكن أن يتم في هذا النموذج وصل العناصر مع الجزء الوسطي بواسطة برغي واحد ، لكن في هذه الحالة يجب الانتباه إلى أن لا تتعرض العناصر للدوران الشكل (076).



الشكل (077): عقدة مرتكزة على تجاور وجوه
مضاعفة نموذج 7 (MERO-4) (المصدر 13-52)

7- يمكن أن تكون العقدة مضاعفة يرتبط بها عنصر واحد سميك أو عنصرين متوازيين ، الأمر الذي يزيد من الاستقرار الانشائي للمبنى الشكل (077). تتحدد الزوايا الأفقية والشاقولية والانحراف بواسطة سطوح الاتصال ، هذه العقد تستطيع نقل عزوم انعطاف كبيرة.

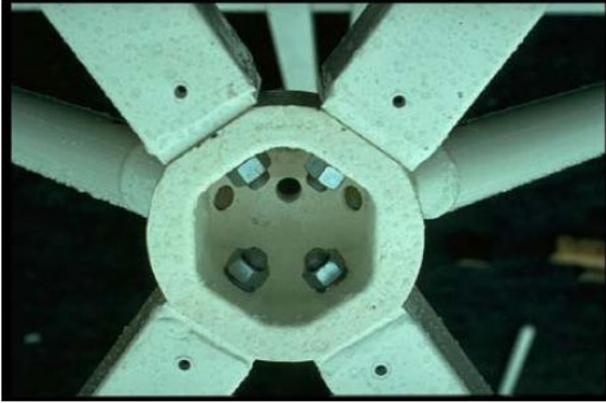
2-4-4-3- العقد الكروية

- العقد الكروية (تُستخدم في الهياكل الفراغية) ويرتبط بها الإكساء مباشرة بواسطة لواقط ، وإذا كانت عناصر الإكساء تتطلب دعماً خطياً فإن إطارات ثانوية أو مدادات يجب أن تُربط بهذه الكرات، الصورة (034).



الصورة (034) : عقدة كروية تربط بين عناصر شبكية فراغية (المصدر 8-52)

- العنصر المكمل للعقد الكروية في الهياكل المضاعفة هو العقدة المجوفة bowl node ، وهي تسمح باستخدام عناصر إنشائية ذات مقطع مخروطي في الطبقة الخارجية لكي تدعم بشكل مباشر عناصر الإكساء. الصورة (035).



الصورة (035) : عقدة نصف كروية من نموذج آخر (المصدر 8-52)

2-4-4-4- مقارنة بين العقد

الجدول(02):مقارنة بين أنواع العقد و ملائمتها للاستخدام (المصدر52-14)

| العقد | | | زوايا العقد | | | نقل القوى الداخلية | |
|-------|----------------------|------------------------|-----------------|-------------------|-------------|--------------------|---------------|
| الشكل | الرمز | طريقة الوصل | الزاوية الأفقية | الزاوية الشاقولية | زاوية الفتل | القوى الناظمية | عزوم الانعطاف |
| 062 | SBP-1 | تماس، براغي | + | + | O | + | O |
| 063 | SBP-2 | تماس، براغي | + | + | O | ++ | + |
| 064 | HEFI-1 | تماس، براغي | ++ | + | + | ++ | ++ |
| 065 | SBP-3 | تماس، براغي | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ |
| 066 | POLO-1 | تماس، براغي | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ |
| 067 | SBP-4 | تجاور صفائح ، لحام | + | + | O | +++ | +++ |
| 068 | WABI-1 | تجاور صفائح ، لحام | ++ | ++ | + | +++ | +++ |
| 069 | OCTA-1 | تجاور صفائح ، براغي | ++ | +++ | ++ | ++ | ++ |
| 070 | MERO-1(Cylinder) | تجاور صفائح ، براغي | ++ | ++ | + | ++ | ++ |
| 071 | MERO-2 (Bolck) | تجاور صفائح ، براغي | ++ | +++ | ++ | ++ | ++ |
| | | تجاور صفائح ، لحام | ++ | +++ | ++ | +++ | +++ |
| 072 | MERO-3 (Dish) | تجاور صفائح ، براغي | ++ | ++ | ++ | ++ | + |
| | | تجاور صفائح ، لحام | ++ | +++ | ++ | ++ | ++ |
| 073 | MERO-4 (Double dish) | تجاور صفائح ، براغي | ++ | ++ | + | ++ | ++ |
| | | تجاور صفائح ، لحام | ++ | +++ | ++ | +++ | +++ |

- O محدود الملائمة .
- + ملائمة مقبولة.
- ++ ملائمة جيدة.
- +++ ملائمة ممتازة.

2-5- تحليل النماذج المدروسة

الجدول (03): ملخص لتحليل النماذج العالمية المدروس

| رقم المشروع | اسم المشروع | طريقة التبسيط | الوظيفة | النظام الانشائي | الوصلات و العقد | مواد التنفيذ | صورة المشروع |
|-------------|-----------------------------|------------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|---|
| 1 | جناح الولايات المتحدة ديزني | منفصلة بوجوه ثلاثية | جناح معرض | انشاء شبكي على طبقتين | عقد معدنية | المعدن |  |
| 2 | أوبرا غانغز هو | منفصلة بوجوه ثلاثية | أوبرا | انشاء شبكي الوجوه فقط للتغطية | عقد معدنية | معدن و زجاج وحجر |  |
| 3 | Golden terrace | منفصلة بوجوه ثلاثية | محطة قطارات | انشاء شبكي الوجوه فقط للتغطية | عقد معدنية | معدن و زجاج |  |
| 4 | My zeil | منفصلة بوجوه ثلاثية | مركز تجاري | انشاء شبكي الوجوه فقط للتغطية | عقد معدنية | معدن و زجاج |  |
| 5 | متحف سيلفادور دالي | منفصلة بوجوه ثلاثية | متحف | انشاء شبكي الوجوه فقط للتغطية | عقد معدنية | معدن و زجاج |  |
| 6 | محطة نومستر ابيي | منفصلة بوجوه ثلاثية و رباعية | محطة قطارات مترو | انشاء شبكي الوجوه فقط للتغطية | عقد معدنية | معدن و زجاج |  |

| | | | | | | | |
|---|-----------------------|----------------------------|--|--------------------|---------------------|-----------------|----|
|  | معدن و زجاج | عقد معدنية | انشاء شبكي على طبقتين الوجوه فقط للتغطية | صالة حفلات | منفصلة بوجوه رباعية | مبنى Sage | 7 |
|  | معدن و زجاج | عقد معدنية | انشاء شبكي على طبقتين الوجوه فقط للتغطية | فندق و مركز ترفيهي | منفصلة بوجوه رباعية | فندق ياس | 8 |
|  | معدن و زجاج | عقد معدنية | انشاء شبكي الوجوه فقط للتغطية | مبنى متعدد الوظائف | منفصلة بوجوه رباعية | The Opus | 9 |
|  | معدن و زجاج | عقد معدنية | انشاء شبكي مع روابط قطرية الوجوه فقط للتغطية | متحف | منفصلة بوجوه رباعية | منزل وحيد القرن | 10 |
|  | معدن و مراد بلاستيكية | عقد معدنية | انشاء شبكي على طبقتين | معرض نباتات | منفصلة بوجوه سداسية | حدائق عدن | 11 |
|  | خشب | عناصر معدنية تصل قطع خشبية | انشاء شبكي | جناح معرض | منفصلة بوجوه سداسية | جناح Kredo | 12 |

| | | | | | | | |
|---|-----------------|--|---|----------------|--|--------------------------|----|
|  | معدن | — | الواجهة مثبتة على المبنى ألواح تزيينية فقط | مركز تجاري | وجوه دائرية | مركز برمنغهام | 13 |
|  | معدن و زجاج | عقد معدنية | انشاء شبكي الوجوه فقط للتغطية | محطة قطارات | نصف منفصلة ألواح منحنية باتجاه واحد | محطة ستراسبورغ | 14 |
|  | معدن و زجاج | عقد معدنية | انشاء شبكي الوجوه فقط للتغطية | محطة قطارات | نصف منفصلة ألواح منحنية باتجاه واحد | محطة أفينيون | 15 |
|  | خشب | خشبية | تساهم الأواح في نقل الحمولة | صالة مسارح | نصف منفصلة ألواح منحنية باتجاه واحد | صالة المسارح ديزني | 16 |
|  | شرائح معدنية | تمت معالجة الفواصل بين الشرائح | الشراح للاكساء فقط الانشاء مخفي | محطة قطارات | شرائح قابلة للفرد | محطة ملبورن | 17 |
|  | معدن و زجاج | عقد معدنية | انشاء شبكي الوجوه فقط للتغطية | محطة قطارات | مستمرة ألواح منحنية باتجاهين | محطة سان لازار | 18 |

| | | | | | | | |
|--|--------------|---------------------------------|---|---------------|------------------------------|---------------|----|
|  | صفائح معدنية | تمت معالجة الفواصل بين الألواح | الألواح للاكساء فقط الانشاء مخفي | محطة قطارات | مستمرة ألواح منحنية باتجاهين | محطة اينسبرك | 19 |
|  | صفائح معدنية | تمت معالجة الفواصل بين الصفائح | الألواح للاكساء فقط الانشاء مخفي | قاعة اجتماعات | مستمرة ألواح منحنية باتجاهين | قاعة بنك DZ | 20 |
|  | بيتون | غير مرئية بين الأجزاء البيتونية | قشرية صفائحية | مركز ثقافي | سطوح مسطرة | مركز كاغلياري | 21 |
|  | صفائح معدنية | تمت معالجة الفواصل بين الصفائح | الجزء الحامل قشرية بيتونية صفائحية مغطاة بصفائح | مركز ثقافي | أجزاء منفصلة و أجزاء مسطرة | مركز Heydar | 22 |

الفصل الثالث:

التقنيات و البرامج الرقمية المستعملة في تصميم و تنفيذ السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة

الفصل الثالث:

التقنيات و البرامج الرقمية المستعملة في تصميم و تنفيذ السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة

إن الهيئة المميزة للسطوح ذات الأشكال غير المنتظمة ، جعلت من الصعب جداً إن لم يكن مستحيلاً رسمها ودراستها وتنفيذها بالطرق اليدوية التقليدية، وباستخدام الحسابات العادية كون الارتيايات والانحرافات غير مسموحة مطلقاً في هذه المنشآت ، إلا بنسب صغيرة تكاد تكون معدومة وغير مرئية، كون هذه الارتيايات تؤثر على انسيابية الشكل ، والتصميم ، والاستقرار الانشائي ، فعملية الرسم و التفريد والتصنيع بما تضمنته من قص و حني وغيرها من العمليات ، لا يمكن تحقيقها بالدقة المطلوبة إلا باستخدام تقنيات فائقة الدقة ، لذلك فإن كل التقنيات الهندسية المُستعملة في مراحل التصميم و الدراسة وحتى تنفيذ هذه المباني ، لا يمكن أن يتم التحكم بها إلا بواسطة برمجيات خاصة وأدوات رقمية متطورة تعطي النتيجة الدقيقة المطلوبة .

وقد أتاحت برامج التصميم والتنفيذ الهندسي بواسطة الحاسب حلاً دقيقاً ذات ضوابط هندسية قوية في التصميم والتصنيع ، أدت الغرض المطلوب فطبقت هذه الدراسات في البداية على مجموعة من النماذج الهندسية ثلاثية الأبعاد بغرض الدراسة فقط ، وتم استخلاص النتائج ، وما أن أدخلت هذه التقنيات في مجال العمارة الحديثة ، حتى شهد ظهوراً سريعاً لعدد من المباني المهمة ذات التصميم المميز . وفيما يلي دراسة لأهم التقنيات التي تُستخدم في المشروع انطلاقاً من مرحلة الفكرة حتى مرحلة التركيب :

3-1- تقنيات التمثيل الرقمي للمشروع

إن موضوع إيجاد تمثيل هندسي لائق للأفكار المعقدة المطروحة ، يشكل إحدى أهم المشاكل التي أعاققت تنفيذ السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة في مراحل سابقة ، حيث أنه كان يستحيل استخدام الطرق اليدوية التقليدية للحصول على مخططات دقيقة قابلة للتنفيذ بدون ارتيايات وأخطاء وحتى تقنيات الرسم بالحاسوب الـ CAD القديمة التي استخدمت سابقاً في بناء الحجوم التقليدية ، لا تدعم هذه الإمكانية بالشكل المطلوب، لذلك تطلب الأمر إيجاد تقنيات للرسم ثلاثي الأبعاد، تعتمد على خوارزميات رقمية خاصة تدعم إمكانية إيجاد كيانات هندسية تُعبر عن هذه السطوح ، و تجعلها ممكنة التطبيق والتنفيذ ، وترتكز تقنيات الرسم هذه بشكل أساسي على استخدام المنحنيات والسطوح غير المنتظمة، وخاصة النيربز NURBS التي درسناها في الفصل الأول بكل خواصها وإمكانيات تعديلها و تطويرها ، وتُقسم تقنيات التمثيل الرقمي المستعملة لرسم السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة إلى قسمين بحسب طبيعة الأفكار الأولية التي وضعها المعماري:

3-1-1- تقنيات الرسم و التصميم الرقمي :

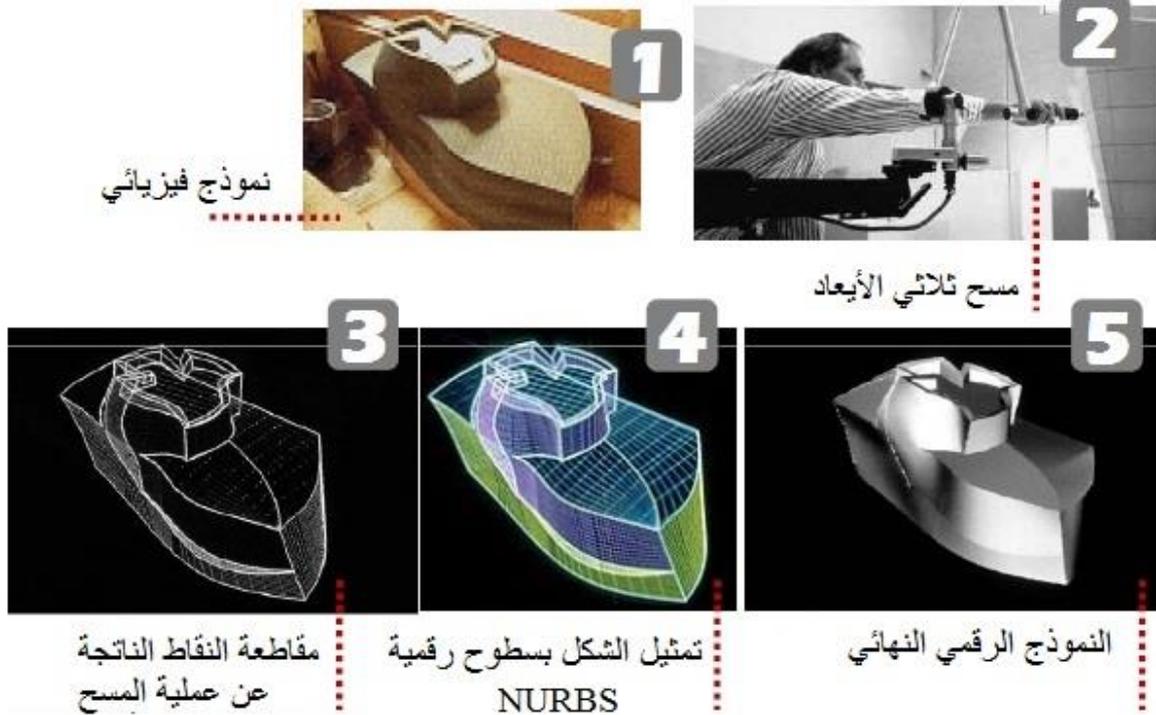
تُستعمل هذه الأدوات عندما يراد تصميم الأشكال ، وإيجاد الهيئة الهندسية الممثلة للسطوح رقمياً بشكل مباشر دون اللجوء إلى نماذج فيزيائية.

وهي عبارة عن برمجيات تُستخدم لرسم المنحنيات والسطوح بتقنية النيريز NURBS ، وتتيح إمكانية التحكم بمضلعات التحكم الخاصة بها لتوفير إمكانيات إجراء تعديلات حرة عليها للوصول إلى الانحناءات النهائية المطلوبة والتنوع المطلوب في الأشكال ، كما تتيح الربط بين عدة سطوح للوصول إلى الشكل المعماري الانسيابي المطلوب. وهنا تختلف هذه البرامج عن البرامج العادية بطريقة حفظ بيانات هذه الأشكال ، فتحفظها ككائنات هندسية ذات معايير خاصة ، كما شرحنا سابقاً في الفصل الأول عند تعريف السطوح والمنحنيات غير المنتظمة ، ولا تعبر عنها بمعادلات رياضية لنقط ذات إحداثيات، وعند استخدام هذه التقنيات يقوم المصمم بوضع التصميم خلال مرحلة الرسم نفسها .

3-1-2- تقنيات إعادة التمثيل الرقمي :

تُستعمل هذه الأدوات عندما يقوم المعماري بتصميم الأشكال بواسطة نماذج فيزيائية مصغرة كونها تتميز بمرونتها وانفتاحها ، إضافة إلى كونها تعطي المصمم فكرة واضحة ومعلومات حقيقية يدركها باليد والعين. ولكن هذه النماذج صغيرة توضح الحجم وهيئة المبنى فقط ، لذلك ولكي نحول هذه الأفكار والنماذج إلى مباني واقعية نكون بحاجة إلى تمثيل رقمي صحيح لهذه الأفكار يساعد فيما بعد على إيجاد تحليلها ودراستها ، ومتابعة مراحل التنفيذ الشكل (078). وهنا نتعامل مع تقنيات إعادة التمثيل الرقمي وهي المرحلة الضرورية لتحويل نموذج فيزيائي إلى نموذج حاسوبي رقمي ممثل بسطوح معرفة رقمياً .

وبالرغم من وجود تقنيات مسح رقمي متطورة تدعم هذا الغرض ، إلا أن معرفة هندسية جيدة وفهم مراحل العملية أمران ضروريان للحصول على نتائج ممتازة . في البدء علينا معرفة ما هي البيانات المطلوبة للحصول عليها ، فمن الهام أن تكون المعلومات المُدخلة محددة ، وعملية معالجة البيانات فعالة لتعطي النتائج المرجوة و التفاصيل المطلوبة .



الشكل (078): مراحل دراسة مبنى متحف بلباو انطلاقاً من نموذج فيزيائي (المصدر 14-26)

إن أي شكل أو منحوتة يمكن التقاطها من خلال مجموعة متناثرة من الأضلاع الرمزية في الفراغ ، أو من خلال مجموعة نقاط تلتقط من خلال مسح ثلاثي الأبعاد. ثم تتم عملية النقل لمختلف البيانات وتخزينها ، و تتم عملية تقييم وضبط تساعد على ملائمة البيانات المُدخلة مع بعضها ، للحصول على تمثيل ملائم الشكل التالي يوضح حالة مبنى متحف غوغنهايم Guggenheim في بلباو الذي تم تصميمه انطلاقاً من نموذج فيزيائي أجريت له عملية مسح رقمي من خلال مساحات ، ثم معالجة النقاط للحصول على التمثيل الرقمي المطلوب.

ما هي طرق المسح الرقمي :

- **الأذرع الرقمية** : عبارة عن أذرع يكون لها عدة درجات حرية ، وكل وصلة تكون مزودة بحساس يقيس الزوايا ، ومن هذه البيانات تُقاس أي نقطة فراغياً. وهي طريقة مناسبة للحصول على خصائص مميزة للنموذج . إن وصل النقاط على السطح بواسطة أضلاع يعطي مثلثات وتسمى عملية التثليث .

- **المساحات البصرية** : تعتمد العديد من المساحات ثلاثية الأبعاد على تقنيات بصرية ، وهي تعتمد على إسقاط ليزري لنقل الصورة بواسطة كاميرا أو أكثر ، ويوجد منها للمسافات الصغيرة والمتوسطة . و عند مسح أي شكل يجب علينا القيام بأكثر من مسح للحصول على الدقة المطلوبة ، وعدد هذه المسوحات يتعلق بتعقيد السطح ، وهذا العدد يمكن أن يصل إلى المئة إذا تطلب الأمر تفاصيل كثيرة . ثم تجمع كل هذه المعلومات بنظام إحداثيات واحد. بعملية التسجيل Registration بجمع كل هذه المعلومات معاً و فلترتها للاحتفاظ بالمعلومات اللازمة فقط .

بعد مسح الشكل بأي طريقة من الطرق السابقة تكون البيانات المعيارية التي حصلنا عليها تضم عدداً كبيراً من النقاط، ويكون لدينا مشاكل وأخطاء في القياس يجب التعامل معها، حيث أنه فقط المناطق من السطح S التي ترى مباشرة من نقطة الماسح سوف تلتقط ، فقد تكون هناك معلومات زائدة مثل نقاط قريبة جداً من بعضها أو أخطاء قياس أخرى ، لذلك يجب أن تخضع لعملية تجذيب من خلال برمجيات خاصة. و بعد تطبيق كل هذه المراحل نكون قد حصلنا على نموذج رقمي مناسب لاستمرار مراحل العمل .

و هناك نظم أخرى مثل نظام تصوير حجمي مثل CTxanners ينقل كذلك معلومات عن داخل الشكل ، لكنه موضوع أقل أهمية في العمارة لأنه يكفي الحصول على الشكل الخارجي للمجسم¹.

3-2- تقنيات التحليل الرقمي للسطوح

بعد الحصول على نموذج رقمي لهيئة السطح المطلوب تنفيذه و قبل تصنيعها يجب تحليل ودراسة مدى ملاءمة هذه السطوح المصممة وقابليتها للتنفيذ من نواحي عديدة ، وفي الواقع يجب القيام بتحليل عميق للتأكد أن الشكل ليس مجرد محاكاة بصرية ، بل هو تكوين يمكن تنفيذه بشكل يحقق الفكرة المطلوبة .

و تهدف هذه التحاليل لإيجاد التشوهات غير المرغوب بها (كالنتوءات الصغيرة) ، التي يصعب تنفيذها ، والتي تُرى فقط من خلال بعض المناظير التي لها شروط إضاءة محددة ، كونها ذات تأثيرات

¹ Potmann H. , Architectural geometry (p-607)

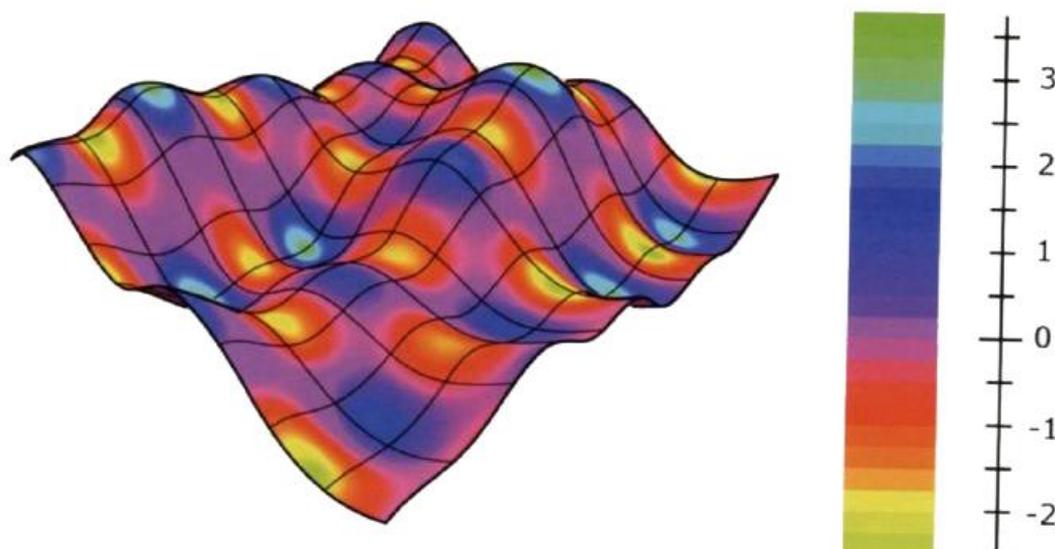
سيئة على الشكل النهائي المنفذ و تزيد من صعوبة التنفيذ . و يهدف كذلك إلى التأكد من عدم وجود مناطق من السطح غير مستقرة انشائياً ، و بالتالي معرفة ما اذا كان الشكل قابلاً للاستناد بشكل مستقر و تتلخص التحليلات بالنقاط الثلاث التالية:

3-2-1- تحليل سلوك الانحناء

إن تحليل انحناء السطح (Curvature of Surfaces) يهدف للكشف عن المناطق ذات الانحناءات غير المرغوبة ، أو الانحناءات الكبيرة جداً ، والمناطق المشوهة صعبة التنفيذ ، وتحديد إمكانية إجراء تغييرات في الانحناءات غير المناسبة على طول السطح للوصول إلى الانحناءات الملائمة للتصميم و القابلة للتنفيذ فيما بعد.

إن معرفة المزيد عن الانحناءات سوف يجعلنا نفهم السطح بشكل أفضل و سوف يساعد على اختيار المواد ، و طريقة التبسيط الملائمة بحسب كل منطقة في مرحلة لاحقة .

إن سلوك الانحناء لسطح ما من الصعب أن يتم نقله بواسطة صورة مظلة عادية ، وبالتالي تُستخدم الأدوات التي تعتمد على تمثيل السطح بواسطة صورة رمزية بالألوان Color-coded images ، حيث أن قيم مقياس الانحناء المطلوب انحناء " غاوس " مثلاً K أو متوسط الانحناء H (أو أي مقياس أخرى) . مطلوب تحليله يعبر عنه بهذه الألوان و تدرجاتها ¹ اللون مرتبط بقيمة انحناء غاوس فمناطق انحناء غاوس المعدوم لونها بنفسجي و يتغير اللون بتغير القيمة و الاتجاه سلبي و ايجابا الشكل (079).

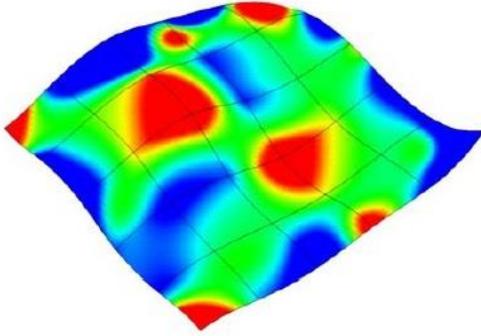


الشكل (079): سطح غير منتظم ممثل بألوان تعبر عن قيم انحناء غاوس في كل نقطة من نقاطه (المصدر 83-20)

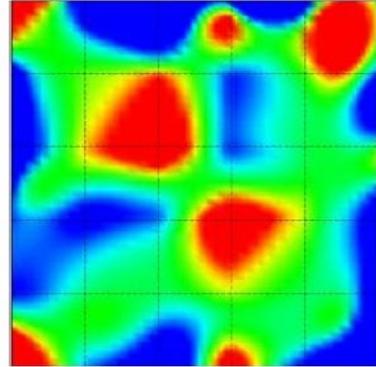
وبهذه الطريقة فإن نقاط التشوهات في السطوح يمكن أن تكون واضحة ، وكذلك المناطق ذات الانحناءات الكبيرة التي تخلق صعوبات في التنفيذ يتم تمييزها من خلال لونها المختلف، وعندما يمكن تعديل تصميم السطح بشكل يلغي هذه الأماكن غير المرغوبة ، و يسمح بالانتقال إلى مرحلة التحويل لوجوه بدون مشكلات .

¹ Potmann H. , Architectural geometry (p-487)

من التطبيقات الهامة أيضا لدراسة انحناءات السطح إسقاط التمثيل الملون الرقمي على سطح مستوي ليساعد على فهم الانحناءات بشكل أفضل و تبديل اللون يدل على تبديل قيم انحناء غاوس الشكل (080).



تمثيل لقيم انحناء غاوس



فرد تمثل الانحناء على مستوي $\langle \mathbb{R}^2 \times \mathbb{R} \rangle$

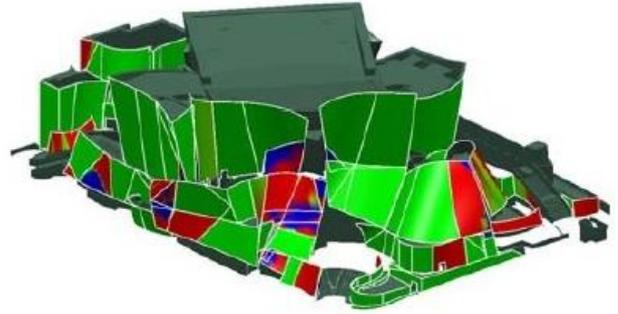
الشكل (080) : تمثيل انحناء غاوس على مستوي (المصدر 30-278)

من الأمثلة على تحليل سلوك الانحناء في المشاريع المنفذة عالميا دراسة المعماري "فرانك غيري" لمبنى قاعة الحفلات الموسيقية في ديزني Disney Music Hall الشكل (081)

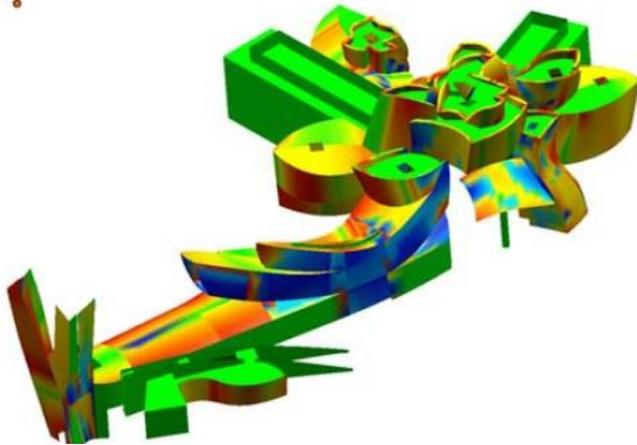


نموذج فيزيائي للمشروع

الشكل (081) : تحليل انحناء غاوس لمشروع قاعة الحفلات الموسيقية ديزني (المصدر 30-197)



تحليل انحناء غاوس للمشروع

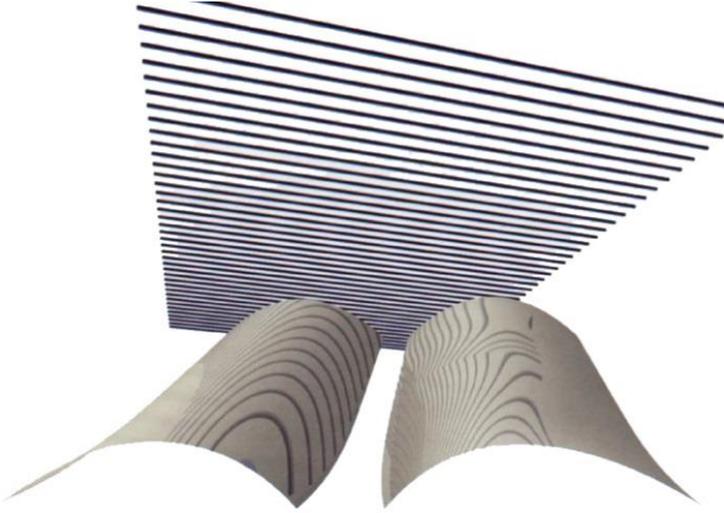


مثال آخر على دراسة سلوك الانحناء للمشاريع دراسة متحف بلباو الذي صممه المعماري "فرانك غيري" الشكل (082).

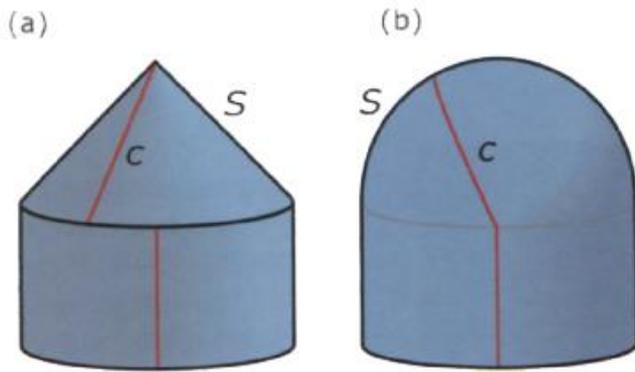
الشكل (082) : تحليل انحناء غاوس لمشروع متحف بلباو (المصدر 30-197)

3-2-2-2- خطوط ضبط الجودة Optical lines for Quality Control

إذا بني السطح المراد S من المعدن اللامع ، فإن المشهد المحيط سوف يكون معكوساً عليه كما في المرآة ، وهذه الانعكاسات ليست عبارة عن إسقاطات بسيطة ، حيث أن الطريقة التي سوف نرى بها صورة الانعكاس على السطح تعتمد كذلك على نواظم السطح ، وبهذه الطريقة يمكن أن نراقب بعض السلوكيات غير المتوقعة في السطح المنحني ، وأن نمتحن الحالة الهندسية لهذه السطوح بواسطة توليد خطوط الانعكاس $\text{Generation of reflection Lines}$ ، والتي نرى انعكاساتها على السطح المفروض الشكل (083).



الشكل (083) : تحليل استمرارية السطوح من خلال خطوط الانعكاس الجزء الأيمن يوضح انقطاع في الاستمرارية و الجزء الأيسر يوضح الاستمرار (المصدر 20-504)



الشكل (084) : حالات خطوط الانعكاس اليمين تظهر نقطة تغير الانعطاف على السطح اليسار تغيير الانعطاف و المماس (المصدر 20-507)

من أجل التوليد الهندسي للخط المنعكس L' سوف نتذكر بداية قانون الانعكاس ، الشعاع القادم r والشعاع المنعكس r^* يتوضع كلاهما في مستوي يمر من خلال الناظم على السطح n في نقطة الانعكاس P ، وكذلك الزاوية بين الشعاع الوارد والناظم تساوي الزاوية بين الشعاع المنعكس والناظم.¹

من السلوكيات غير المرغوبة التي يمكن كشفها باستخدام هذه التقنية إيجاد أماكن اختلاف الانحناءات ، فإذا كان هناك جزءان متصلان من سطح والمماسات متطابقة على طرفي مكان الاتصال ، ولكن الانحناء على جانبيه غير مستمر يظهر كسر في خط الانعكاس لكن دون انقطاع الخط.

يمكن كذلك الكشف عن مكان تغيير المماسات على طرفي الاتصال ، فعندما يكون كل من المماس والانعطاف مختلف على جانبي خط الانتقال ، يظهر كسر في خط الانعكاس الشكل (084) ، فإذا كنا نريد الحصول على صورة منعكسة ناعمة يجب أن يكون السطح ذو مماس انعطاف مستمر $\text{Curvature Continuous}$ على جانبي مكان الاتصال .

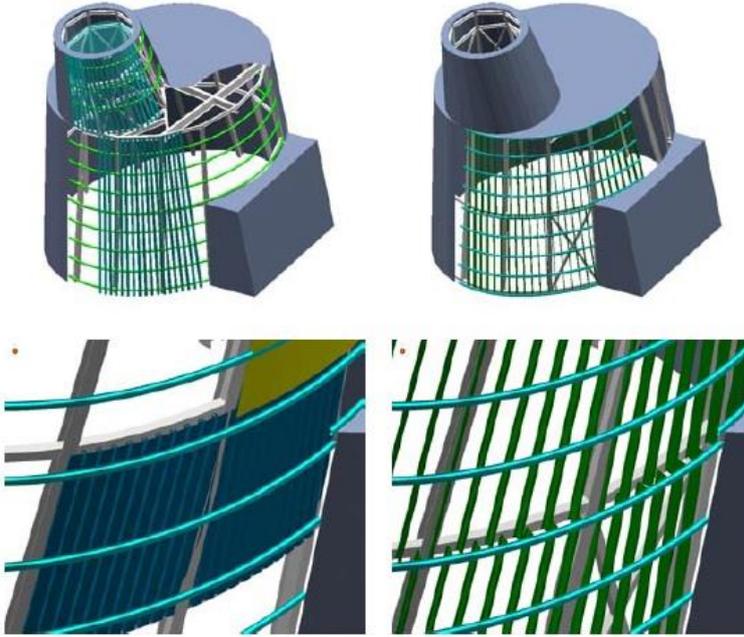
وفي السطوح B- Spline هذا الأمر يتحقق باستعمال درجة ثلاثة ، أو أكثر في كلا الاتجاهين المعياريين.

¹ Potmann H. , Architectural geometry (p-503)

تكمُن أهمية هذه الدراسة في الكشف عن التشوهات الصغيرة كالتواءات، وخاصة في السطوح غير المنفصلة التي يعتمد تصميمها على كونها انسيابية ومستمرة ، لذلك هذا التحليل يكون هاماً جداً عندما يكون السطح مستمراً باتجاه واحد ، أو باتجاهين للتأكد من عدم وجود كسر أو انقطاع ، و يصبح ذو أهمية مضاعفة إذا أردنا لهذا السطح أن يعكس جزء من البيئة المحيطة لتحقيق أهداف تصميمية.

3-2-3- تقنيات التحليل الإنشائي للسطوح

هناك مسألة بالغة الأهمية يجب التحقق منها أثناء دراسة المشروع ، وهي صلابة الهيكل (قدرة عناصر الشكل على الحفاظ على ثبات شكلها دون حدوث تشوهات فيها نتيجة القوى المؤثرة عليها). وللتأكد من الصلابة يجب أن تُجرى دراسة على نموذج فيزيائي للقشرية ، أو نموذج رقمي على الحاسب، وهذا الموضوع ذو حساسية كبيرة بالنسبة للقشريات معقدة الشكل ولا يمكن التغاضي عنه. حيث تقوم البرمجيات بتمثيل توزيع القوى على السطح، وفي كل نقطة منها وتحليل تأثيراتها على العناصر الإنشائية كالأضلاع والعقد ، للسماح بتصميمها بالشكل و المقاطع المناسبة¹.



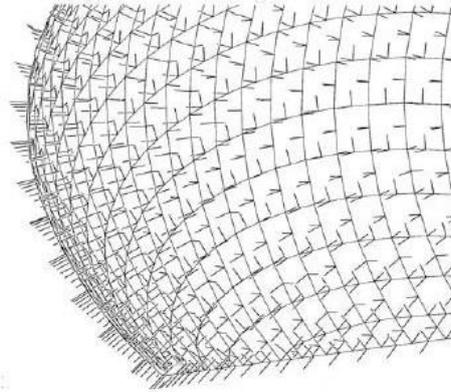
مثال على دراسة وتحليل السلوك الإنشائي للسطوح : فقد تم بناء كل العناصر الإنشائية وطبقات الإكساء من أجل دراسة أقطارها، وعمل الهيكل الإنشائي دراسة هيكل مشروع مركز ستاتا Stata center الشكل (085).

الشكل (085): الدراسة الإنشائية ل Stata center (المصدر 30-76)

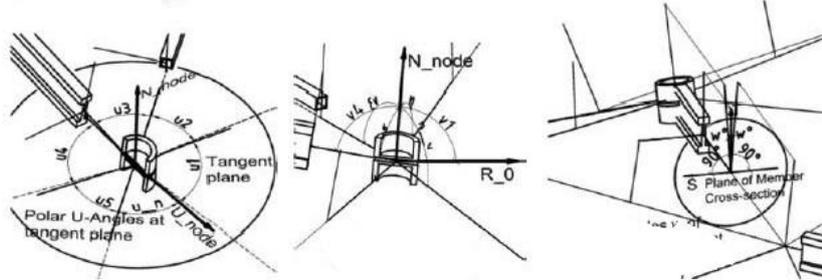
تكمُن أهمية هذه الدراسة في نقطتين أساسيتين :
النقطة الأولى : معرفة ما إذا كان المبنى أو السطح مستنداً بشكل ملائم ، وقادر على حمل نفسه ، ويعمل كقشرية بشكل متوازن تحت تأثير الأحمال التي يتعرض لها .
والنقطة الثانية : اختيار المواد الملائمة للتنفيذ بعد معرفة القوى الرئيسية التي يتعرض لها كل جزء من السطح سواء كان شد أو ضغط أو انعطاف، يجب أن تشمل الدراسة كل القوى الساكنة والمتحركة (ديناميكية و ستاتيكية) التي يتعرض لها السطح ، و كجزء هام من الدراسة الإنشائية للسطح ، يجب دراسة اتجاهات القوى ومحاور الأضلاع و نواظم العقد ، والشكل التالي يظهر فيه نموذج خطي

¹ Shelden D., Digital Surface Representation and the Constructability of Gehry's Architecture (p-75)

لسطح ذو شكل حر شبكي ، وقد حددت عليه النواظم على محاور الربط في مناطق العقد، وكذلك المماسات والنواظم للعناصر الإنشائية. يوضح الجزء السفلي من الصورة بعض التفاصيل بطريقة تظهر كيفية التعامل مع إدخال السطح في توضع وتوجيه المكونات الإنشائية للسطح (الشكل 086).



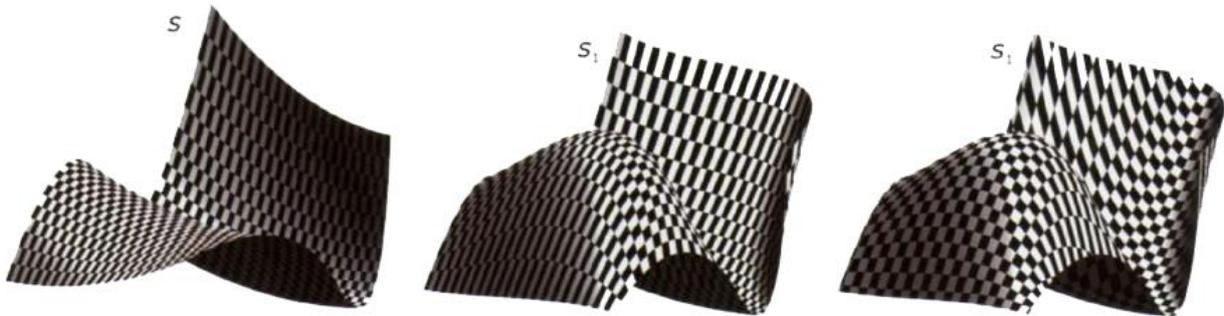
سطح غير منتظم يحدد عليه النواظم و المماسات في نقاط الالتقاء للاستفادة منها في تصميم العقد و العناصر الإنشائية



الشكل (086): دراسة النواظم و المماسات للسطح (المصدر 52-6)

4-2-3- تحليل سلوك الإكساء (الملمس) Distortions under Texture Mapping

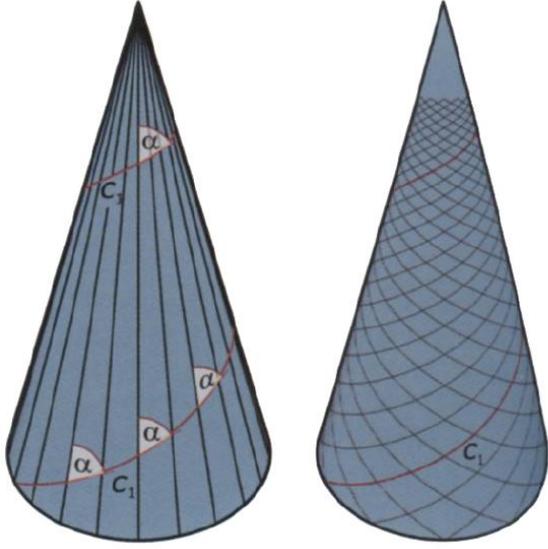
من الهام جداً للحصول على مظهر واقعي للسطوح المصممة ، دراسة توزيع الإكساءات عليها ، وهذا الأمر يتأثر بطريقة الاتصال بين السطوح المشكلة للمبنى و تبدل الانحناء فيما بينها. هناك طرق عديدة لوضع الإكساءات و النقشات على أي شكل ، يهدف هذا التوزيع لتحقيق الرؤية الواقعية للمنتج النهائي لجعله أكثر جاذبية ، وهناك ثلاث أنماط توزيع أساسية (المكعبة ، الأسطوانية ، الكروية)¹. الشكل (087).



الشكل (087) : طرق مختلفة لتوزيع الإكساء على السطح (المصدر 20-510)

لكن يجب الانتباه إلى أنه مع تطبيق التشوهات على الأشكال سيكون من الممكن تشوية الملمس ، كذلك إذا كان الشكل معقداً يختلف إذا طبقنا الملمس قبل أو بعد التعديلات

¹ Potmann H. , Architectural geometry (p-509)



الشكل (088): دراسة نقشة الإكساء لمبنى متحف تاكوما (المصدر: 20-512)

هذا التحليل هام جداً عند تنفيذ السطوح أو أجزاء منها دون تحويلها لألواح، وعند الرغبة بتوزيع نقشة معينة عليها.

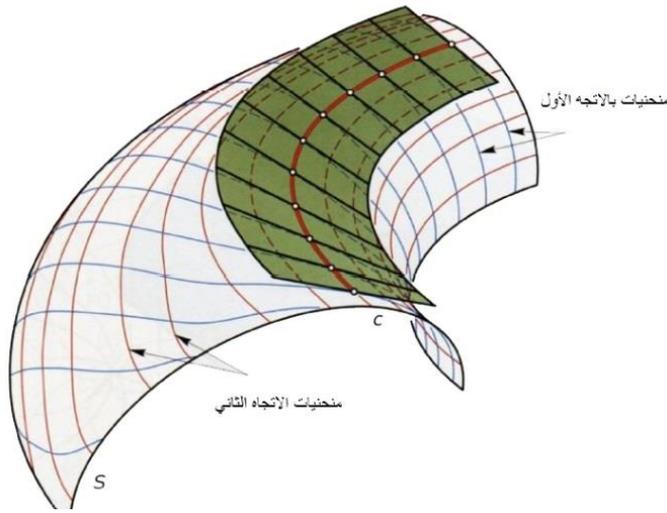
مثال : المخروط في متحف " تاكوما " للزجاج المعماري " ارثر ايريكسون " Arhur Erickson المخروط مغطى بصفائح ، وهي عبارة عن ألواح من الستانليس ستيل ترسم نقشة على السطح ، وبالرغم من أن المخروط شكل قابل للفرد لكن ليس من المنطقي أن تكون النقشة فقط من خلال المولدات فتتم دراسة النقشة بطريقة أخرى ، بأن تم اختيار منحنى C يقاطع كل المولدات بزواوية ثابتة ، ثم نعمل عدداً n منه ونكرره على مدى زاوية 360°، الشكل (088).

3-3- تقنيات التحويل لألواح (متعدد وجوه)

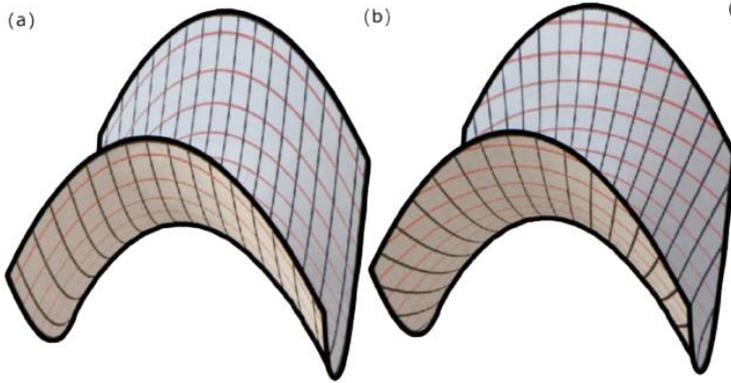
كما رأينا سابقاً لتنفيذ التصميم المعماري لسطح معقد كبير الحجم ، يجب تحويله لأجزاء أصغر تكون بمقاييس وأبعاد مقبولة تسمح بالتنفيذ، وهذا التحويل لا يكون بالبساطة المتوقعة ، رغم أنه يتم بشكل رقمي، حيث تمر هذه العملية بعدة مراحل رقمية تلخص فيما يلي :

3-3-1- عملية تضليع السطح segmentation

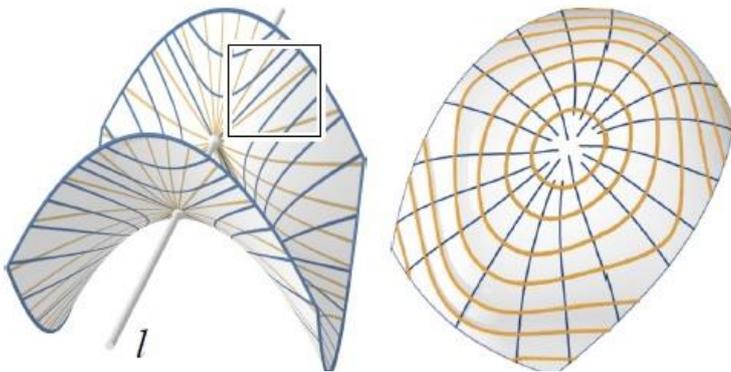
تتضمن هذه المرحلة الكشف عن خصائص الأضلاع والخطوط المكونة لمتعدد الوجوه الذي سيحول إليه السطح وتبسيط السطح إلى أجزاء ذات طبيعة وهندسة مختلفة ، ويُفضل أن تكون نظامية كالأجزاء مستوية ، أجزاء أسطوانية ، الكرات ، المخاريط ، سطوح قابلة للفرد ، أو أجزاء حرة الشكل ، وتتطلب هذه المرحلة فهماً هندسياً جيداً للخطوط كونها ستكون أساس عملية التحويل. تُعتبر مرحلة التضليع مرحلة حرجة في مراحل التصميم المعماري ، فعلى المصمم أن يُحدد الأضلاع وطريقة التقاء الوجوه مع بعضها بطريقة مدروسة ، ويجب كذلك دراسة المماسات بينها للحفاظ على أفضل استمرارية ممكنة تخدم أهداف التصميم ، وبالتالي التصميم المعماري للتضليعات يتطلب عناية كبيرة و خطوات مدروسة ، لأنها سوف تنعكس في النهاية على الألواح أو على العناصر الداعمة.



الشكل (089): تقسيم السطح بشبكة منحنيات متقاطعة (المصدر 20-680)



الشكل (090): تقسيم سطح سرج حصان بعدة طرق (المصدر 20-681)



الشكل (091): تقسيم سطح سرج حصان بطرق و شبكات لا تساعد على التصنيع (المصدر 3-39)

من أهم الطرق المستعملة في عملية التصنيع استخدام Conjugate Curve Network (شبكة المنحنيات موحدة) . لنفترض أننا حصلنا على مجموعتين من المنحنيات A , B على سطح ناعم ، فإن هاتين المجموعتين تشكلان شبكة منحنيات موحدة لكل منحنى منها، وتكون كل المماسات لهذا المنحني في نقاط التقاطع مع الشبكة الأخرى تشكل سطح مسطر قابل للفرد الشكل (089).

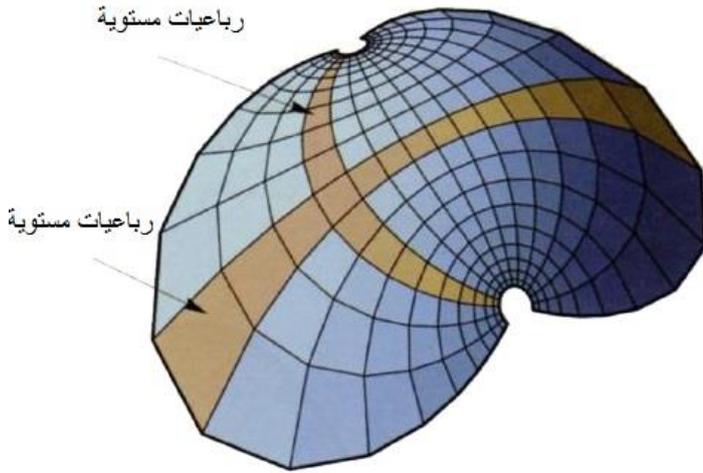
يجب الانتباه إلى أن هذه الشبكة ليست وحيدة فهناك عدد غير منتهى من الشبكات ، و للحصول على الشبكة الملائمة نحدد

المجموعة A بالطريقة التي تخدم التصميم ، ثم نحسب المجموعة المناسبة B بالطريقة التالية : على طول كل منحنى من المجموعة A نحدد سطحاً قابلاً للفرد ، وفي كل نقطة من المنحني نأخذ مولداً هو الخط المماس ، ونكرر ذلك بالنسبة لكل المنحنيات في A ونحسب المنحنيات B التي لكل منها مماساته التي هي الخطوط الناتجة من السطوح القابلة للفرد.

وبالرغم من أن هذه العملية ممكنة من حيث المبدأ ، إلا ان الشبكة الناتجة يمكن أن لا تكون مناسبة للهدف المطلوب.

تتوضح في الأشكال المجاورة عدة شبكات على السطح المكافئ الزائدي Hyperbolic Parabolic ، الحالة الأولى والثانية ملائمة للـ PQ Meshes ، أما الثالثة فهي تضم مولدات من نفس المجموعة ولا يمكن تشكيل شريحة ذات وجوه رباعية منها. الشكل (090) و (091).

تظهر في هذه المرحلة من عماية التصميم أهمية تحليل الانحناء ، حيث أنه في النقطة ذات الانحناء السالب يكون لدينا اتجاهان للمماسات ، الأمر الذي يسبب اضطرابات في شبكة المنحنيات ، وتظهر كذلك أهمية دراسة خطوط الانحناء الرئيسية ، فقد نرغب بالحصول على شبكة ناتجة عن الخطوط الرئيسية ، وتسمى هذه الشبكة بالشبكة المتعامدة Orthogonal Curve Network ، لأن خطوط الانحناء الرئيسية تعكس بشكل جيد الخصائص الأساسية للشكل ، الأمر الذي يكون ملائماً جداً من وجهة النظر الجمالية.



الشكل (092): سطح مبسط بشبكة رباعيات مستوية (المصدر 20-682)

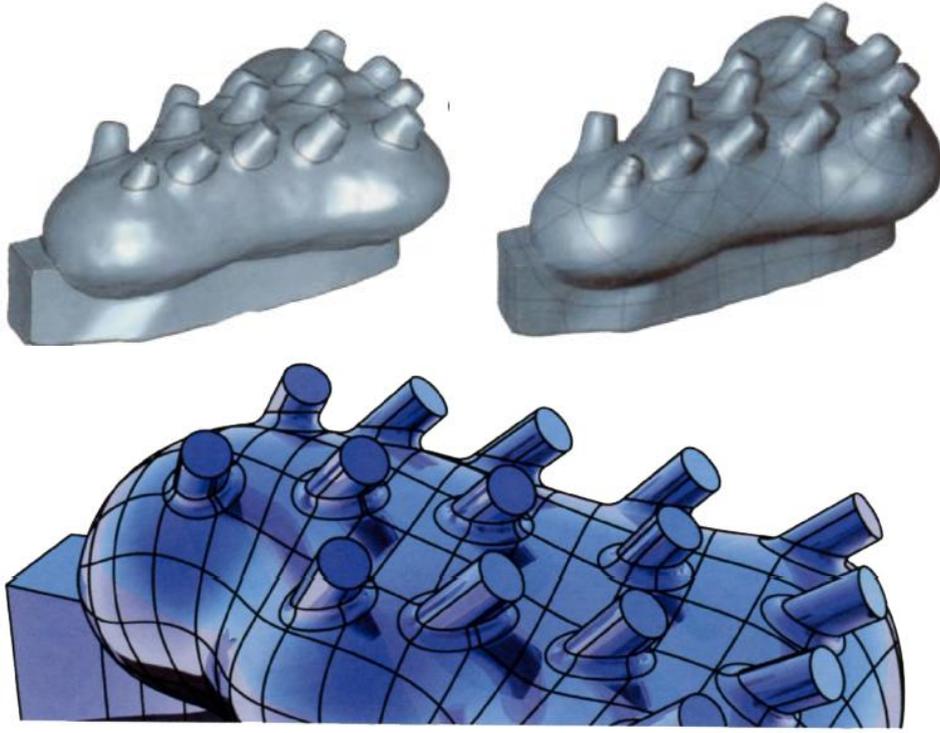
إن الميشتات ذات الوجوه الرباعية المستوية هي حالة منفصلة للشبكات التي تحدثنا عنها سابقاً ، حيث نلاحظ أنه أي شريحة PQ تشكل مضلعاً الاتجاه A هو سطح قابل للفرد وأضلاعها ، يمكن أن تُعتبر مماسات مضلعاً للمضلع في الاتجاه B ، لذلك تعتبر حالة ملائمة جداً في التصميم .
* هناك أنواع خاصة من الميشتات ذات الوجوه الرباعية الناتجة عن شبكة خطوط الانحناء الرئيسية نذكر منها الميشتات الدائرية Circular Meshes ، وهي التي تتألف من رباعيات دائرية. الشكل (092)¹.

3-3-2- الملائمة مع السطح المفروض Surface Fitting

من الهام جداً الحصول على شكل مطابق للتصميم الأساسي لتحقيق الأهداف الجمالية المطلوبة ، إلا أنه ومن أجل تطبيقات السطوح غير المنتظمة في العمارة ، قد يكون من الأفضل التضحية ببعض الدقة ومحاولة تقريب الشكل لمجموعة من السطوح التي يمكن بنائها بشكل سهل ، وذلك بجعل معظم أجزاء السطوح تنتمي إلى فئات السطوح الأساسية التي تمت دراستها سابقاً في الفصل الأول ، فمثلاً عندما تُحدد منطقة على أنها شبه مستوية في مرحلة التصنيع يتم تقريبها إلى جزء من مستوي ، والمناطق شبه الأسطوانية يتم جعلها أسطوانيات ، ويمكن أن تقرب إلى سطوح مسطرة Ruled كونها سهلة التنفيذ ، لأن هذه السطوح يمكن أن تمثل بسطوح B-Spline إذا جعلت إحدى الدرجات تساوي واحد ، إضافة لسطوح القابلة للفرد Developable ، و سطوح أخرى ناتجة بالحركة المشابهة والسطوح الانتقالية ، وهي عملية غير معقدة ، وخاصة عندما يكون مستوى التشوه منخفضاً ، حيث توجد خوارزميات رقمية تقوم بهذا الموضوع بشكل أوتوماتيكي.

من المفيد في بعض الأحيان يكون تجزئة السطح إلى سطوح أولية ، وملائمة كل منها بشكل منفصل وربط الأجزاء مع بعضها من خلال سطوح Blend ، من أجل الحصول على الانسيابية المرغوبة لتقادي تداخل السطوح مع بعضها.

¹ Potmann H. , Architectural geometry (p-625)



الشكل (093): تقريب السطح المصمم إلى سطوح من فئات تقليدية و الوصل بينها للوصول إلى سطح يقارب السطح الأصلي (المصدر 20-632)

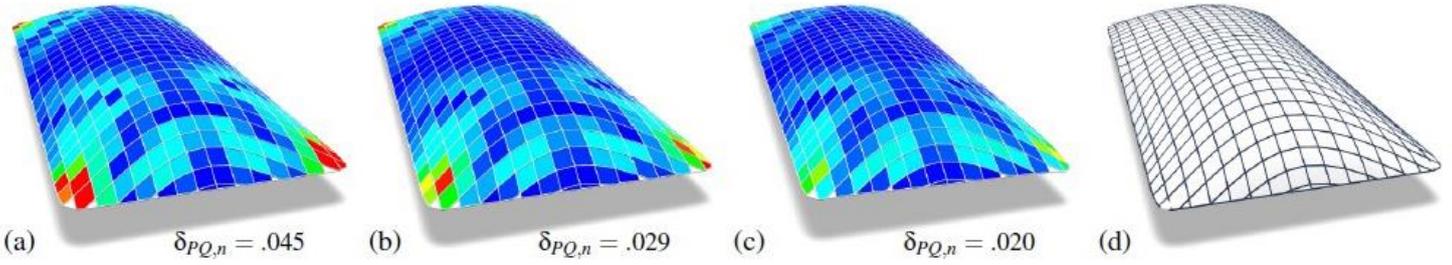
الشكل (093) يوضح كيف تم تقريب الشكل المقترح الذي يتألف من سطوح غير منتظمة التي شكلت الفكرة لأحد المباني المعمارية الى أجزاء مؤلفة من سطوح تنتمي لفئات تقليدية فتجد أنه تم تقريب جميع النتوءات على شكل أسطوانات و حولت الأجزاء شبه المستوية لأجزاء مستوية رغم السهولة التي تبدو عليها عملية التقريب ، إلا أنه من المستحيل أن تتم بشكل يدوي دون الاستعانة بتقنيات رقمية خاصة.

3-3-3- تحسين السطح

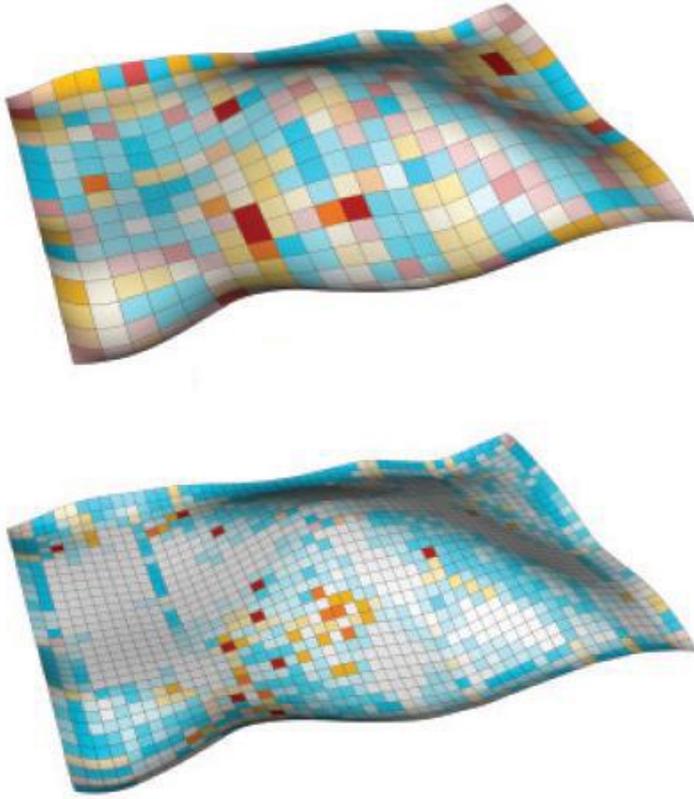
- هناك العديد من التقنيات والخوارزميات التي تدعم هذا الموضوع ، حيث تطبق فيها عملية التحسين مرات متلاحقة لتحسين نوعية الألواح، من أهم هذه العمليات تحويل ميش رباعية وجوه غير مستوية إلى ميش تقارب السطح نفسه ، ولكن تحوي فقط سطوح مستوية، مع الحفاظ على المتطلبات الجمالية بالتخلص من الارتياحات الصغيرة ، حيث يجب أن يكون الاستواء محققاً على الأقل بتسامح يسمح باستعمال ألواح زجاجية مستوية . و إذا كانت الميش من شبكة منحنيات متطابقة Conjugate curve net فالفرص كبيرة للحصول على تمثيل محسن مناسب.

- جمع عملية التجزئة Subdivision والاستواء Planarization كأداة تصميم البحث عن ميش مستوية أثناء عملية إيجاد الشكل ، يزيد بشكل كبير فرص نجاح عملية إنشاء مهما زاد تعقيد السطوح¹. الشكل (094) يوضح كيف تم بعد تحويل سطح مبنى محطة نومونستر الى متعدد وجوه تم تطبيق عملية التحسين عدة مرات مما أدى لتغيير زاوية الانحراف حتى الوصول للشكل المطلوب الألوان تعبر عن الألواح المتماثلة .

Potmann H. , Architectural geometry (p-503)



الشكل (094): دراسة سطح مبنى Neumünster من خلال تطبيق عملية تحسين عدة مرات للوصول إلى الشكل المطلوب (المصدر 20-632)



الشكل (095): تبسيط سطح غير منتظم بطريقتين والألوان تعبر عن نماذج الألواح المتماثلة (المصدر 9-35)

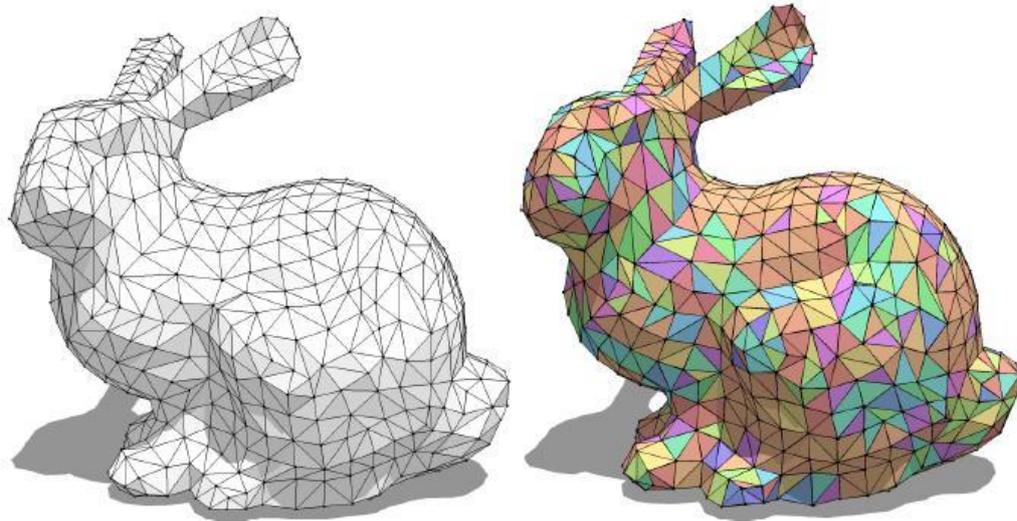
4-3- تقنيات نمذجة الألواح

عند تبسيط السطوح المعقدة لمتعدد وجوه لأغراض معمارية ، تبرز أمام المعماري مشكلة بالغة الأهمية تتلخص في أن كل لوح من الألواح الناتجة قد يكون مميزاً عن كافة الألواح الأخرى ، وبالتالي تبرز صعوبة في عملية التصنيع وتزيد التكاليف بشكل كبير، والحل البديل هو بتمثيل هذا الشكل بمجموعات من الألواح عددها K ، و هي بالتأكيد أقل بكثير من عدد الألواح الكلي ، ولا تتم هذه العملية بشكل يدوي هناك برمجيات خاصة تقوم بهذه المهمة لتعطينا في النهاية مجموعة ألواح تسمى بـ Mold depot مستودع القوالب يحدد عدد وأنماط القوالب و الألواح المراد تصنيعها لتقارب السطح الأصلي . و تحافظ عليه¹ الشكل (095).

يوضح كيف تم تبسيط نفس السطح بطريقتين تختلفان عن بعضهما في عدد الألواح و تكرارها و حجمها حيث تشير الألوان الى نماذج الألواح المتماثلة بكل تأكيد استعمال العديد من القوالب الرخيصة والبسيطة يقلل من التكاليف ويزيد من الكفاءة الاقتصادية للمبنى ، ومع ذلك فإن إضافة لوح واحد مرتفع الثمن ، قد يساهم في إضافة عدة قوالب رخيصة حوله ، وبالتالي يحسن الكفاءة الاقتصادية للمبنى .

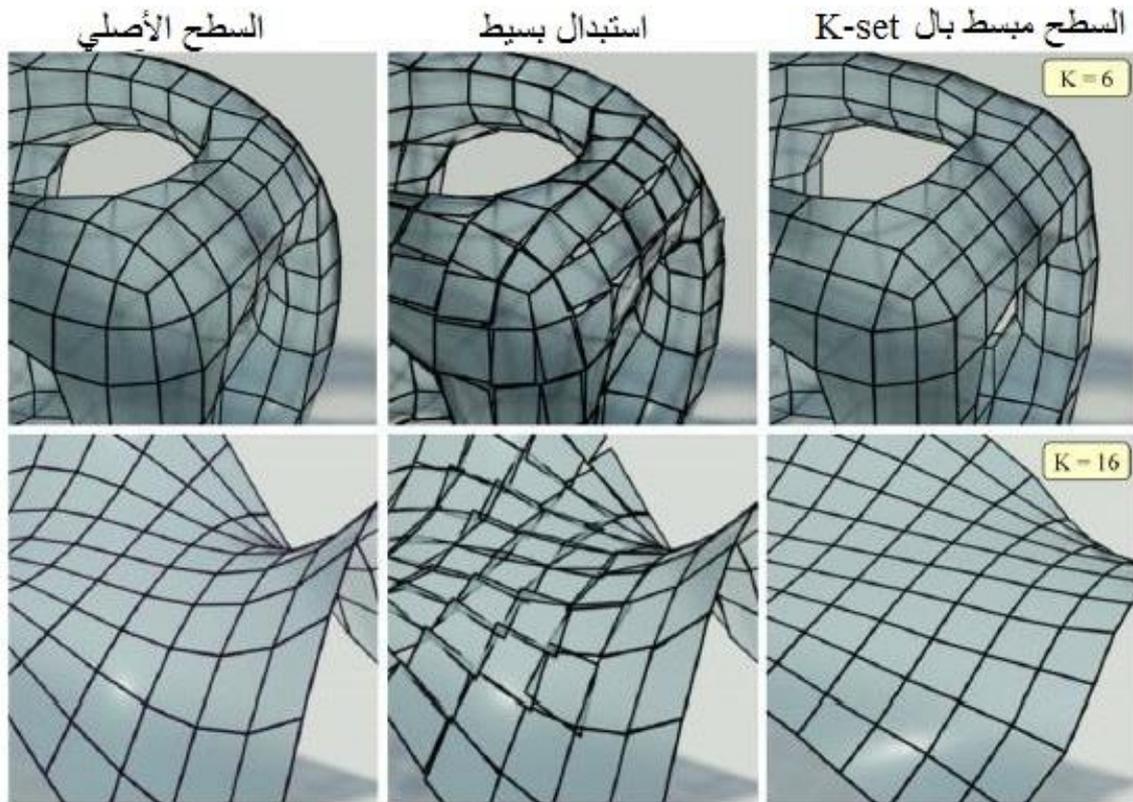
بعد إدخال متعدد الوجوه المطلوب تتم عملية النمذجة Standardization بتجنب الوحدات ذات الشكل الخاص مثل الألواح المنحنية باتجاهين ، وبتكرار العناصر على كامل المشروع، وذلك بأخذ الشكل المتوسط لكل مجموعة مقارنة من الألواح و الوجوه .
ويتم الموضوع على مراحل بدمج مجموعتين متماثلتين في كل مرة ، وهكذا حتى الوصول إلى عدد المجموعات المطلوب ، وبعد كل مرحلة منها يتم فحص الالتقاء بين هذه الألواح البديلة.

- بالنسبة للأشكال الأكثر تعقيداً هناك مجموعات أكبر مطلوبة للحصول على مقارنة أفضل بالنسبة للشكل الأصلي ، وحتى لو كانت هذه المجموعات كثيرة يبقى عددها صغيراً جداً بالنسبة لعدد الأوجه الكلي، لذلك يبقى الموضوع مهماً جداً للوصول لشكل اقتصادي يحقق المتطلبات الجمالية الشكل (096). يشرح مفهوم نمذجة سطح اعتباري يشبه جسم الأرنب حيث توضح الألوان النماذج الألواح المتماثلة

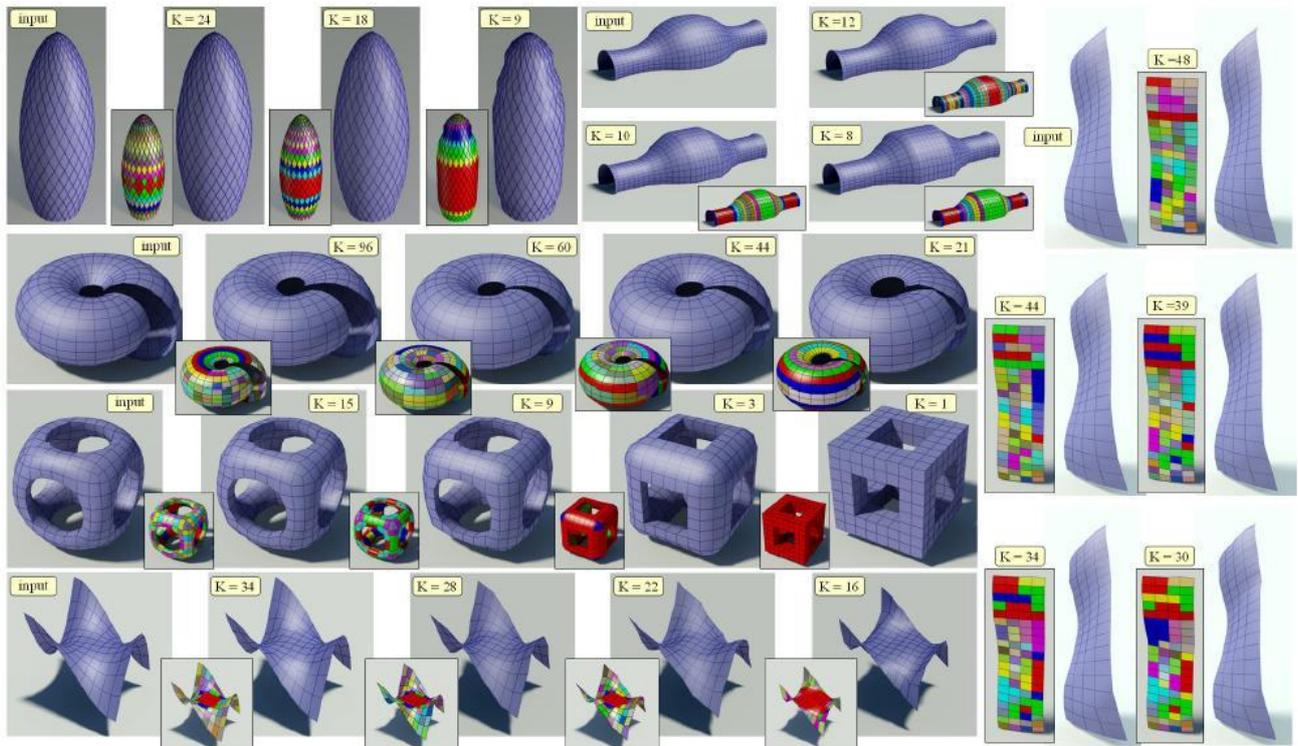


الشكل (096): مجسم على شكل أرنب يتألف من 1742 مثلثاً من نمذجة إلى 42 مجموعة من الوجوه المتماثلة (المصدر 4-50)

بعد عملية النمذجة قد نحتاج إلى تطبيق بعض التعديلات والدورانات على الألواح ، أي بتحويلات بسيطة كون عملية الاستبدال قد تخلق كسراً في السطح وفراغات أو تراكبات ، حيث يُطلب عملية تحسين رقمية للسطح لتطابق الأضلاع والعقد مجدداً بشكل يضمن استمرارية الشكل . الشكل (097).
نلاحظ أنه كلما كان K أكبر كلما كان السطح مقارباً بشكل أفضل للسطح الأصلي ، وكلما كان K أقل كلما فقدنا المرونة و ظهرت تشوهات أكبر على الشكل الأصلي .
إذاً تقنية Kset Tillable تسمح بتقريب السطح الأصلي الذي جرى تحويله لمتعدد وجوه إلى شكل آخر ، وذلك باستخدام عدد صغير من مجموعات الوجوه عددها K ، وهذا الحل يمكن أن يقلل التكاليف بشكل فعال جداً، والتحدي يكمن في تصميم سطوح لها عدد K متوسط يحقق التوازن بين التكاليف والجمال و سهولة التصنيع الشكل (098).



الشكل (097): نمذجة الألواح - اليسار : السطح المبسط لوجوه الوسط استبدال الألواح
بألواح مستوية اليمين نمذجة الألواح باستخدام عدد K من مجموعات الألواح (المصدر 2-36)



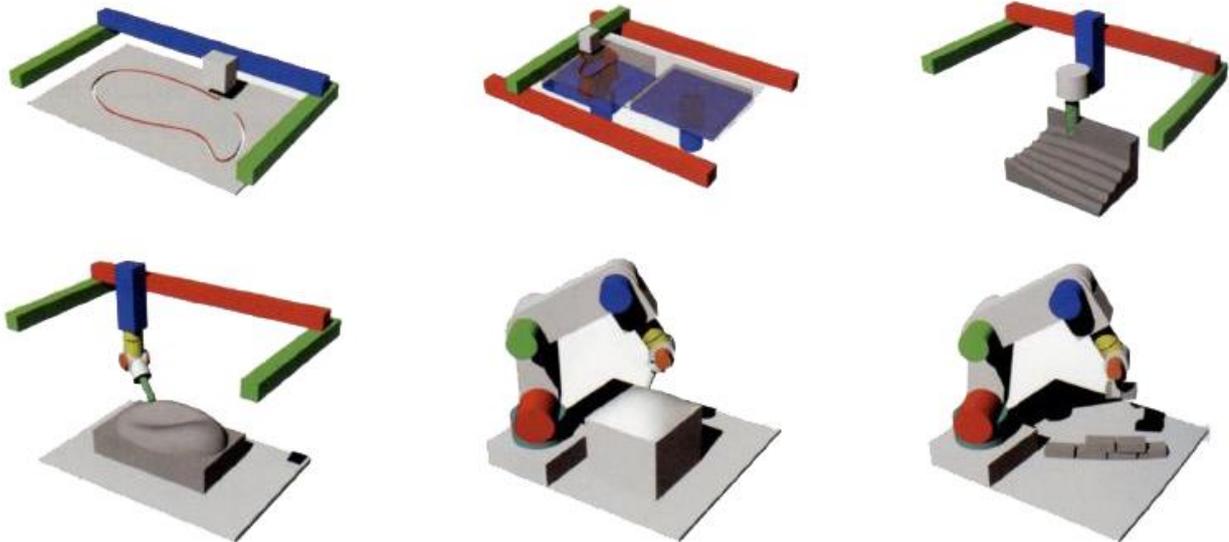
الشكل (098): نمذجة مجموعة من الأشكال باستخدام أعداد مختلفة من الألواح المنمذجة
وهي من الأعلى للأسفل برج مؤلف من (528 لوح) ، نفق (1152 لوح) ، مكعب مفرغ (480
لوح) ، سرج حصان (100 لوح) ، و إلى اليمين واجهة منحنية (80 لوح) (المصدر 6-36)

3-5- تقنيات التصنيع

كما أن مراحل التصميم الأولي والنهائي تقوم بواسطة برمجيات تسهل هذه العمليات ، تعتمد عملية التصنيع و التركيب كذلك على تقنيات وآليات متطورة ، تدار بواسطة برمجيات رقمية وعمليات حاسوبية وأصبحت عملية تشييد المباني بحجمها الكامل تعتمد بشكل مطلق على تقنيات التصنيع الرقمي للأشكال الهندسية المعقدة ، كل ذلك نظراً لكون هذه السطوح دقيقة جداً و نسبة الارتياح والخطأ المسموحة صغيرة جداً ، لذلك لا يمكن أن تتم عملية التصنيع بما تشمل من أبعاد و زوايا دقيقة بشكل يدوي . إن جذور التصنيع الرقمي تعود إلى عام 1950 ، عندما اخترعت الآلات التي يتم التحكم بها بواسطة برمجيات رقمية ، وهذا الاختراع تطلب إيجاد طرق معقدة لقيادة هذه الآلات فبدأ تطوير برامج عديدة استخدمت لهذا الغرض.

إن اختراع الرياضيات المتعلقة بالمنحنيات والسطوح ذات الأشكال غير المنتظمة (منحنيات بيريز والنيريز) جعلت استعمال الآلات التي يتم التحكم بها بشكل رقمي أكثر فعالية ، فقد طورت الطرق المستعملة في تصنيع الألواح من طرق تصنيع النماذج و المجسمات المعمارية لكن بمقاييس أكبر . وكون عملية التصنيع الرقمي تحتاج إلى بيانات رقمية دقيقة تناسب درجة التفصيل المطلوبة في التصنيع ، فإن عملية التصنيع الدقيقة للنماذج الفيزيائية تحتاج لأدوات وطرق تعريف وقياس خاصة ، فمثلاً تعريف سطح مستوي رباعي الوجوه في الفراغ يتطلب فقط 4 نقاط ، بينما السطح ذو الشكل الحر قد يحتاج مئات من النقاط لتصنيعه بشكل دقيق ، وهو ما يبرز صعوبة تصنيع القطع المعقدة .

و يُعتبر موضوع إعطاء بيانات دقيقة للآلات من أهم التحديات التي تواجه عملية التصنيع ، حيث آلات الـ CNC تعتمد على بيانات رقمية مأخوذة من نماذج رقمية ومنقولة إلى آلات ذات حركة منضبطة لتصنيع أجزاء المبنى و كفاءة آلات التصنيع يمكن أن تحدد من خلال عدد درجات الحرية ، حيث أن درجة الحرية Degree of freedom هو تعريف هندسي لحرية الحركة في هذه الآلات سواء على طول محور في الفراغ ، أو بالدوران حول محور في الفراغ. فإذا كان لها درجتا حرية فقط تساعد في القص و التصنيع ثنائي البعد الشكل (099) يوضح آلات التصنيع الرقمي بحسب درجات الحرية .



الشكل (099): العلاقة بين درجات الحرية و آلات التصنيع المختلفة الألوان تحدد محاور الحركة و الدوران (المصدر 20-580)

هناك ستة درجات من الحرية في الفضاء ثلاثي الأبعاد: ثلاثة درجات للحركة الخطية في الاتجاهات Z, Y, X ، وثلاثة أخرى للحركة الدورانية حول Z, Y, X . يلزمنا آلة ذات ثلاث درجات حرية على الأقل للحصول على أي نقطة إحداثيات في الفراغ، لكننا بحاجة لآلة ذات ستة درجات حرية لتوجيه الأداة في اتجاه بهدف الوصول لأي نقطة في الفراغ. حيث أن ضبط الأداة في الفراغ مع الحفاظ على الشكل المراد تصنيعه، هو أمر معقد ويتطلب درجات أكبر من الحرية لتفادي الاصطدامات، حيث أنه وبسبب تغير الشكل أثناء مراحل العمل يجب تغير مسارات حركة الآلات بشكل مستمر، ويتطلب استعمال الآلات في بعض الأحيان تقسيم الشكل إلى أقسام تكون أصغر.

في معظم الحالات الأجزاء المعمارية للحجم الكامل يتجاوز حجمها حجم أي من تجهيزات التصنيع، الأمر الذي يجعل عملية تقسيم الأشكال ومن ثم إعادة تجميعها مرحلة هامة في عملية البناء، وهذا الأمر قد أضاف تحديات هندسية وتحديات تصنيع إضافية لعملية تجزئة وتجميع القطع.

فاختيار طريقة التصنيع، وبالتالي المادة الملائمة يمكن أن يقود إلى هيئة جمالية مميزة تتعلق بطريقة التقسيم الهندسي اللازمة لتصنيع الأجزاء.¹

3-5-1- تقنيات القص Cutting – Based Processes

تُعتبر هذه التقنيات ثنائية الأبعاد من أبسط عمليات التصنيع الرقمي الـ CNC و أقدمها، وتُستخدم لمعالجة و تصنيع مواد عديدة، حيث يتم قص كل مادة منها بالطريقة التي تلائمها، وأصبح موضوع التحكم بها سهلاً نظراً لوجود العديد من البرمجيات التي تدعم هذه الآلات.²



الصورة (036): القص ثنائي البعد بواسطة الأنصال (المصدر 22-26)

يمكن أن تبنى السطوح ذات الوجوه المنفصلة باستعمال وجوه مثلثية أو مضلعات مستوية مقصوفة من ألواح بواسطة تقنيات القص الرقمي.

حتى السطوح المنحنية باتجاه واحد والقابلة للفرد، يمكن أن تصنع بهذه الطريقة، ثم يتم معالجتها و حنيها بطرق أخرى.

وهي من الطرق الاقتصادية كون الآلات غير معقدة ولا تتطلب مواد خاصة.

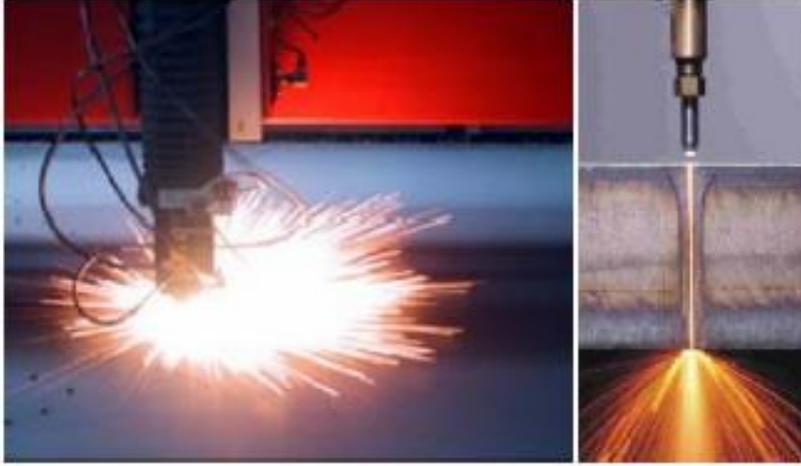
- القص ثنائي البعد

هو عملية قص ألواح من المادة بواسطة أنصال و مقصات عادية حادة، هي أبسط تقنيات القص التي تستعمل عادة لقص الورق أو رقائق رقيقة، و المواد الرقيقة اللازمة الصورة (036).

¹ Potmann H. , Architectural geometry (p-579)
² بريجاوي زكي، برمجة و انتاج العناصر على آلات التفريز المبرمجة CNC(ص1-1)

- القص بالليزر و بالبلازما

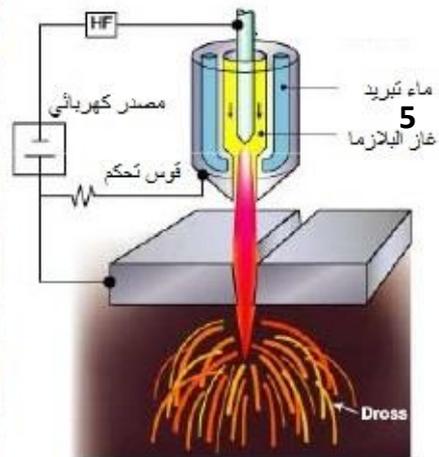
مقصات الليزر هي واحدة من أكثر أدوات تصنيع النماذج انتشاراً في العالم ، وهي تركز على حركة عادية على محورين X , Y لرأس القص المجهز بمجموعة من المرايا التي تركز شعاع الليزر منطلق من القسم الخلفي للألة شاقولياً للأسفل باتجاه مكان القص. الصورة (037).



الصورة (037) : القص ثنائي البعد بواسطة الليزر (المصدر 25-26)

تحرق حرارة عمود الليزر المادة ، وتترك مساراً للقص تختلف باختلاف سماكة المادة وقوة عمود الليزر. ولكن عمق القص يكون محدوداً بسبب مجال تركيز العدسات التي تعطي شعاع الليزر، لذلك سماكة المواد المقصوفة تكون محدودة ، آلات مشابهة توجد في صناعة وقص الستيل .

وبالنسبة لصفائح الستيل السميكة يُستبدل الليزر بالبلازما ، لأنه يمكن أن يقص من خلال عدة إنشات. إن التكلفة القليلة لمقصات البلازما ، تجعل هذه الطريقة في التصنيع ممكنة الاستعمال لإمكانية تحمل نفقاتها. الصورة (038).



الصورة (038) : القص ثنائي البعد بواسطة البلازما (المصدر 24-26)

- القص بالماء

تعمل هذه الآلات بواسطة قذف عمود مائي بضغط عالي يُطلق من فوهة صغيرة جداً ، ويُضاف مواد كاشطة لتخترق أي مادة حتى عدة إنشات من مواد مختلفة كالستيل ، الخشب ، البلاستيك ، أو الزجاج.



الصورة (039) : القص ثنائي البعد بواسطة الماء (المصدر 26-26)

يتم القص بأجزاء مغمورة بالماء لتجنب الرذاذ ، حيث تُعتبر العملية غالية بسبب مواد الكشط التي تلزمها. الصورة (039). ويجب الانتباه إلى أن هذه الطريقة تتطلب عمليات هندسية إضافية لحساب موازي لمسارات القص بسبب ضياع المواد الذي قد يحدث¹.

3-5-2- تقنيات الحني :

إن اختيار السطوح القابلة للفرد على مستوى يعطي إمكانيات سريعة لتنفيذ هذه السطوح بنماذج ورقية ، بعض المعماريين مثل " فرانك غيري " استعمل هذه المقاربة في التصميم ، وأجرى اختبارات عليها ثم جعلها أساساً لكافة تصاميمه ، حيث تختلف طريقة الحني باختلاف المادة ، لذلك يجب مراعاة خصائصها.

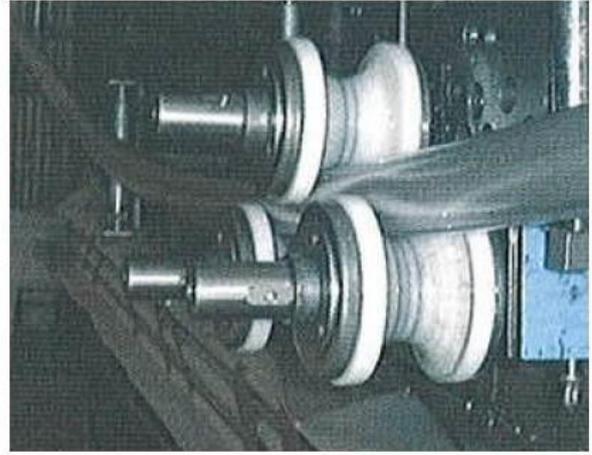
- مثلاً يجب أن تؤخذ بالاعتبار جهة العروق في الخشب عند تحديد جهة الانحناء .
يمكن أن تأخذ الصفائح الزجاجية شكل أي هيئة منحنية بتطبيق الحرارة ، بينما الصفائح المعدنية يمكن أن تحفر باستعمال حفارات فولاذية على شكل موجب وسالب.
- تحنى ألواح الستيل في صناعة السفن بالاتجاه الأول وتسخن جزئياً للحصول على منحنيات باتجاهين.

- الحني على البارد

يتم في هذه العملية حني الصفائح المستوية بدون تعريضها لأي حرارة ، لكي تأخذ شكل المنحني المطلوب ، ويمكن أن يتم الحني عند تثبيت الألواح على الهيكل أثناء تركيب المنشأة إذا كان الانحناء خفيفاً ، أو بواسطة آلات تعرض اللوح لقوى مدروسة تسبب انحناءه ، وعلى كل الأحوال الحني على البارد لا يعطي انحناءات كبيرة ، كون الألواح تكون معرضة للكسر أو التمزق أثناء الحني.
تُعتبر هذه الطريقة من أكثر الطرق المطبقة على الصفائح المعدنية الرقيقة.

¹بريجاوي زكي، برمجة و انتاج العناصر على آلات التقريز المبرمجة CNC(ص5-5)

وهناك أيضا آلات لحنى الأنابيب و العناصر الإنشائية على عجلات لتأخذ الانحناءات المطلوبة الصورة (040).



الصورة (040) : حني مقاطع الألمنيوم المستعملة في جناح BMW جنيف
سويسرا (المصدر 26-27)

- الحني على الساخن

يتم بهذه الطريقة حني الألواح بتعرضها لحرارة وقوى مدروسة في آلات خاصة , حيث يتم التأثير بواسطة الحرارة على البنية الخاصة للألواح لتأخذ الشكل الجديد المراد الحصول عليه ، وتطبق أحياناً لحنى الألواح الزجاجية باتجاهين ، لكن الأمر يتطلب دراسة معمقة ، والأمر أكثر سهولة وفعالية عند تطبيقه على الألواح البلاستيكية الصورة (041).



الصورة (041) : صورة لألواح بلاستيكية مشكّلة
بواسطة الحرارة (المصدر 26-27)

3-5-3- تقنيات الطرح :

تُستخدم هذه التقنيات لتصنيع نماذج هندسية ألواح أو قوالب من خلال إزالة مادة من كتلة صلبة أو على شكل طبقات يتم إزالتها حتى بلوغ السطح المطلوب.

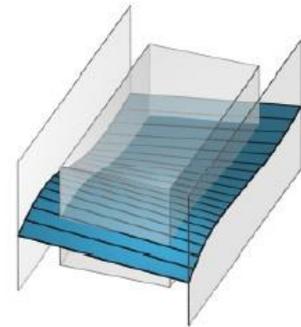
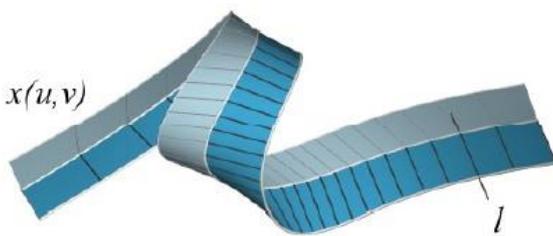
وهذه التقنية لها ميزة ، حيث يمكن استعمال مواد متعددة مثل الخشب والحجر أحياناً ، لكن يجب أن تكون صلابة أجزاء الآلة أكبر مقارنة مع المواد المستعملة ، وهذا الموضوع يتطلب أن تكون القوى التي تطبق كبيرة ، ومواد أجزاء القص من نوع معين ، مما يتطلب تكاليف أكبر لهذه الآلات ، ويجب أن تكون هذه الأدوات حرة في الحركة على السطح ، مما يتطلب على الأقل خمس درجات حرية DOF مع أنه يُفضل أن تكون ست درجات.

يجعل الجمع بين القوى المطبقة ودرجات الحرية الآلات أضخم ويتطلب دقة وأجزاء غالية الثمن. لا يمكن أن تصنع معظم النماذج انطلاقاً من كتلة مادة واحدة ، وخاصة إذا كانت كبيرة أو معقدة ، لذا فإن عملية التركيب تُعتبر أمراً حرجاً.

وحتى في النماذج الصغيرة تكون بعض الأجزاء الداخلية منحنية ، بحيث لا يمكن الوصول إليها بدون اصطدام الأداة مع الأجزاء الخارجية حتى ولو كانت الطاحونة (المطحنة) Mill لها درجات عالية من الحرية، ومن أجل ذلك تبرز المشكلات في استعمال تقنيات الطرح ، لذلك تُعتبر عملية دراسة و برمجة حركة الأذرع من المراحل الهامة لتحقيق النتائج المطلوبة.

- القص بواسطة السلك

تستعمل هذه المقصات سلك مسخن لقص قطعة بوليستيرين Polystyrene فوم ، وهي سريعة جداً، وتُستخدم لتصنيع نماذج فيزيائية ، أو قوالب لصب السطوح المسطحة الشكل (098). وتتميز بأنها متعددة محاور الحركة وتسمح بقطع ثلاثي الأبعاد لأجزاء الفوم ، إذ أن استعمال أسلاك منحنية يمكن أن يعطي امكانات أكبر ، لكن يتطلب برمجيات معقدة لتغيير مقطع القطع ، و يبقى القطع الخطي على الرغم من أنه يحد من إمكانيات الأشكال الناتجة بالغ الأهمية و يستعمل بكثرة لسهولة استخدامه .

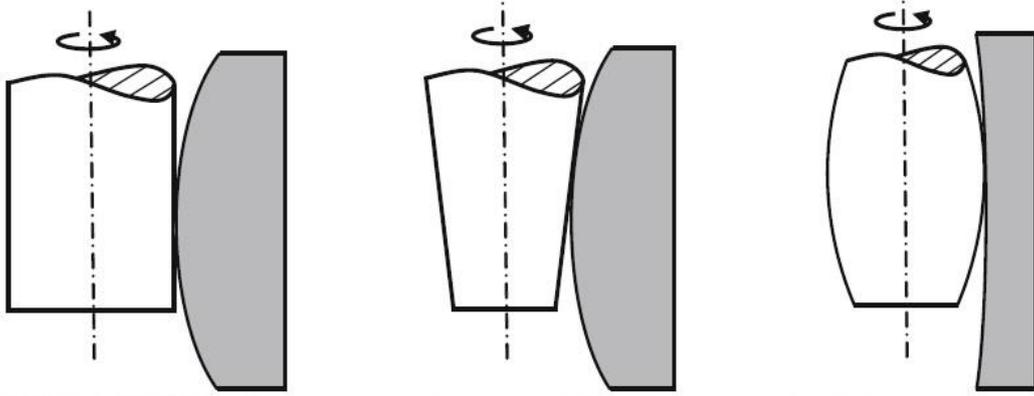


الشكل (100): القص بواسطة تحريك سلك معدني مستقيم في الفراغ لإنتاج سطوح مسطحة (المصدر 51-22)

- الطواحين و أجهزة التوجيه

هناك عدد كبير من الآلات التي تركز على الطواحين ، تتنوع في حجمها وفي درجات حريرتها الآلات ذات المحاور القليلة تستعمل رأس يتم التحكم بسرعة دورانه العالية لتحويق المواد.

تُستخدم هذه التقنيات لقطع أجزاء ليست ثنائية البعد. الشكل (101).



الشكل (101): اليمين طاحونة محدبة ، الوسط طاحونة مخروطية ، اليسار طاحونة اسطوانية (المصدر 43-48)

تصبح الآلات ذات درجات الحرية الأكبر أكثر تعقيداً ، حيث أن عملية التحريك تُعتبر جزء من الدراسة مشكلة ، لأن الزراع بحاجة لعدة إدخلات ، مما يجعل برمجة الحركة أمراً معقداً ، فبلوغ أي نقطة يجب أن يتم بدون تصادمات، وتبرز في بعض الأحيان مشكلة أخرى هي موضوع القوى المطلوبة لقص المواد القاسية جداً كالألومنيوم والستيل. الصورة (042).



الصورة (042) : الطواحين ذات الأذرع لتصنيع قوالب لصب البيتون (المصدر 26-32)

الطواحين ذات الحجم الكبير موجودة في صناعة السيارات من أجل تصنيع نموذج بالحجم الحقيقي من القوم mockups لفكرة السيارات ، ولكنها تطحن القوم الطري نسبياً ، لذلك تطلب قوة صغيرة جداً مقارنة مع طواحين الستيل .

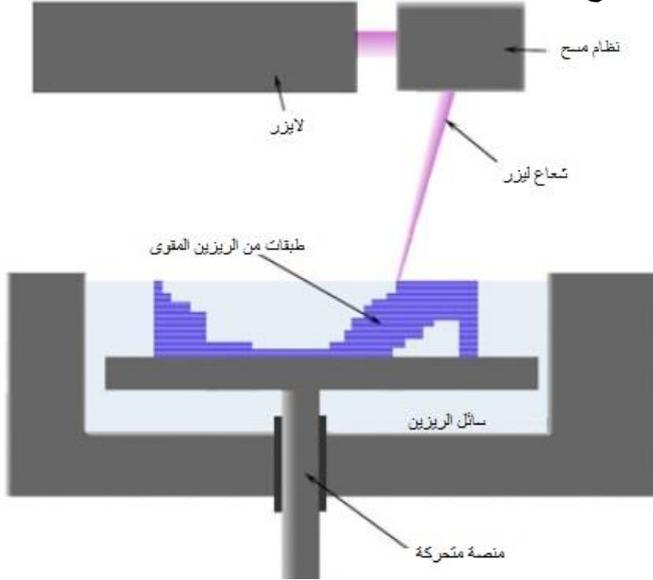
- الأذرع الآلية :

تقوم هذه التقنية على فكرة جمع رجل آلي مع آلة وصناعة السيارات كانت رائدة في هذا المجال ، وهي مثيرة للاهتمام لأنها تتيح الاستفادة من الخصائص الجيدة للأذرع الآلية مع ستة درجات حرية أو أكثر .

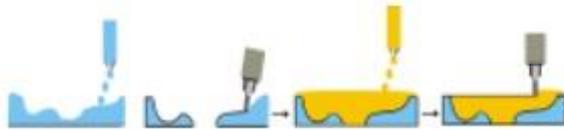
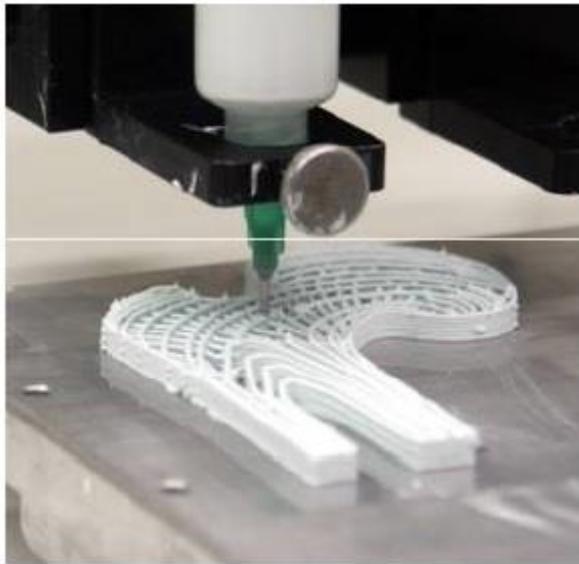
وهي تؤمن حجوم كبيرة نظراً لحجمها ، حيث أنها لا تتطلب مجالاً مغلقاً للعمل .

3-5-4- تقنيات إضافة الطبقات:

- تقدم عملية التصنيع على طبقات إمكانيات واسعة جداً ، حيث تُعتبر شبيهة ببعض الطرق اليدوية القديمة كالفخار ، حيث يتم بناء الشكل من خلال رص طبقات من المواد تتوضع فوق بعضها . وهذا التوضع يخلق بعض التحديات ، حيث أن وزن كل طبقة سوف يستند على الطبقة التي قبلها بجزء معين لينقل الحمولة، ليس كل الأشكال الحرة قابلة للتصنيع بهذه الطريقة بدون عمليات إضافية، وتستعمل لصناعة القوالب التي تصب عليها الألواح المعقدة الشكل .



الشكل (102): التصنيع بالتلبد (المصدر 26-39)



الصورة (043) : تصنيع بطريقة ترسيب المصهور (المصدر 26-39)

- التلبد

تعتمد واحدة من أولى طرق الطباعة ثلاثية الأبعاد على التلبد ، حيث تتم في حوض من المواد السائلة عملية معالجة بشكل انتقائي بواسطة عمود ليزر يرسم المقطع الأفقي للشكل على السطح السائل ، حيث تدعم منصة مغمورة الأجزاء المعالجة في كل مرحلة تنخفض لتبقى النموذج تحت السطح لإضافة الطبقة التالية ، وهذه الطريقة تنتج نماذج أكثر دقة وتفاصيل ، لكنها بطيئة ومكلفة. الشكل (102).

و يمكن أن يتم التلبد كذلك بواسطة حبر خاص يقوم بتليد طبقات من البودرة يحدد شكلها بواسطة برامج الرسم الحاسوبي ، ثم رص هذه المقاطع الأفقية فوق بعضها¹.

- ترسيب المصهور FDM

يتم تسخين البلاستيك لدرجة فوق درجة الانصهار بقليل ، ثم تمرر من خلال فوهة وتخزن في حلقات. يتحرك رأس الآلة على المحورين Y, X أثناء عملية بناء الطبقة ويتحرك لوح الاستناد على المحور Z ليتيح بناء الطبقة الأخرى معطياً

¹ عبد العزيز حسان رشيد ، الطباعة ثلاثية الأبعاد (ص-2)

الجهاز له ثلاث درجات DOF حرية ، و لكي تحمل الأجزاء المصنعة بعضها دون تشوهات أو انهيارات يتم تدعيمها بواسطة أعمدة داعمة يتم إزالتها لاحقاً دون تدمير النموذج الأساسي، وفي تقنيات أخرى تُستعمل مواد قابلة للذوبان يمكن أن تزال بالماء باستعمال أمواج فوق صوتية للتدعيم ، وهي من الطرق ذات تكلفة مقبولة لعمل نماذج ذات خصائص ميكانيكية ، إن المشكلة هي في السعر العالي للأدوات والزمن المطلوب للطباعة ، حيث يتم البناء فيها مباشرة من بيانات هندسية رقمية . الصورة (043).

- ترسيب الحبيبات

تُستخدم في طرق أخرى حبيبات (بودرة) مثل الجص أو مثل Zcorp ، حيث أن البودرة تسمح بتجانس أكبر وتعطي نهايات أفضل من النماذج المصنوعة من البلاستيك ، والبودرة الناعمة تقسى باستعمال سائل مقسي يرطب أماكن البودرة التي ستصبح صلبة ، وتترك البقية المحيطة بها كمغلف داعم ، و يمكن استعمال رؤوس طابعات حبر كسائل مقسي يسمح بعمل أجزاء ملونة . يتحرك في البداية المكبس الحامل للنموذج باتجاه الأعلى، حيث تكون الحجرة فارغة ومع كل حركة من الطباعة يسكب الرأس بعض البودرة من أعلى حجرة البودرة لتنتقلها إلى حجرة النموذج، وتوضع طبقة رقيقة من البودرة عليها وتتم الطباعة على هذه الطبقة المضافة ، وفي طريق العودة تعاد البودرة المتبقية إلى الحجرة الخاصة بها لتعاد العملية ثانية ، وأثناء التكرار وفي كل مرحلة يرتفع مكبس البودرة ليؤمن الطبقة الثانية، وينخفض مكبس النموذج ليفسح مجالاً للطبقة الثانية ، يدار كل هذا بشكل رقمي، وهنا لا داع للمادة الداعمة لأنها تُدعم بالبودرة غير المستعملة المحيطة بها، وفي نهاية العملية يكون النموذج ضمن البودرة في حجرة النموذج ، حيث تُزال البودرة غير المستعملة كاشفة النموذج الحقيقي. لكن هذه النماذج تكون حساسة وبحاجة لمعالجة على هيئة صب الشمع ، أو الإيبوكسي لتقسية الطبقة الخارجية.

3-6- تقنيات التجميع و طرقه

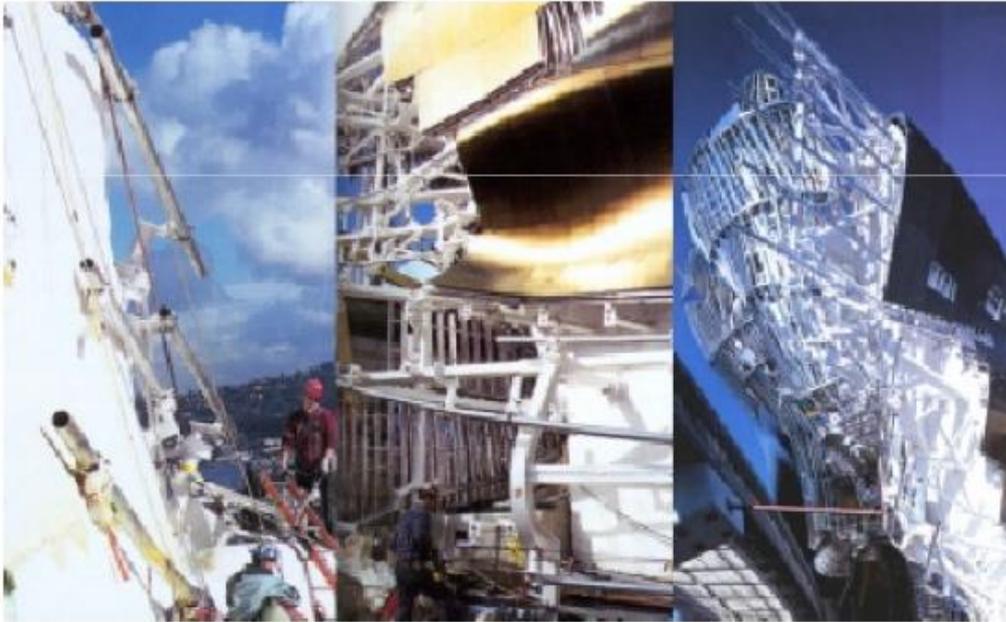
إن الجهود السابقة تركزت على أتمتة المراحل التقليدية لتصميم وتنفيذ المبنى لتخفيض التكاليف ، ولكن لا يتوقف الموضوع عند هذه المرحلة فمن أجل صنع تصميمات معمارية رائدة لم تكن معروفة سابقاً لا بد أيضاً من تركيب و تجميع الأجزاء المصنعة بدقة فائقة للحصول على الجمال المطلوب . حيث يمكن تجميع أجزاء المباني والهياكل بشكل رقمي بواسطة آلات خاصة لتجنب أخطاء التنفيذ والحصول على الدقة المطلوبة، ولكن يمكن أن تصبح هذه العملية صعبة جداً ، عندما يكون المبنى بمقاييس كبيرة ، ومن أحدث التطبيقات انتشاراً استخدام نظام تحديد المواقع الدولي الـ GPS في التحديد الدقيق لموقع أي نقطة في الفراغ بدقة تصل إلى (20-50 مم) ، ويتبادل هذا النظام البيانات مع نظم الرسم والتصميم باستخدام الحاسب الآلي (CAD) ¹ . يمكن التحكم بأذرع آلية عملاقة لوضع أجزاء المبنى في نقشة محضرة مسبقاً بشكل رقمي ، حيث تُستخدم تقنيات مسح رقمية وأدوات ليزرية لتحديد مواقع كل جزء من أجزاء المبنى الصورة (044).

¹ خليل حسام الدين محمد بكر ، تطبيقات الحاسب الآلي في العمارة و البناء (ص-11)



الصورة (044) : استخدام الأدوات الليزرية و ال GPS في تحديد مواقع أجزاء
المبنى (المصدر 26-60)

يُعتبر مبنى مركز ساتاتا - Stata Center " لفرانك غيري " هو نموذج جيد عن تجميع الأجزاء المصنعة رقمياً ، وفي حالة هذا المبنى نُقلت ألواح الواجبة ذات الأشكال الحرة التي صنعت في مصنع زاهنر Zahner Factory في مدينة " كنساس " إلى الموقع ، والتجميع كان موجه بنقاط إحدائيات قيست باستعمال أجهزة إيجاد المجال الليزرية Laser range Finders .
كذلك متحف غوغنهايم و صالة الحفلات الموسيقية في ديزني ، تم تركيبه باستعمال تجهيزات قابلة للضبط مكنت من الحصول على درجة عالية من الدقة في وضعها بالمكان للألواح المسبقة الصنع كل من بيانات التصنيع الرقمي للألواح ، وبيانات التثبيت في المكان أخذت من نموذج برنامج كاتيا CATIA أنجز من قبل المعماريين، وقد استخدمت روبوتات في تجميع الأجزاء بأذرع آلية (Robotic arms)، واستعملت كذلك تقنيات خاصة مرتبطة بالـ GPS لتكيب مبنى Experience music project في سياتل الصورة (045).



الصورة (045) : تركيب مبنى Experience music project (المصدر 26-62)

طرق التجميع

التجميع المرتكز على المشابك

- إن استعمال المشابك لتجميع الأجزاء له وجود قديم ، وخاصة المسامير الخشبية والمعدنية ، لكن البراغي أحدث استعمالاً .

- زاد التصنيع الرقمي من دقة القطع المجمعة ، حيث لا يكون أحياناً هناك حاجة لضبطها ، وهذا الأمر صحيح للقطع المعدنية وحديثاً للخشب ، حيث أن مكان وثقب المشبك يمكن أن يحدد آلياً بدقة من بيانات الحاسوب CAD .

التجميع المرتكز على الشكل الهندسي

إن الاعتماد على الشكل الهندسي للأجزاء في التجميع دون استعمال مشابك له أيضاً في تاريخ العمارة ، وهو يتنوع بين مسننات النجارة والوصلات الخشبية والحجارة ، التي يفضل تطابق الخصائص الهندسية الأجزاء لتبقى القطع مستقرة في مكانها وهذه الطريقة تُعتبر أفضل من سابقتها ، فالوصلات الخشبية موجودة في العمارة اليابانية والصينية وبعض الجدران الحجرية "للأنكا" التي تقاوم الزلازل . في هذه الحالة لا بد من إجراء دراسات لمعرفة ما إذا كانت قابلة للاستناد على بعضها لتعطي الشكل النهائي المطلوب .

3-7- أهم البرمجيات المستعملة في تصميم و تنفيذ السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة

كما بات واضحاً كل تقنيات تصميم وتنفيذ السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة، يجب أن تدار وتشغل بشكل رقمي ، والبرمجيات التي تُستخدم في كل مرحلة من المراحل المذكورة سابقاً متنوعة وعديدة وبعضها قابل للاستخدام في أكثر من مرحلة .

و بشكل أساسي يمكن تقسيم البرامج المتوفرة إلى برامج متخصصة في ثلاث محاور أساسية :

- CAD (Computer Aided Design) Programs برامج التصميم الرقمي، وهي البرمجيات التي تساعد في رسم ، وتصميم ، وتعديل السطوح للوصول إلى التصميم المراد و تطبيق عمليات التبسيط المطلوبة للوصول إلى النموذج الرقمي القابل للتنفيذ .
- CAE (Computer Aided Engineering) Programs برامج الدراسات الهندسية الرقمية ، وهي البرمجيات التي تساعد في استخدام الحاسب في تطبيق تحاليل ودراسات هندسية على السطوح ، بما تتضمنه من دراسة للعناصر الإنشائية ، والقوى ، والحمولات المؤثرة عليها وتصل في بعض الأحيان إلى دراسة شبكات البنى التحتية في المبنى .
- CAM (Computer Aided Manufacturing) Programs برامج التصنيع الرقمي وهي برمجيات تساعد على استخدام الحاسب من أجل إدارة عملية التصنيع والتركيب لكافة أجزاء المبنى بشكل رقمي ، حيث تصدر إليها البيانات المطلوبة من برامج التصميم الرقمي.¹

و يمكن أن تختص البرمجيات المنتشرة عالمياً في أحد المحاور الثلاث فقط (وبالتأكيد أكثر البرامج انتشاراً هي برامج الـ CAD) ، ويمكن أن تكون مختصة في محورين وبعضها الآخر يُستخدم للعمل

¹ Gujarathi G.P., Ma Y.-S., Parametric CAD/CAE integration using a common data model , p 118-122

على كافة المتطلبات السابقة ، وبالتالي تسمح بعمل رقمي متكامل على برنامج واحد و تخلصنا من مشاكل عدم توافق البرامج المختلفة ، و فيما يلي أهم البرمجيات المستخدمة عالمياً :

COBALT -

برنامج تصميم رقمي CAD واسع الانتشار تم تصميمه عام 1988 من قبل Dr. Marlin Newell يُستخدم للتصميم المباشر ، والتعديل على السطوح ، ويعتمد بشكل رئيسي على استخدام المنحنيات ويرتبط بسهولة مع عدد من برامج التصنيع الرقمي CAM ، حيث يصدر إليها البيانات اللازمة للتصنيع.

FORM Z -

برنامج تصميم رقمي CAD طور من قبل Autodes sys ، وهو مستعمل في كل مجالات التصميم التي تتعامل مع الرسم ثلاثي الأبعاد و منها العمارة.

Power Shape , Power Mill, Power Inspect -

قامت شركة Decalm بتطوير عدد من برامج التصميم والتصنيع الرقمي CAD, CAM ومن أهمها: Power Shape : وهو برنامج يسمح بتصميم سطوح ثلاثية الأبعاد معقدة الشكل، و يدعم إمكانية استيراد بيانات المسح الرقمي من برامج أخرى ، ومعالجتها للحصول على النموذج الرقمي المطلوب. Power Mill : وهو برنامج يدعم إمكانية التحكم ببعض أدوات التصنيع ذات درجات حرية تتراوح من درجتين إلى خمس درجات. Power Inspect : ويستخدم في أدوات المسح الرقمي ، فيحصل على البيانات من خلال التحكم بعدد من أذرع المسح والقياس البصري يصدرها إلى تقنيات الرسم.

PTC Creo -

برنامج رسم وتحليل وتصنيع رقمي CAD-CAE-CAM طور من قبل شركة Parametric Technology corporation ، ويعرف كذلك باسم Pro Engineer ، وهو يدعم بشكل قوي عملية التصميم ، والتجميع ، ودراسة العناصر الإنشائية، ويؤمن كذلك أدوات مهمة للمهندسين الميكانيكيين من أجل دراسات عديدة ، وخاصة تحليل الاستقرار Static والحركة Dynamic ، كما يُستخدم أحياناً لتصنيع النماذج ، وهو منافس لبرنامج CATIA و Siemens NX .

CATIA Computer Aided Tree-dimensional Interactive Adaptation -

برنامج متعدد الاستعمالات يدعم كلا من تقنيات الـ CAD-CAE-CAM ، وبالتالي كل مراحل التصميم انطلاقاً من الفكرة وتصميم السطح وصولاً إلى الدراسة الهندسية ومن ثم إلى التصنيع ، ويساعد كذلك في الدراسات الكهربائية والتمديدات والبنى التحتية ، بدأ تطويره في عام 1977 من خلال مصنع الطائرات الفرنسي Avions Marces Dasault من أجل تصنيع طائرة ميراج القتالية ، ثم انتقل استعماله لصناعة الطائرات ، والسيارات ، والسفن ، وغيرها من الصناعات وفي عام 1984 استعملت شركة Boeing برنامج CATIA V3 كبرنامج أساسي في التصنيع. استعمل المعماري "فرانك غيري" هذا البرنامج لتصميم عدد من المباني ، ثم قام ذراعه التقني شركة Ghery Technology بتطوير برنامج Digital project انطلاقاً من CATIA V5.¹

¹ Bernard. F , A short history of CATIA & Dassault Systemes, 2003 , p(3-31)

- Rhinoceros 3D

برنامج تصميم رقمي صمم من قبل Robert McNeil ، يركز على استعمال سطوح ال Nurbs في رسم وتصميم النماذج الرقمية بدل من تقنية الميش المستعملة في برامج أخرى ، وإجراء دراسات تتعلق بالانحناء والاستمرارية ، يُستعمل البرنامج من أجل التصميم والتصنيع الرقمي CAD-CAM للنماذج الفيزيائية ومجالات العمارة ، وكذلك في التصميم الصناعي للسيارات و الغواصات .
يستعمل لغة برمجة خاصة تسمى Grasshopper ، ويتميز بوجود أدوات ملحقة بالبرنامج أهمها ال- Paneling Tool التي تُستخدم لتحويل السطح إلى ألواح بأشكال عدة .

- Digital Project

برنامج انطلق من CATIA V5 ، وطور من قبل شركة Ghery Technology ليلائم العمل المعماري ، وهو يدعم تقنيات التصميم ، والتحليل والتصنيع ، وكذلك دراسة البنى التحتية ، استعمل هذا البرنامج في مشروع متحف غوغنهايم Guggenheim Museum في مدينة بلباو و مركز Satata و Walt Disney Concert Hall .
وبعكس بعض البرامج المستعملة يسمح البرنامج بإرسال أوامر التصنيع للآلات مباشرة عوضاً عن تصدير البيانات لبرامج أخرى.¹

- Siemens NX

برنامج يُستخدم من أجل تصميم السطوح وتحليلها هندسياً من ناحية الاستقرار والقوى المؤثرة، وكذلك دراسة العناصر المكونة للمشروع ، والتحكم الرقمي بتصنيعها وصولاً إلى عملية التجميع ،فهو بالتالي يدعم تقنيات ال- CAD-CAE-CAM .

¹ Gehry technology : <http://www.gehrytechnologies.com>

الفصل الرابع :

دراسة امكانيات و تقنيات التنفيذ المتوفرة محليا و الملائمة لتنفيذ السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة في سورية

الفصل الرابع :

دراسة امكانيات و تقنيات التنفيذ المتوفرة محليا و الملائمة لتنفيذ السطوح ذات

الأشكال غير المنتظمة في سورية

بعد دراسة العديد من التجارب العالمية ، والتعرف على معظم تقنيات التنفيذ المنتشرة عالمياً ، التي ساهمت في تسهيل عملية تصميم وتنفيذ السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة ، لابد من التعرف بشكل دقيق على الإمكانيات والتقنيات والمواد المتوفرة محلياً في سورية ، والتي يمكن استخدامها لتنفيذ سطوح ذات أشكال غير منتظمة من أجل العمل في المستقبل على تصميم و تنفيذ هذه السطوح بشكل مدروس و فعال ويناسب كافة الجوانب المعمارية.

4-1- تواجد السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة في سورية

كما رأينا في الفصول السابقة من هذا البحث ، انتشرت التصاميم المعمارية التي تتألف من سطوح ذات أشكال غير منتظمة والتي تتميز بغرابة الشكل وعدم الانتظام في الانحناءات بشكل واسع في أنحاء عديدة من العالم ، و خصوصاً خلال العقد الأخير من الزمن ، فقد حظي تصميم وتنفيذ مثل هذه المباني والتشكيلات المعمارية على اهتمام العديد من المعماريين العالميين ، الذين تفننوا بابتداع تصاميم فريدة ومميزة ، من حيث الأشكال والحجوم والمواد المستعملة و الفراغات الداخلية المتشكلة ، وشكلت هذه التصاميم صروحاً معمارية ورموزاً فنية ميزت الأماكن والمناطق التي أقيمت فيها ، وشكلت نقطة تحول في عالم المدارس المعمارية باتجاه نمط جديد في العمارة.

وإذا نظرنا نظرة سريعة إلى واقع العمارة في سورية خلال نفس الفترة الزمنية وخصوصاً خلال السنوات الأخيرة ، نجد أن هذه التصاميم التي تتميز بعدم الانتظام ، غير منتشرة بشكل فعلي، وأن المعماريين السوريين لم يتجهوا إلى تنفيذ مباني و تصاميم مماثلة ، على الرغم من وصول معظم البرمجيات والتقنيات العالمية إلى السوق المحلية وتوفر معظم المواد الحديثة في سورية في الآونة الأخيرة، وقد اقتصر تواجد هذه التصاميم على مجموعة من الدراسات و المشاريع الجامعية لطلاب اتبعوا هذا الاتجاه المعماري ، إضافة إلى بعض المسابقات معمارية لبعض المباني الحكومية و الثقافية و التي لم تدخل حيز التنفيذ و بقيت دراسات افتراضية.

لكن في سورية هناك عدة تجارب لتنفيذ بعض المباني المنحنية ، أو المستوية باستخدام مواد وتقنيات وطرق تصنيع ووصل يمكن استعمالها والاستفادة منها في تنفيذ السطوح المنحنية الأكثر تعقيداً. فمثلاً تغطية المنصة الرئيسية في ملعب العباسيين في دمشق تعكس هندسة و تقنيات بارزة قابلة للتطبيق على السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة ، حيث استخدمت مورينات خشبية مؤلفة من عدة طبقات مرصوفة فوق بعضها (وهي تقنية بالغة الأهمية يمكن تطبيقها على الجوائز المنحنية) ، وموصولة بوصلات معدنية مع العناصر الرابطة العرضية ، والتي يثبت عليها الإكساء النهائي الصورة (046) الصورة (047) ، إن المجازات والفراغ الذي وفرته هذه التغطية يوضح أن الهندسة المستعملة فيها قابلة للتطبيق على السطوح المنحنية ذات المجازات الكبيرة.¹

¹ من زيارة الباحثة لموقع المشروع



الصورة (046) : تغطية المنصة الرئيسية في ملعب العباسيين بدمشق (تصوير د. غسان عبود)



الصورة (048) : سقف صالات الاتحاد الرياضي (تصوير د. غسان عبود)



الصورة (047) : الوصلات في تغطية المنصة الرئيسية في ملعب العباسيين بدمشق (تصوير د. غسان عبود)

و مثال آخر السقف الخشبي المنحني لصالات الاتحاد الرياضي ، والذي استخدم لتغطية صالات بمجازات كبيرة ، يعزز فكرة كون الانشاء الخشبي بطرق تنفيذ مماثلة ، يمكن أن يكون ملائماً للتطبيق في السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة الصورة (048).



الصورة (049) : مبنى اتحاد كرة القدم (تصوير د. غسان عبود)

يُعد مشروع قبة الهدف (مبنى اتحاد كرة القدم) في دمشق مثلاً هاماً يمكن الاستفادة منه في عدة نواحي في المستقبل الصورة (049).

حيث استخدمت لإكساءه ألواح بلاستيكية متكررة مثبتة على هيكل معدني شبكي مؤلف من عناصر معدنية خطية. الصورة (050).



الصورة (050): الهيكل المعدني الحامل لقبة الهدف (تصوير د. غسان عبود)

والعقد الرابطة بين العناصر المعدنية هي عقد سداسية تلتقي في كل منها ستة عناصر حاملة مثبتة ببراعي، بعضها مرتبط بالهيكل البينوني الرئيسي الصورة (051).¹



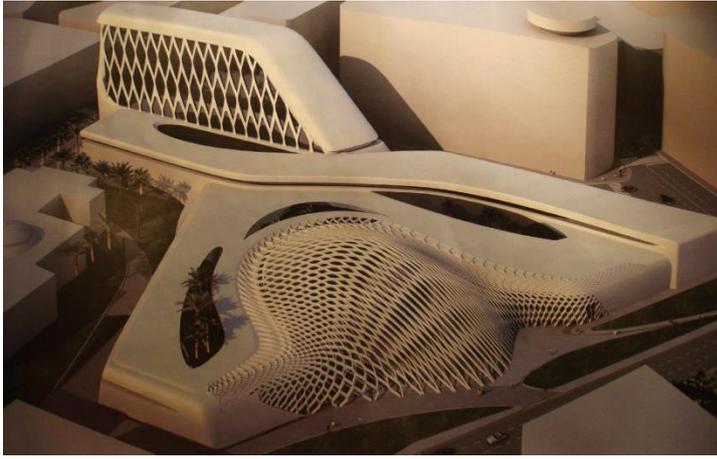
الصورة (051): طريقة ربط العناصر المعدنية الحاملة في قبة الهدف. (تصوير د. غسان عبود)

صُنعت الألواح البلاستيكية بواسطة قوالب خاصة تم صب البلاستيك عليها ليأخذ الشكل المطلوب، و الألواح كلها متشابهة من نموذج واحد الأمر الذي سهل عملية التصنيع الصورة (052).



الصورة (052): الألواح البلاستيكية المستعملة في اكساء واجهات قبة الهدف. (تصوير د. غسان عبود)

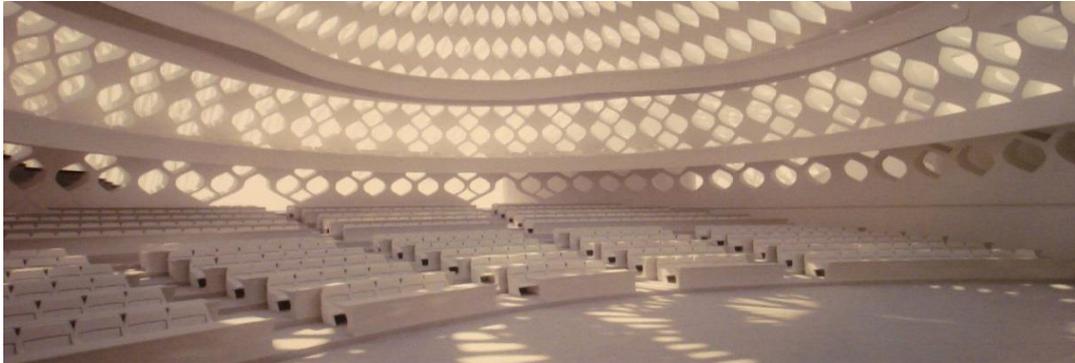
¹ من زيارة الباحثة لموقع المشروع



ويُعد تصميم مبنى مجلس الشعب الجديد في منطقة الصالحية في دمشق الذي صمّمته المعمارية العالمية " زها حديد " ضمن إطار مسابقة معمارية لتصميم المبنى المذكور، والتي شارك فيها العديد من المماريين المحليين والعالميين ، من النماذج الدراسية لتصاميم ذات أشكال غير منتظمة ، لكنه لم يُنفذ حتى الآن الصورة (053).

الصورة (053): مسابقة مجلس الشعب في دمشق للمعمارية زها حديد (تصوير الباحثة في معرض المسابقة 2007)

فكرة المبنى إعطاء تصميم ديناميكي منسجم مع الحديقة من خلال تداخل المبنى مع الفراغات الخضراء . المبنى مؤلف من ثلاث أجزاء رئيسية ، الجزء الأول المبنى المرتفع الذي يضم المكاتب عبارة عن إنشاء بيتوني ذو سطح انسيابي وواجهات معدنية وزجاجية ، الجزء الثاني بيتوني منخفض الارتفاع يتميز بانسيابية الزوايا واستمرارية الشكل ، الجزء الثالث مغلف لصالة البرلمان (قبة البرلمان) و هي عبارة عن قشرية مؤلفة من سطح غير منتظم شبيه بالقبة ، وفيه تفرّغات على شكل خلايا غير منتظمة تسمح بمرور الضوء¹ الصورة (054) .



الصورة (054): الفراغ الداخلي لقبة البرلمان (تصوير الباحثة في معرض المسابقة 2007)

و يمكن إرجاع موضوع عدم انتشار التصاميم ذات الأشكال غير المنتظمة بشكل واسع في سورية بشكل أساسي إلى التكاليف العالية المطلوبة من أجل تنفيذها ، مقارنة مع تكاليف تنفيذ التصاميم العادية البسيطة ، وخاصة فيما يتعلق بتكاليف تصنيع المواد من قص وحني ومعالجة ، إضافة إلى صعوبة التركيب والتجميع ، لكن من الممكن التفكير بالاستفادة من توافر مواد عديدة محلياً ، وإمكانيات تصميم متطورة نسبياً لتنفيذ تصميمات مماثلة، وسنتعرف بالتفصيل على هذه الإمكانيات والتقنيات المتوفرة في الفقرات التالية.

سيتم تسليط الضوء في هذا الفصل من البحث ، على كافة الإمكانيات والتقنيات الفعلية المتوفرة في سورية لتصميم وتنفيذ تصاميم معمارية مؤلفة من سطوح ذات أشكال غير منتظمة ، وسنتطرق إلى

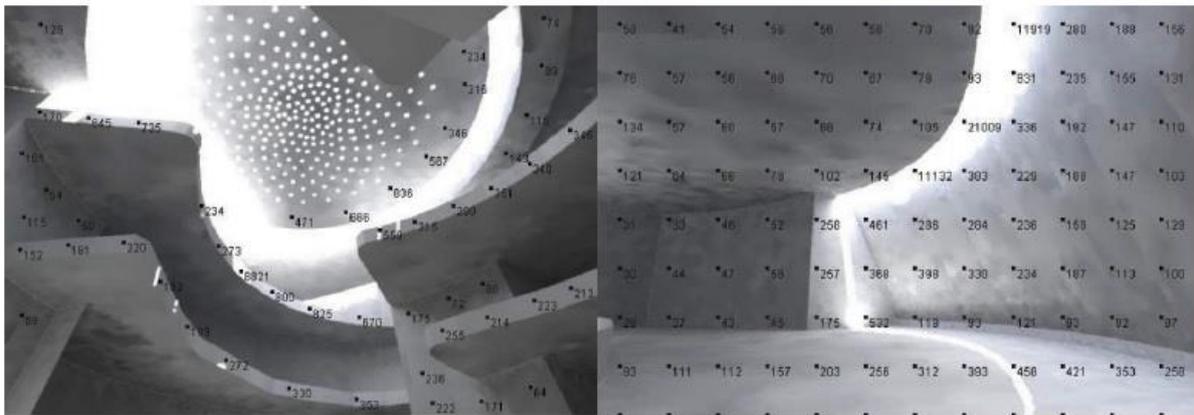
¹ لوحة شرح المشروع في المعرض الذي أقيم لشرح مشاريع المسابقة أيلول 2007

الاعتبارات و المقيدات المتعلقة بالسوق المحلية ، والتي يجب على المعماري أخذها بعين الاعتبار ودراستها بعمق أثناء كافة مراحل الدراسة ، نظراً لخصوصية وصعوبة التعامل لهذه المباني في كافة مراحل التصميم والتنفيذ. فبالإضافة إلى الاعتبارات الإنشائية والجمالية والتنفيذية العامة التي يجب أخذها بعين الاعتبار ، والتي نوهنا إليها في الفصل الثاني من هذا البحث ، يجب على المعماري أثناء مراحل التصميم دراسة معطيات البيئة والمكان الجغرافي ، الذي ستُنفذ فيه هذه التصاميم والمتطلبات الاقتصادية و المواد المتوفرة في هذا المكان ، الأمر الذي يؤثر بشكل كبير على هيئة و تصميم المنتج المعماري النهائي وملائمته للمكان وكفاءته المعمارية وهو الهدف الذي صُمم و نُفذ من أجله .

4-2- حالة دراسية مبنى استكشاف الطفل (مسار)

يُعتبر مشروع مركز استكشاف الأطفال و اليافعين (مسار) الذي ينفذ حالياً في دمشق التطبيق الفعلي الأهم لهذا الاتجاه المعماري في سورية.

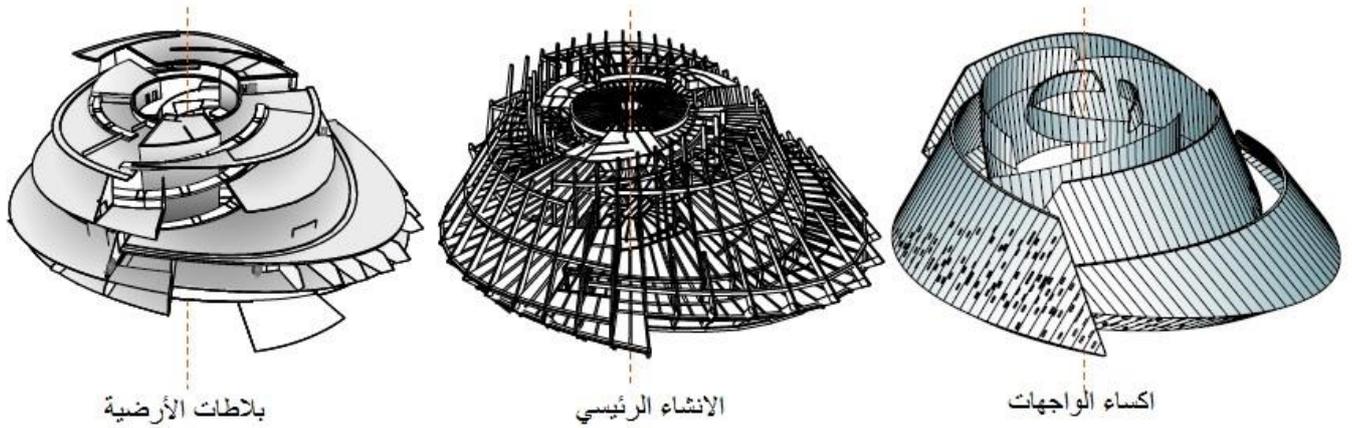
فقد تم اقتراح المشروع في مدينة المعارض القديمة في شارع " شكري القوتلي " في قلب العاصمة دمشق ، ضمن المحور الثقافي الممتد من الجامع الأموي إلى ساحة الأمويين ، والمتضمن العديد من الصروح الثقافية الهامة ، كالمتحف الوطني ، والتكية السليمانية ، وقلعة دمشق على مساحة تقديرية / 170000 م² ، حيث يحتوي على مسارج ، ومراكز تدريبية وتعليمية، ومقاهي انترنت ، ومختبرات وقد قام بتصميمه مكتب المعماري الشهير " هنينغ لارنسن " Hening Larsen من خلال مسابقة معمارية عالمية شارك فيها العديد من المعماريين المحليين و العالمين، وكانت فكرة التصميم على شكل وردة دمشقية بقطر / 80 / م بارتفاع 33 م ، لتشكل نقطة مرجعية بصرية ومركز جذب في دمشق ، وقد تم اختيار الشكل الخارجي والمواد بشكل يحقق الغرض التصميمي المطلوب ، ويتناسب مع المحيط العمراني بشكل يسمح بتحقيق تلاعب فريد بين الظل والنور في الفراغات الداخلية، وتراكم السطوح مع بعضها ، كما يتغلغل الضوء بين بتلات الزهرة من خلال نقشات الواجهة¹. الشكل (103) يوضح التأثيرات التصميم البصرية على الفراغ الداخلي و التناوب بين الظل و النور .



الشكل (103): تأثير التصميم على الفراغ الداخلي في مبنى مسار (المصدر 56-12)

¹ Henning Larsen architect : <http://www.henninglarsen.com>

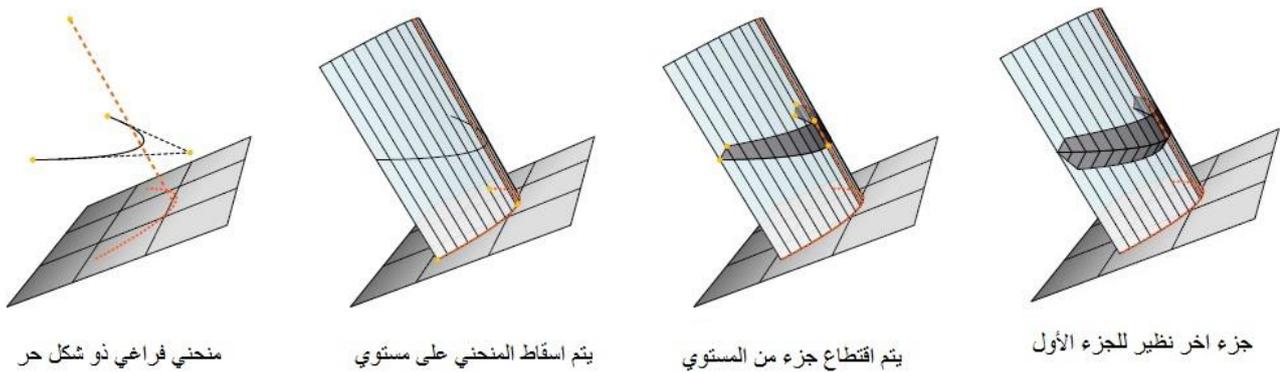
كما رأينا في الفصل الثالث من هذا البحث أنه لا بد من رسم وتمثيل أي تصميم عضوي بواسطة سطوح معرفة قابلة للتنفيذ مع الحفاظ على هيئة الشكل ، و في حالة المبنى المذكور نجد أن المعماري وبعد وضع الفكرة التصميمية المطلوبة قرب شكل الوردة الدمشقية (فكرة التصميم) إلى مجموعة سطوح مسطرة قابلة للفرد على مستوي ،مقاطعة مع بعضها بطريقة تحقق الشكل المطلوب ،وتم وصل بعض السطوح مع بعضها بواسطة سطوح منحنية باتجاهين لتحقيق الانسابية المطلوبة الشكل (104).



الشكل (104): اليسار انشاء الأرضيات ، الوسط انشاء الواجهات ، اليمين السطوح المشكلة للواجهة في مبنى مسار (المصدر 56-12)

ثم تم تحليل المبنى ووضع الهيكل الانشائي الحامل الذي ستثبت عليه الواجهات الخارجية بشكل يربط بين البلاطات المؤلفة لمستويات المبنى بشكل مائل يعطي الشكل المطلوب . الشكل (105) التالي يوضح هندسة الواجهات ، وكيفية اشتقاق السطوح الخارجية للمبنى كأجزاء من سطوح قابلة للفرد و تقاطعها مع بعضها بشكل يحقق الهدف التصميمي المطلوب.

هندسة الواجهات

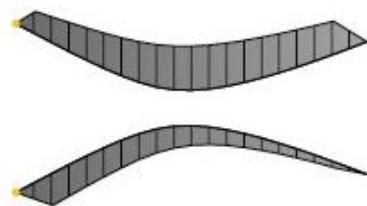


منحني فراغي ذو شكل حر

يتم اسقاط المنحني على مستوي

يتم اقتطاع جزء من المستوي

جزء اخر نظير للجزء الأول



فرد هذه السطوح على مستوي

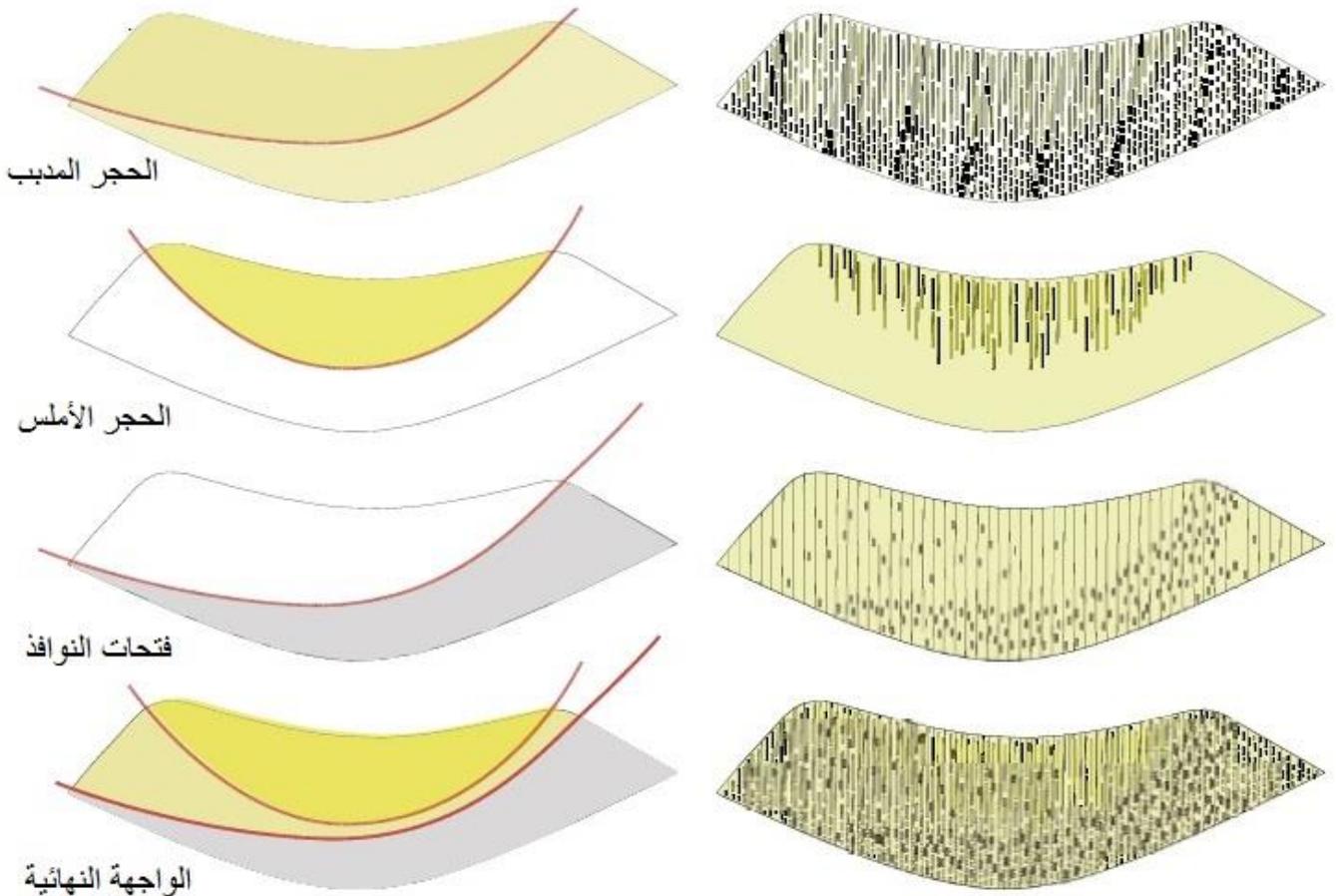
الشكل (105): طريقة اشتقاق و تصميم السطوح الخارجية لمبنى مسار (المصدر 56-31)



الصورة (055) تنفيذ مبنى مسار (تصوير الباحثة)

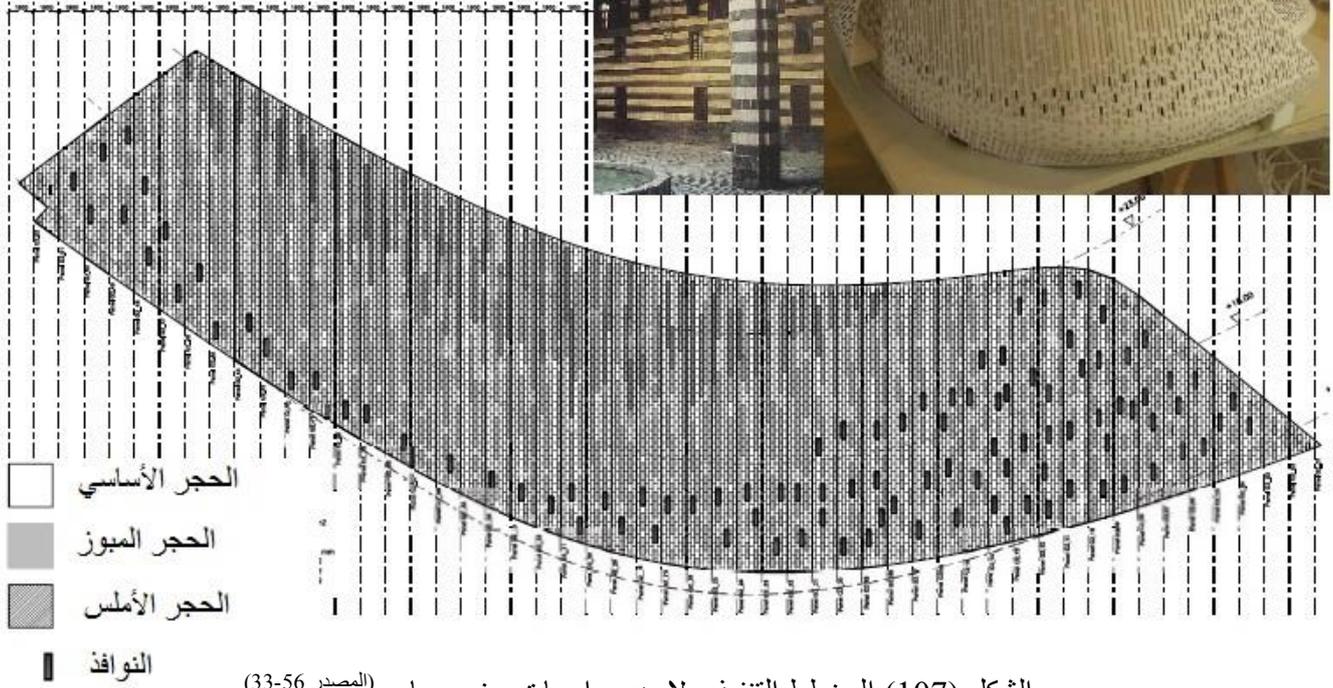
و بالرغم من أن الدراسة الإنشائية كانت بعناصر حاملة رشيقة للواجهات جرى التنفيذ بدعامات من البيتون المسلح، مع إضافة ثقل إنشائي عوضاً عن الخفة الموجودة في التصميم الصورة (055).

وكون السطوح المشكلة للقشرة الخارجية كلها قابلة للفرد على مستوي ، تمت معالجة اكساءاتها بسهولة نسبياً ، حيث تم بعد فرد كل جزء من الواجهة على مستوي تحديد أماكن الفتحة والإغلاق و توزيع مواد الإكساء المستعملة ، بنقشات تحقق الغرض التصميمي ، فقد تقرر استعمال الحجر في تغطية السطوح ليكون منسجماً مع المحيط العمراني الموجود فيه ، والشكل (106)،(107) يوضح كيفية تناوب عناصر الإكساء و الفتحة و الإغلاق على السطوح الخارجية.



الشكل (106):تصميم نقشات الواجهات و توزيع مواد الإكساء لمبنى مسار (المصدر 56-32)

تفريد الواجهات



جعلت قطع الحجر هذه، متناوبة وبيروزات و سماكات مختلفة بشكل يحقق النقشة المطلوبة، ويضفي الحيوية على الواجهة، وهي مثبتة على صفائح معدنية شُكلت على هيكل إنشائي لتعطي هيئة السطح الرئيسي، واستعمال الحجر جعل السطوح المنحنية غير انسيابية بشكل كامل، فبالرغم من استعمال قطع حجرية صغيرة إلا أن الشكل الناتج يبقى متعدد وجوه منفصل.

توضح الصورة التالية تفصيلة تركيب الحجر على الواجهات، حيث شُكلت الواجهة بصفائح معدنية، وتم تركيب شبكة معدنية لحمل الحجر، ثم ثبتت الأحجار عليها وعولجت الفواصل فيما بينها الصورة (056).¹



الصورة (056): طريقة تركيب حجر واجهات مبنى مسار (المصدر 38-56)

¹ Henning Larsen architect : <http://www.henninglarsen.com>

3-4 - الاعتبارات التصميمية و المعمارية المطلوب أخذها بعين الاعتبار

لتصميم و تنفيذ السطوح ذات أشكال غير منتظمة في سورية.

عند قيام المعماري بتصميم أي مبنى في سورية ، لا بد من دراسة الاعتبارات التصميمية (الوظيفية و الاقتصادية والإنشائية) المطلوبة لجعل هذا التصميم ملائماً وقابلاً للتنفيذ ، وبكل تأكيد عند تصميم مبنى مؤلف من سطوح ذات أشكال وانحناءات غير منتظمة ، تدخل مجموعة من الاعتبارات الإضافية التي يجب على المعماري دراستها ، وهذه الاعتبارات تتعلق بخصوصية هذه المنشآت ، ومدى ملائمتها للمواد و طرق التنفيذ المتوفرة .

يمكن أن نلخص الاعتبارات التصميمية التي يجب أخذها بعين الاعتبار بما يلي :

4-3-1- الحل الوظيفي و الفراغات الداخلية

من المعلوم لأي معماري يقوم بتصميم مبنى معين ، يجب لهذا التصميم أن يكون ملائماً للوظيفة المقترحة التي سيبنى هذا المبنى من أجلها ، حيث أن تحقيق الغاية الوظيفية في العمارة يُعد من أهم عوامل نجاح التصميم ، وكما رأينا في فصل سابق أن تصاميم المباني ذات السطوح غير منتظمة الشكل، والتي تتميز بالغرابة لا تكون عادة ملائمة لكل أنواع الوظائف المعمارية ومتطلباتها، كون الفراغات الداخلية التي توفرها هذه التصاميم لا تتناسب مع أي وظيفة معمارية ، وأن هناك وظائف محددة أكثر ملائمة ليتم احتوائها بمباني مصممة باستخدام هذه الأشكال ، فمن الممكن أن تصمم صالة مطار محلي أو دولي ، محطة قطارات ، صالة رياضية ستحتضن فعالية رياضية مميزة ، متحف ، مركز أو صرح ثقافي ، أو صرح رمزي يراد منه أن يكون نقطة جذب . باستعمال تصاميم مماثلة . و بالقيام بدراسة سريعة لواقع معظم المباني التي تحتضن الفعاليات الوظيفية السابقة في سورية ، نجدها مباني ذات تصميم عادي بشكل عام ، ولا تتميز كثيراً عن مباني الفعاليات الأخرى . و بالتالي يمكن للمعماري السوري أن يقترح دراسات لتطبيق تصاميم ذات سطوح غير منتظمة الشكل كفكرة تصميمية لتجديد أحد المطارات في سورية ، أو عند بناء توسع لمطار دولي كون هذا المطار سيكون بوابة القادمين لسورية ، ويمكن أن يُنفذ بشكل يحمل معنى رمزي فريد ويكون نقطة جذب ، بالإضافة لكون الفراغات الداخلية التي يوفرها هذا التصميم بأبعادها وأشكالها ، مناسبة لتحقيق الغرض المطلوب من هذا المبنى .

كذلك يمكن طرح فكرة مماثلة لتصميم أي مبنى أو صالة رياضية ربما تحتضن فعالية رياضية عربية أو قارية ، وذلك لما تحتاجه هذه الفعاليات من مجازات واسعة ، وفراغات داخلية كبيرة و متنوعة . و نظراً لتوجه سورية في العقد الأخير لاحتضان فعاليات ثقافية وأدبية وفنية مختلفة ، كان هناك توجه لتصميم و تنفيذ عدد من المباني الثقافية ، وبتصاميم مميزة ، وفراغات داخلية تعكس جمال المبنى و تميزه عن المباني المحيطة (مثال على ذلك دار الأوبرا في دمشق الذي يتميز بتصميم جميل ويشكل رمزاً وسط العاصمة دمشق) .

حيث تُعد المباني الثقافية من المباني الملائمة للتصاميم غير التقليدية، ومن الممكن تنفيذها باستعمال أشكال غير منتظمة ، نظراً لكونها موجودة بمقاييس وأحجام مختلفة ، وتتطلب فراغات داخلية بمقياس وشروط إضاءة مختلفة تتلائم مع التنوع الوظيفي في هذه المنشآت ، مما يسهل البداية بتجارب محلية صغيرة لاختبار الإمكانيات الفعلية لتنفيذ هذه المنشأة ، ثم الانتقال في مرحلة لاحقة إلى تنفيذ مباني

بمقياس أكبر ، على سبيل المثال كان مطروحاً في سورية أفكار جديدة لإنشاء عدة متاحف ومراكز متخصصة كمتحف الفن الحديث في منطقة العدوي ، والذي كان مقرراً له ان يحتضن معارض دائمة ومؤقتة ، وكان يُخطط لهذا المتحف أن يُصمم بشكل يجعله نقطة جذب في تلك المنطقة ، ويعكس الحدائثة ويعطي فراغات داخلية ومجازات متنوعة، والهدف منها جمالي بالدرجة الأولى وليس اقتصادياً.

4-3-2- المناخ

عند دراسة السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة ، لا بد من مراعاة النواحي المناخية في المناطق التي تشاد بها ، واختيار مواد تتلاءم مع هذا المناخ في كافة فصول السنة ، وهو موضوع هام لهذا النوع من المنشآت، حيث أنه لا يتعلق فقط باحتياجات المباني العادية من تدفئة وتكييف وعزل ، بل يجب دراسة كافة عوامل المناخ أثناء الدراسة الإنشائية كون القوى التي يمكن أن يتعرض لها المبنى من رياح وتلوج قد تتطلب معالجات إضافية تتعلق بالشكل ، والميول ، والمواد المختارة ، أو حتى بالأسلوب الإنشائي المختار ، وقد تؤثر على مقاطع العناصر الإنشائية المصممة بشكل كبير .

الطقس في سورية بشكل عام طقس حار ومشمس صيفاً والشمس تكون حادة ، والشكل الأكثر شيوعاً لتنفيذ السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة ، هو باستخدام الزجاج أو المعدن ، ووجود مساحات زجاجية واسعة معرضة للحرارة والشمس يتطلب تكييفاً عالي ، ويستلزم صرف طاقات هائلة ، مما يجعل المبنى غير اقتصادي على المدى البعيد وغير ملائم من النواحي الفنية .

وهنا يبرز دور المعماري في كيفية التصميم بشكل تتوضع فيه السطوح الشفافة والمعدنية على الأجزاء والواجهات غير المعرضة للحرارة مباشرة ، واستخدام مواد عازلة للحرارة على الواجهات الجنوبية والغربية لتفادي الاحتباس الحراري، يجب الأخذ بعين الاعتبار عند اختيار مادة العزل الحراري الظروف التشغيلية والبيئية المحيطة بها والقدرة على مقاومتها ومن ثم تحقيق المتطلبات التصميمية المطلوبة منا . ويتم الاختيار وفق الأسس التالية:

طبيعة المناخ العام ، درجة التعرض للعوامل الجوية ، توجيه المباني ، تهوية المباني ، الجملة الإنشائية المستخدمة

و بالنسبة للسطوح غير المنتظمة يؤثر شكل و انحناء السطح وطريقة تثبيت الاكساء على الاختيار تصنع المواد العازلة للحرارة من مواد مختلفة، منها مواد تكونت في الطبيعة مثل الصخور البركانية الخفيفة الوزن كحجر الخفاف والفيرميكولايت والبيرلايت المعالج بالحرارة ومنها ما يغزل بواسطة الحرارة كالصوف الصخري والألياف الزجاجية، ومنها ما يصنع من مواد كيميائية كالبوليستيرين والبولي يوريثان. وتصنف المواد العازلة بشكل رئيسي الى الفئات التالية :

- المواد العازلة الرقائعية : وهي مواد مؤلفة من أجزاء صغيرة على شكل رقائق متراكمة أو قشور يتخللها الهواء، ومثال على هذه المواد الفيرميكوليت والميكا الممددة والطين الصفحي الممدد.
- المواد العازلة الليفية: وهي مواد مكونة من ألياف شعرية يتخللها الهواء، ويمكن أن تكون مصنعة من مواد غير عضوية كالألياف الزجاجية والصوف الصخري أو من مواد عضوية كالصوف الطبيعي والقطن و الألياف النباتية واللباد.

• المواد العازلة المسامية : الفراغات في هذه المواد عبارة عن مسامات مختلفة في حجمها وطريقة توزيعها، منها ما هو طبيعي كالخشب والقش و القصب والحجارة البركانية و البيرلايت الممدد وخرسانة الركام الخفيف، ومنها ما هو صناعي بشكل لدائن مسامية كالإسفنج.

• المواد العازلة الخلوية : وتتميز بتركيب خلوي ذو فراغات صغيرة الحجم وموزعة بشكل متجانس، ويمكن أن تكون مصنعة من مواد غير عضوية كالزجاج الرغوي والخرسانة الخفيفة الرغوية والخلوية والطين الممدد، أو من مواد عضوية كالبوليسترين الممدد المبتوق، الفلين الممدد والبولي وريثان و الفورمالديهايد والفينول الرغوي.

ولتكون المواد قابلة للاستخدام في السطوح غير المنتظمة يجب أن تكون بإحدى الأشكال التالية :

• بطانيات ولفائف: حيث تكون قابلة للطي والثني وتتصف بالليونة والمرونة، ويمكن تكسية سطوحها برفائق الألمنيوم أو الورق المعالج وفي حال استخدامها في الجدران يجب تثبيتها بحيث يتم ضمان عدم هبوطها.

• خرسانة عازلة للحرارة: عبارة عن مزيج من انواع مختلفة من الركام الخفيف والأسمت والماء، حيث تتحول بعد جفافها إلى خرسانة خفيفة عازلة للحرارة، كالخرسانة الرغوية و خرسانة الركام الخفيف.

• مواد سائبة: وتكون على شكل حبيبات أو ألياف سائبة أو مساحيق، تستخدم لملى الفراغات والتجاويف بطريقة السكب أو الضخ أو الملى باليد، وكمثال عليها حبيبات البيرلايت السائب

• مواد رغوية : تستعمل مواد العزل الحراري الرغوية في تعبئة الفراغات والفجوات في الجدران المزدوجة وفي الأماكن غير منتظمة الشكل بالحقن، وتتطلب هذه العملية مهارة فنية في التطبيق للتأكد من امتلاء الفراغات بشكل كامل ومتجانس¹

ويبرز كذلك دور المعماري في اختيار شكل الإنحناءات وعلاقتها مع اتجاه التشميس ، من المعلوم أن السطوح المستوية الأفقية تكون معرضة للشمس بشكل متساوي ، و بما أن المباني غير المنتظمة تتألف من سطوح مائلة ومنحنيات ، فإن هذه السطوح يمكن أن تؤمن تظليل ذاتي لبعضها البعض ، ومن أجل ذلك يُعد موضوع اختيار اتجاهات السطوح ، وعلاقتها مع الشمس موضوعاً بالغ الأهمية .

أما في فصل الشتاء فمعظم مناطق سورية معرضة للأمطار ، والأجزاء الجبلية والشمالية منها تتعرض للثلوج ، و قد تكون معرضة لرياح قوية في بعض المواسم ، لذلك يجب عند الدراسة الإنشائية دراسة معدلات هطول الثلوج ، وشدة و اتجاه الرياح القسوى في هذه المناطق ، لأن هذه الحمولات الإضافية ، قد تشكل خطراً على الاستقرار الإنشائي للسطوح ذات الأشكال غير المنتظمة ، التي تكون في الغالب ذات إنشاء رقيق مؤلف من عناصر إنشائية تساعد على استقرار المنشأة تحت تأثير وزنها الذاتي بالفعل القشري ، و إن أية حمولات إضافية غير مدروسة مسبقاً ، يمكن أن تؤدي إلى نتائج غير محبذة .

4-3-3- الانسجام مع البيئة المحيطة

هنالك نقطة أخرى يجب مراعاتها وأخذها بعين الاعتبار أثناء عملية تصميم أي مبنى معماري ، وهي انسجام هذا المبنى مع البيئة المحيطة التي سينفذ فيها ، كون هذا المبنى ليس موجوداً وحده في الفراغ ، بل سيكون في سياق معماري وعمراني معين و مدروس.

¹ كود العزل السوري الفصل الثالث

و تحقيق هذا الانسجام يختلف من منطقة لأخرى في سورية ، حيث يتعلق بالجو العمراني العام للمنطقة والطبيعة المحيطة ، فلا يجب أن يكون التصميم المعماري خارج السياق العمراني الذي ينفذ فيه، أو أن يشكل صدمة معمارية في المكان الذي يُقام فيه ، حتى ولو كان غريب الشكل ، ومكون من حجوم غير منتظمة .

و تحقيق هذا الانسجام يتم باختيار مواد ملائمة للمنطقة التي سُنَفذ فيها المبنى ، ولا تشكل صدمة معمارية للسياق العمراني ، وتحقق التوازن بين السطوح المصمتة والشفافة ، وبمراعاة أن يكون التصميم يضيف نواحي جمالية للمكان الذي سنفذ فيه .

4-3-4- الاقتصاد و المواد المتوفرة

تُعد تكاليف تنفيذ المباني ذات الأشكال غير المنتظمة مرتفعة نسبياً ، بالمقارنة مع تكاليف تنفيذ المباني التقليدية ذات الحجوم والسطوح المنتظمة، والمنتشرة عالمياً ، وتتركز التكاليف المرتفعة خاصة في أسعار المواد والمتطلبات وأسعار التصنيع المرتفعة ، الأمر الذي يجعل تطبيق هذه التصاميم، واستخدامها غير مجدي كثيراً من الناحية الاقتصادية ، إلا أنه وكما رأينا سابقاً ، أنه باتباع مجموعة من التوصيات التصميمية يمكن الحد من الزيادة الكبيرة لهذه التكاليف ، لا بل وتقليلها إلى حدود مقبولة . بالإضافة إلى التوصيات العامة المطبقة عالمياً لجعل التصاميم ذات الأشكال غير المنتظمة أكثر اقتصادية وأقل تكاليف ، والمتعلقة بالنمذجة واختيار تبسيط مناسب للسطوح ، قد نواجه في سورية بعض المشاكل الإضافية التي تتمثل في عدم توفر بعض المواد ، والوصلات الخاصة والحاجة إلى تصنيعها بتكاليف مرتفعة أو استيرادها من الخارج ، مما قد يزيد التكاليف عدة أضعاف ويجعل تنفيذها أمر غير مجدي إطلاقاً، لذلك لا بد عند تصميم أي مبنى من هذا النوع ، التفكير بالاستفادة من مواد وطرق التصنيع المحلية المتوفرة الملائمة للفكرة المقترحة بشكل يجعل التنفيذ مجدياً أكثر .

يوجد الكثير من المواد المتوفرة في سورية، والتي تُصنع محلياً ، و تُعد ملائمة لتنفيذ تصاميم ذات سطوح غير منتظمة الشكل ، وكذلك مواد أخرى تُستورد بأسعار مقبولة ، ويتم تصنيعها محلياً . من الهام جداً أن يكون هذا الموضوع حاضراً في ذهن المعماري منذ المراحل الأولى للتصميم ليقوم باختيار مواد ملائمة، وتطبيقها بأشكال وترتيب محدد يؤدي إلى الغرض التصميمي المطلوب ، بشكل يسهل ويقلل من تكاليف عملية التنفيذ بشكل ملحوظ، حيث لا يجب تأخير اختيار المواد إلى مرحلة التنفيذ الأخيرة ، لأن هذا التأجيل قد يخلق مشاكل وصعوبات لم تكن مأخوذة بالحسبان . والأمثلة على هذه المواد عديدة ومتنوعة (الخشب ، الزجاج ، اليبتون... الخ) وغيرها ، التي سندرس مصادرها واستعمالاتها و طرق تصنيعها محلياً بالتفصيل في الفقرة التالية:

4-4- المواد و إمكانيات التنفيذ المتوفرة في سورية الملائمة لتنفيذ السطوح

ذات الأشكال غير المنتظمة.

بعد دراسة الاعتبارات الوظيفية، الجمالية، الاقتصادية والإنشائية الخاصة التي يجب أخذها بعين الاعتبار أثناء تصميم أي مبنى ذو شكل و انحناءات غير منتظمة في سورية ، والتي تحدد ضوابط و شروط التصميم ، لا بد من التعرف وبشكل مفصل على تقنيات التنفيذ و مواد البناء المتوفرة المصنعة محلياً أو المستوردة ، وعلى إمكانيات ووسائل التصنيع المتاحة لتنفيذ هذه السطوح ذات الأشكال غير

المنتظمة ، بشكل يسمح بجعلها حقيقة واقعة وبشكل مجدي تصميمياً و اقتصادياً ، وفهم ودراسة هذا الموضوع بشكل مفصل ، يسهل على المعماري في حال الإلمام بهذه المواضيع بشكل جيد اختيار المواد ووسائل التصنيع الأسهل و الأبسط ، والتي تحقق الهدف المطلوب .

4-4-1- البرمجيات وطرق الدراسة الرقمية

لم يعد في العصر الحالي ومع الانفتاح الرقمي والعولمة موضوع الحصول على أي برنامج رقمي يشكل تحدياً كبيراً ، فمن خلال شبكة الانترنت يمكن شراء وتحميل أي برنامج رسم هندسي مهما كان مصدره ومطوره في أي مكان في العالم ، بالإضافة إلى توفر الدروس التعليمية و ملفات لشرح استعمالات هذه البرامج على الانترنت ، ومن خلال ورشات عمل افتراضية تمكن أي معماري بغض النظر عن مكان تواجده إذا كان يملك المعرفة الهندسية الكافية من تعلم كيفية الرسم والعمل على أي برنامج ثلاثي الأبعاد أو برنامج تحليل إنشائي بسهولة .

ومن أهم البرامج المتوفرة حالياً والتي شاع استخدامها في سورية مؤخراً ، والتي يمكن استخدامها لرسم السطوح معقدة الشكل وتحليل انحناءها واستمراريتها ، وحتى تحويلها لألواح وتوريد هذه الألواح على مستويات وصولاً إلى تصدير بيانات وبرمجيات التصنيع المرتبطة بالآلات التي تصنع هو برنامج (Rhinoceros) رينو سيروس ، ومثل هذه البرامج تتيح للمعماري أن ينجز العمل بشكل متكامل ابتداء من الفكرة حتى الرسم الدقيق و تحليل الانحناءات والتشوهات، وصولاً إلى أوامر التصنيع التي تُرسل للآلات ، والبرامج التي ترتبط بطرق التصنيع الرقمي أيضا عديدة ومنتشرة بكثرة .

لكن التحدي الأكبر يكمن في موضوع الدراسة والتحليل الإنشائي والحسابات الإنشائية للعناصر المكونة لهذه السطوح ، بغرض تصميم مقاطعها بشكل يتلائم مع القوى المعرضة لها ، حيث يتطلب هذا الموضوع تدريباً عالي وخبرة إنشائية كبيرة ، وأشخاص مختصين يتمكنون من أداء هذه المهمة ودراسة الاستقرار الإنشائي للمنشأة بشكل عام ، ولكل مكون من مكوناتها على حدى بشكل مفصل . هناك شركات ومكاتب إنشائية مختصة تقوم بهذه المهمات ، وتستعمل برمجيات خاصة تطورها خصيصاً لمشاريع مشابهة يمكن التعامل معها لحل هذه المشكلة، لكن معرفة المعماري وإلمامه بالمشاكل الإنشائية التي يمكن أن يواجهها وتطبيق هذه الاعتبارات أثناء التصميم ، يمكن أن يحد من المشاكل الإنشائية التي قد يواجهها في مراحل لاحقة .

4-4-2- المواد المتوفرة في سورية وطرق تصنيعها .

يُعتبر هذا الموضوع من أهم المواضيع التي يجب أخذها بعين الاعتبار لتنفيذ السطوح غير المنتظمة، حيث أن مرحلة التصميم و الدراسة وإن صعب تنفيذها بخبرات محلية ، يمكن الاستعانة بخبرات مكاتب وشركات عالمية تقوم بكل مراحل الدراسة والتصميم والدراسات الإنشائية المطلوبة ، وتعطينا البيانات اللازمة جاهزة للتنفيذ على شكل مخططات و بيانات حاسوبية ، حتى وإن لم يكن المبنى في نفس المكان الذي تمت فيه الدراسة .

لكن عملية تصنيع و تنفيذ كل مكونات المبنى من عناصر إنشائية ، وإكساء، ووصلات ، وقوالب لا يمكن أن تتم إلا محلياً وبالمواد واليد العاملة المتوفرة ، حيث أن التفكير باستيراد أجزاء المبنى

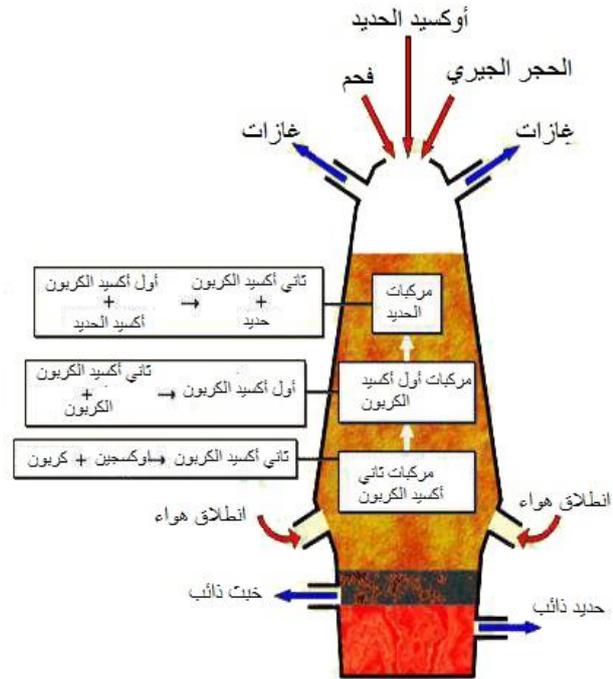
مصنعة و جاهزة للتركيب ، والاستعانة بيد عاملة خارجية سيجعل الموضوع غير مجدي إطلاقاً من الناحية الاقتصادية.

وسوف نستعرض فيما يلي دراسة لأهم المواد المتوفرة محلياً في سورية وكيفية استخدامها لتنفيذ مكونات السطوح ذات أشكال غير منتظمة من عناصر حاملة ووصلات و ألواح و قوالب:

4-2-1- المعادن

تُعتبر المعادن من المواد المستعملة بكثرة في مجالات العمارة ، ولا يوجد المعدن بشكل حر في الطبيعة بل على شكل فلذات.

بعد استخراج الحديد كفلزات من الطبيعة يتم صهره كمرحلة أولى بإحدى الطريقتين ، إما بواسطة الفرن العالي ، أو عن طريق الاختزال المباشر للمصهور ، لكن طريقة الفرن العالي هي الأكثر انتشاراً حيث يتم تحديد مواصفات الحديد وكمية الفحم الموجودة فيه ضمن الفرن العالي ، وذلك للحصول على مواصفات مختلفة للحديد ثم يتم صب الحديد المصهور لتشكيل البلوكات المعدنية التي تستخدم في التصنيع¹ فيما بعد الشكل (108).



الشكل (108): شكل يوضح طريقة عمل الفرن العالي (المصدر 67)

أما الألمنيوم فيتم استخراجها من فلزات (أكسيد الألمنيوم) ، حيث لا يوجد الألمنيوم بشكل حر في الطبيعة أبداً ، كما أن عملية استخراجها صعبة ولا تتم إلا كهربائياً ، لذلك يُعد استعمال الألمنيوم حديثاً لأنه لم يُستخدم قبل اكتشاف الكهرباء ، ويتم تسخين القطعة حتى الليونة ، ثم سحبها ضمن قوالب على شكل البروفايلات عن طريق ضغط الأسطوانة وشد المقطع لتشكيل مقاطع بأطوال كبيرة.

¹ <http://global.britannica.com/EBchecked/topic/69019/blast-furnace>

- توفر و استعمال المواد المعدنية في سورية

توجد فلزات الحديد بالطبيعة في سورية في منطقة الزبداني ، لكنها غير مستغلة ولا يتم استخراجها حيث لا يوجد معامل لصهر الحديد تحتوي على أفران عالية في سورية . يستورد الحديد إلى سورية بشكل عام على شكل بلوكات معدنية (على شكل متوازي مستطيلات) ، أو على شكل كرات معدنية تسمى (Pellets) ، والتي يتم تصنيعها عالمياً ، تصب هذه الكتل من الحديد بعد صهره بالفرن العالي، وتشكل هذه Pellets الأساس في تصنيع الحديد بكافة أنواعه بشكل يتناسب مع الغرض الذي سيستخدم من أجله .

تذاب البلوكات المعدنية مجدداً بالحرارة بواسطة أفران ضخمة ضمن حوالة تسمى البوتقة حتى يسيل، ويُصب الحديد في القوالب بالأشكال المطلوبة التي تكون مصنوعة إما من الرمل المضغوط (ريزك) ، أو على شكل قوالب معدنية قابلة للفك ، و بعد أن يُسكب الحديد في هذه القوالب يُترك الحديد المصبوب حتى يتصلب ، ثم يزال عنه قالب الرمل أو المعدن فنحصل على القطع المطلوبة . يستورد المعدن في سورية في كثير من الأحيان على شكل مقاطع جاهزة فوراً ، ويتم تشكيلها لاحقاً بالقياسات المطلوبة ، وتشكل المقاطع المستوردة 90% من استيراد الحديد .

لا يتم استخراج الألمنيوم في سورية ، لكن يوجد عدة معامل لسحب وتشكيل مقاطع الألمنيوم ، حيث يستورد غالباً من على شكل أسطوانات إلى معامل السحب ، أو يستورد أحياناً كمقاطع جاهزة فوراً . يمكن أن تستورد المنتجات المعدنية معالجة جاهزة للاستعمال ، أو يمكن معالجتها محلياً ، حيث يوجد أحواض تغطيس ومعالجة في سورية¹ .

إن استخدام المعادن في سورية منتشر في المباني بشكل واسع ، وخاصة في السنوات الأخيرة ، فقد انتشرت بشكل واسع كعناصر انشائية حاملة للمباني ، وكمواد للإكساء والتغطيات خصوصاً في بعض المنشآت الخاصة والصناعية ، وانتجت خلطات معدنية للحديد لتعطيه مواصفات مختلفة من المساواة وقوة التحمل ووفرت إمكانيات هائلة في التنفيذ ، إن معظم إمكانيات وطرق تصنيع المعدن في سورية من صناعة المقاطع ، والصفائح وقطع الوصل المعدنية يمكن أن تكون ملائمة جداً في تنفيذ السطوح غير المنتظمة ، وفيما يلي سنتعرف على أهم تقنيات تصنيع المعادن:

- صناعة المواد المعدنية في سورية

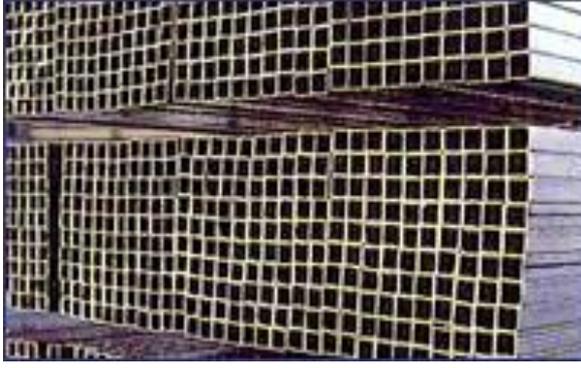
سنتعرف على أهم الأشكال التي يُصنع منها المعدن في سورية، والتي يمكن أن تُستخدم في تنفيذ السطوح ذات الأشكال الحرة.

- 1- المقاطع المصمتة المربعة ، والدائرية ، والمستطيلة .
- 2-الصفائح وتكون على عدة أنواع : صفائح الرقيقة مسحوبة على الساخن ،أو شرائط معدنية.
- 3- قطع معدنية مصنعة بأشكال خاصة كالعقد والوصلات.

- المقاطع المعدنية :

تُستخدم المقاطع المعدنية بشكل رئيسي في الهياكل الرئيسية الحاملة الظاهرة أو المخفية ، وهذه المقاطع يمكن أن تكون مستوردة بمقاييس محددة كعناصر الهياكل الشبكية الفراغية المؤلفة من قطع معدنية بأشكال خاصة ، والتي تصنع عالمياً بطريقة السحب ، أو أن يتم تصنيعها محلياً بالمقاييس ،

¹ من زيارة الباحثة لبعض ورشات التصنيع و المعامل المحلية



الصورة (057) : مقاطع معدنية (تصوير الباحثة)

المطلوبة وتكون على أشكال مربعة ، أو مستطيلة أو بأية أشكال أخرى ، حيث يتم تصنيعها عن طريق تشكيلها بصفائح بالمقطع المطلوب ولحامها مع بعضها . الصورة (057).

إن طريقة سحب المقاطع المعدنية الحديدية غير متوفرة في سورية إلا بشكل بسيط لبعض مقاطع الزوايا وحديد التسليح ، وأما إذا كانت العناصر المعدنية المراد استخدامها مصنوعة من الألمنيوم ، فيمكن أن تكون مستوردة أو أن يتم سحبها محلياً في بعض المعامل¹ .

يمكن أن تُستعمل هذه المقاطع كعناصر إنشائية كما هي مستقيمة في السطوح المنفصلة ، أو أن يتم حنيها على البارد بواسطة أسطوانات الحني لتأخذ الشكل المطلوب، وتُستعمل في السطوح المستمرة .

- صفائح معدنية



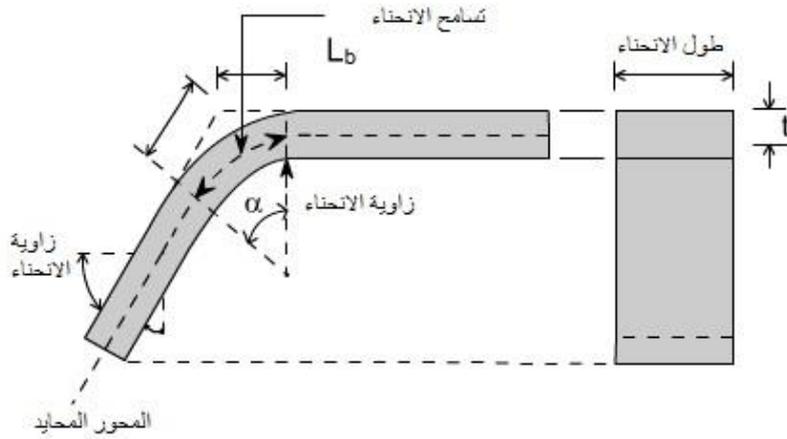
الصورة (058) : صفائح معدنية (تصوير الباحثة)

تتم صناعة المعدن في سورية على شكل ألواح بأن يتم صب المعدن المصهور من البلوكات في آلات السحب، ويتم سحبها على دواليب وأسطوانات خاصة ، لتشكل صفائح رقيقة ذات سماكات مختلفة يتم التحكم بها في آلات السحب وتُستخدم في أعمال الإكساء ، وذلك بعد معالجتها، أو تُستخدم لصناعة المقاطع المعدنية محلياً التي ذكرناها سابقاً . ويمكن أن يتم استيراد الصفائح جاهزة وأن يتم قصها وتشكيلها محلياً، حيث تُستعمل بشكلها المستوي ، أو يتم حنيها عند الحاجة إلى استعمال صفائح منحنية¹. الصورة (058).

الصفائح المنحنية باتجاه واحد

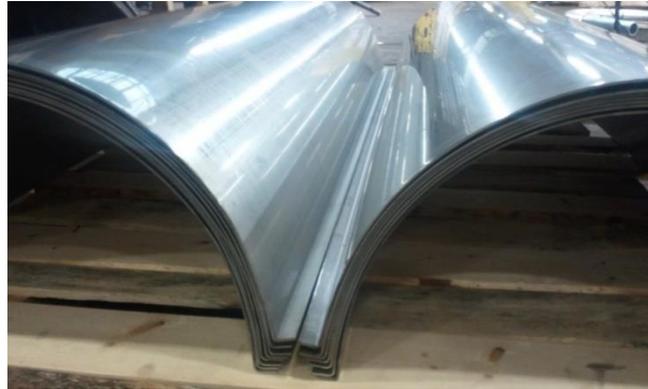
وتُستعمل الصفائح المعدنية كصفائح الصاج المزيبق والمعالج ، أو صفائح من مواد أخرى كالتيتانيوم لتغطية الأسطح و الواجهات الخارجية ، وتُستعمل خاصة لتنفيذ السطوح المسطرة القابلة للفرد على مستوي ، حيث يمكن حنيها باستعمال الحرارة ، أو حنيها على البارد بأدوات ميكانيكية بشكل مسبق الشكل (109) ، لتأخذ الانحناء المطلوب ، وهي الطريقة الأكثر شيوعاً ، ويمكن أن تشكل الصفائح المعدنية على شكل شرائح رقيقة ذات عرض صغير ، حيث تتميز بأنها قابلة للحني والتشكيل بسهولة لتعطي السطح بالطريقة المطلوبة ، وتحنى تحت تأثير القوى الميكانيكية البسيطة لتعطي سطوحاً منحنية¹. الصورة (059).

¹ من زيارة الباحثة لبعض ورشات التصنيع و المعامل المحلية



الشكل (109): طريقة حني الصفائح المعدنية (من اعداد الباحثة)

عندما نريد استعمال كل الصفائح والشرائح المعدنية بانحناءات بسيطة ، أن نقوم بحنيها أثناء التنفيذ مباشرة لتسهيل عملية التنفيذ، ويتم ذلك بالطريقة البسيطة التالية : يُعمل هيكل معدني حامل بالشكل المطلوب مع تثبيت قطع حديد مبسط عند نقاط تثبيت الألواح ، تُرسم الألواح وتُقَص حسب القياسات المطلوبة ، ويبدأ تثبيتها باستعمال براغي أو تياشيم ابتداء من الأسفل نحو الأعلى ، وبالتالي يأخذ الصاج الذي لا تتجاوز سماكته / 1 / مم شكل السقف المطلوب (دون انحناء وسطي) ، وبذلك يمكن تغطية أي نوع من الأشكال للأسقف ، ثم تُعالج نقاط الوصل بين ألواح الصاج إما بوضع غطاء وصل صغير ، أو بتركيب الألواح فوق بعضها البعض بتداخل¹.



الصورة (059) : صفائح معدنية منحنية باتجاه واحد (تصوير الباحثة)

الصفائح المنحنية باتجاهين

يتطلب التصميم أحياناً أن تكون بعض الألواح المستعملة في الإكساء ذات انحناء وسطي لتحقيق متطلبات جمالية معينة ، فيتم الحصول عليها بأن يتم ضغط الصفيحة المستوية على قوالب معدنية بطريقة (البلس) ، مع تعريضها لحرارة خفيفة لتأخذ شكل القالب المطلوب ، ثم يتم تثبيتها على الهيكل الحامل ، وهي طريقة مستوحاة من صناعة هياكل السيارات التي تصنع عادة بانحناءات غير منتظمة الصورة (060)،(061) ، والصعوبة تكمن هنا في التكلفة العالية لتصنيع القوالب التي سنشكل عليها الصفيحة¹.

¹ من زيارة الباحثة لبعض ورشات التصنيع و المعامل المحلية



الصورة (061) : صفائح معدنية ذات انحناءات غير منتظمة (المصدر 61)



الصورة (060) : صفائح معدنية منحنية باتجاهين (المصدر 61)

- عقد الوصل

يُعد تصنيع عقد الوصل من أهم التحديات التي يمكن أن تواجه عملية التنفيذ في سورية ، حيث تتطلب دقة وحرفية في التصنيع لتفادي حدوث أي قوى و إجهادات إضافية . هناك عدة أنواع من العقد تصنع محلياً ، منها الوصلات المفصلية التي لا تنقل عزوم بين العناصر ، بل تنقل فقط القوى المركزية ، وغالباً ما تكون نقطة الربط على شكل قطعة حديد مبسطة مثقوبة بعدد من البراغي ، ويأتي العنصر مزود من طرفيه بقطعتين متماثلتين في الحديد المبسط وبنفس التنقيب ، و يتم الربط عن طريق براغي وعزقات بين العنصر والعقدة ، و يمكن أن تصنع بعض العقد التي تنقل العزوم فيكون الربط بينها وبين العناصر عن طريق صفائح معدنية ذات سماكة تنطبق على بعضها ، واحدة في رأس العنصر والأخرى مثبتة بالاتجاه الصحيح على العقدة ، حيث يتم الربط بواسطة البراغي والعزقات بعد تطابق الصفيحتين على بعضهما، لكن عندما يزيد تعقيد العقد مثل العقد الكروية المستخدمة في الهياكل الفراغية على سبيل المثال لا يتم عندها التصنيع محلياً ، بل تكون هذه العقد مستوردة دوماً ، حيث يتم تصنيعها عن طريق الصب بخلائط معدنية خاصة مقاومة في قوالب معينة ، وهي تقنيات غير متوفرة محلياً ، لذلك يُعد من الأفضل تجنب استعمالها¹.

هناك عناصر وصل معدنية أخرى تصنع محلياً و تُستخدم على سبيل المثال لوصل الألواح الخشبية مع بعضها ، وهي تتطلب عناية ودقة في التصنيع.

- القوالب المعدنية

من الاستعمالات المهمة كذلك للمعادن استعمالها لتصنيع القوالب التي تنفذ بها مواد أخرى كالبيتون والزجاج وغيرها ، وبكل تأكيد لا يكون القالب معدنياً بالكامل ، بل يمكن أن يكون من الخشب أو الجبس يُحضر بالشكل المطلوب ، ثم يثبت عليه جزء معدني ليعطيه الصلابة المطلوبة ويمنع الاحتراق وتصنيع هذه القوالب يكون مجدياً و مهماً عندما يكون الجزء المراد تصنيعه وتنفيذه مكرراً وسيستعمل في عدة أماكن في السطح .

¹ من زيارة الباحثة لبعض ورشات التصنيع و المعامل المحلية

4-4-2-2- البيتون (الخرسانة): ويُعتبر أكثر المواد المستعملة في العالم للقشريات.

- توفر و استعمال البيتون في سورية

ينتشر البيتون في سورية بشكل كبير ، حيث توجد معامل لتصنيع الاسمنت محلياً ، وذلك عن طريق حرق الحجارة الكلسية والغضارية ، التي تُستخرج من مقالع محلية في فرن دوار بواسطة الغاز (إذا كان الاسمنت أبيض) ، والفيول (إذا كان الاسمنت أسود) ، و تُشكل بعد الحرق على شكل حجارة كلينكر ، وبعد أن تبرد تؤخذ لمطحنة كرات ويطحن الاسمنت حتى الحصول على النعومة المطلوبة، التي كلما زادت كلما زادت المقاومة وسرعة التصلب في الخلطات . وتتوفر كذلك مجابيل لخلط البيتون بخلطات مختلفة محلياً ، لكن التحدي الأكبر يكمن في طرق التنفيذ التي ما زالت تقليدية نسبياً حيث تُستخدم طرق الكوفراج القديمة التي لا تعطي الانسيابية والنظافة المطلوبة للسطوح المنحنية ، وقد انتشر مؤخراً استعمال طرق كوفراج حديثة عن طريق قوالب معدنية و بلاستيكية أكثر دقة ونعومة¹ . يُستخدم البيتون بشكل عام للعناصر الإنشائية والواجهات والأسقف، ومن أجل السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة كونها تلعب دوراً إنشائياً بواسطة شكلها ، فيعتبر البيتون كعنصر انشائي وتغطية في آن معاً في مادة مناسبة للقشريات الصفائحية .

- استعمال البيتون المسلح للسطوح المنحنية في سورية

يمكن عمل البيتون المسلح العادي بأشكال منحنية مصبوبة في المكان ، حيث يتم عمل الشكل الأولي عن طريق الكوفراج العادي (مورين + سقائل معدنية) ، ونقوم بتلييسها بدف رقيق من الخشب الشوح المنقوع بالماء ، مما يعطيه مرونة ويسمح بحنيه بالشكل المطلوب . تُستعمل هذه الطريقة خاصة عند كوفراج القبة والقشريات ، ولكن يبقى موضوع نعومة السطح يشكل تحدياً كبيراً بسبب عدم ضمان الاستمرارية والانسيابية بين الدفوف الخشبية ، أو تُستعمل صفائح معدنية ، أو بلاستيكية مصنعة مسبقاً على هيئة قوالب كوفراج لتعطي الشكل المطلوب¹ . يمكن كذلك عمل قطع مسبقة الصنع من البيتون المسلح عند الحاجة لعدد مكرر من الوحدات بصبها على قوالب معدنية ، حيث يكون تسليحها عن طريق شبكات خفيفة من الحديد يتم تلميعها نقطياً (Points) ، وتشكيلها بشكل الجزء المطلوب تصنيعه الصورة (062) ، ويتم صب البيتون ذو المقاومة العالية باستخدام ملدنات للحصول على سطوح ناعمة معالجة، ثم تثبت مكانها ، وبهذه الطريقة تكون الأشكال أكثر دقة وذات نعومة كبيرة.



الصورة (062) : ألواح بيتون مسبق الصنع ذات انحناءات غير منتظمة (المصدر 70)

¹ من زيارة الباحثة لبعض ورشات التصنيع و المعامل المحلية

- البيتون المقوى بألياف زجاجية (المقوى بالألياف بشكل عام)

ينتشر استعماله بكثرة عالمياً ، وإن كان لا يمكن استعمال الألياف في البيتون عوضاً عن حديد التسليح بشكل كامل ، إلا أنها تفي بالغرض للأجزاء غير المعرضة لقوى شد وعزوم انعطاف كبيرة . فهي تمنع التشققات الصغيرة وتمنحه المساواة المطلوبة والمقاومة اللازمة ، وتقلل من التشققات اللدنة وتشققات التقصص التي يمكن أن تحصل ، وكذلك تزيد من مقاومة البيتون، و يتميز بوزن أخف من البيتون العادي، والألياف المستخدمة في التسليح هي ألياف قصيرة وموزعة بشكل غير منتظم وباتجاهات عشوائية ، ويمكن أن تكون معدنية الزجاجية ، أو حتى طبيعية كل منهما يضيف خصائص معينة للبيتون ، حيث تتأثر خصائص البيتون باختلاف الألياف وأحجامها وتوزعها وتوجهها وكثافتها و انسجامها مع الخلطات المستعملة ¹.

إن فكرة التقوية باستعمال الألياف موجودة في سورية منذ القديم ، فقد استعملت الألياف في مواد البناء منذ زمن بعيد ، وكانت بداية على هيئة قش لتقسية المواد الطينية والأجر، ومن أهم الألياف التي تُستعمل لتقوية البيتون عالمياً في الوقت الحالي ، والتي يمكن كذلك استعمالها في سورية :

1- ألياف البولين بروبيلين والنايلون.

2- الألياف الزجاجية .

إن جمع النوعين معاً يمكن أن يُستعمل في المشاريع الإنشائية للحصول على كل الخصائص في وقت واحد ، حيث يمكن عندها الحصول على بيتون شبيهه بالسلح.

3- هناك نوع جديد يستعمل ألياف طبيعية (NFRC) ويستعمل ألياف السيلولوز التي تُستخرج من شجر الصنوبر ، وهذه الألياف أكبر حجماً من الألياف المستخرجة من مصادر خشبية أخرى ، وبعض الدراسات دعت لاستخدام بقايا ألياف السجاد.

هناك تجارب متواضعة أجريت في سورية على استعمال ألياف خيش ناتجة عن فرم أكياس خيش بالية يتم مزجها مع البيتون بشكل كامل ضمن كامل حجم البيتون ، وقد أعطت نتائج مقبولة ولكن ضمن شروط بيتون ذو تركيب حبي خاص مائل للنعومة في الحصويات.

يوجد في سورية معامل مختصة بعمل واجهات من البيتون المقوى بألياف الزجاج GRC (Glass Reinforced Concrete) تستعمل الاسمنت الأبيض غالباً ، ويتم عمل أشكال وزخارف للواجهات باستخدام هذه المادة ، و يمكن الاستفادة من هذه الامكانيات وتطويرها لتصنيع أجزاء كاملة من الواجهات وبأشكال غير منتظمة ، يمكن أن تكون هذه الأجزاء مصبوبة في المكان لكنها في الغالب مسبقة الصنع و من ثم تجمع مع بعضها .

4-4-2-3- الزجاج

- توفر و استعمال الزجاج في سورية

ينتشر استعمال الزجاج بكثرة في سورية ، وخاصة في النوافذ والأسقف الشفافة، و يُعد من المواد الهامة التي يمكن استعمالها في السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة ، حيث أنه يُصنع محلياً و بأشكال عديدة ، أو يتم استيراده بأسعار مقبولة ، ثم تشكيله وقصه محلياً بالشكل المطلوب.

¹ عبد العزيز جيهان ،الاسمنت المدعم بالألياف الزجاجية (GRC) كخامة جداريه ودوره في الارتقاء العمراني(ص 43)

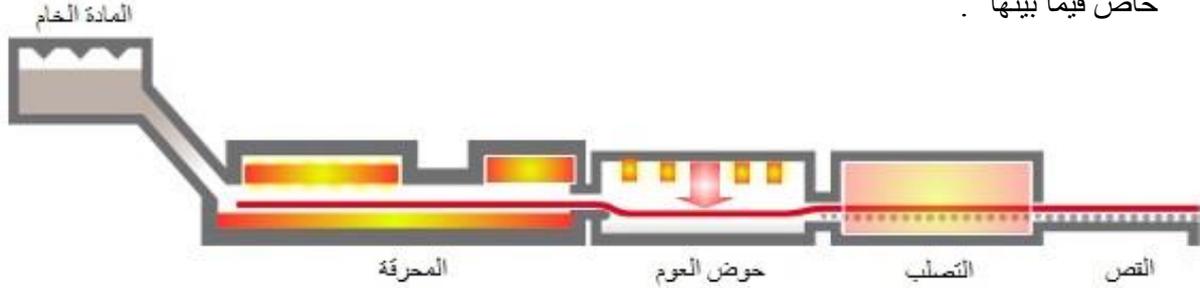
- صناعة الزجاج في سورية

يكون استعمال الزجاج في السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة بشكل رئيسي للوجه في السطوح المنفصلة والمستمرة ، وتثبت هذه الألواح الزجاجية على العناصر المعدنية الحاملة .

- الألواح المستوية : يتم تصنيع الألواح الزجاجية المستوية في سورية بطريقتين:

الطريقة الأولى : وهي المستعملة في معامل الزجاج في القطاع العام ، وذلك عن طريق سحب الزجاج رأسياً من فرن الإذابة وهو بحالة اللدونة بعد رفع درجة حرارته بين مجموعة من الأسطوانات التي تدار بواسطة محركات ، حيث تقوم بضغطة تباعاً حتى الوصول إلى السماكة المطلوبة ، ويتم سحبه شاقولياً على عدة طوابق حتى لا يؤثر وزنه الذاتي ويتسبب بانحنائه ، و يكون الزجاج الناتج ذو سطوح مصقولة مع وجود بعض التشوهات والعيوب فيحتاج إلى بعض المعالجات .

- الطريقة الثانية : وهي الطريقة الأحدث عالمياً والمتبعة حالياً في شركة الزجاج السورية الإيرانية في المدينة الصناعية بعديرا ، وتسمى الزجاج العائم (الطفو) ، حيث يتم صب الزجاج و تعويمه على سطح مصهور القصدير في جو يحافظ على تركيبه الكيميائي بحرارة مرتفعة لمدة محددة تكفي لاستواء المواقع غير المنتظمة حتى يصبح السطحين العلوي و السفلي مستويين و متوازيين تماماً ، مما يعطي زجاجاً أكثر صفاء ونقاء ، ويتميز اللوح الناتج بالاستواء التام، ويكون بأبعاد معينة و بالسماكة المطلوبة ، الشكل (110) ، ويمكن أن يكون بسماكات كبيرة نسبياً من غير الممكن الحصول عليها بطريقة السحب الشاقولي بسبب الوزن الكبير للوح ، تفيد هذه الطريقة من أجل عمل زجاج مقاوم للرصاص على عدة طبقات ، وذلك عن طريق صب الطبقات فوق بعضها بعد وضع فلم (Film) خاص فيما بينها¹ .



الشكل (110): تصنيع الزجاج العائم (من اعداد الباحثة)

- الألواح المنحنية باتجاه واحد : يمكن حني الزجاج بواسطة الحرارة باستخدام لهب كحولي ، وذلك بتسخين جزء الزجاج المراد حنيه حتى بداية اللدونة ، ثم يطبق قوة محددة على المكان المراد حينه. الصورة (063).

حيث تقوم آلة خاصة ذات أسطوانة بلفه حتى يأخذ شكل الانحناء المطلوب ، ويمكن تشكيله لواجهات كبيرة حتى عرض / 4 / م تقريباً. وهي طريقة شائعة في سورية ، بعد ذلك يبعد الزجاج عن مصدر الحرارة ، ويتم تبريده بعدة ثواني حتى يقسى ، ويبرد تدريجياً حتى لا يتشقق، يجب الانتباه إلى أن تطبيق حرارة زائدة تجعل الزجاج ينحني تحت تأثير وزنه الذاتي ، لذلك يجب أن تكون الحرارة التي يتعرض لها مدروسة¹ .

¹ من زيارة الباحثة لبعض ورشات التصنيع و المعامل المحلية

إن تشكيل الزجاج المنحني للسطوح غير المنتظمة هو عملية دقيقة جداً ، ولعمل انحناءات مدروسة ومعقدة يمكن تشكيل قالب معدني بالانحناءات المطلوبة ، يوضع عليها الزجاج ويتم رفع درجة حرارته للحد المطلوب حتى يصبح رقيقاً ، ويبدأ بالانحناء ، وعندما يأخذ الشكل المطلوب يتم تبريده تدريجياً ليعود للقساوة المطلوبة.



الصورة (063) : ألواح زجاج منحنية باتجاه واحد (تصوير الباحثة)

-الألواح المنحنية باتجاهين : يمكن تشكيلها عن طريق صنع قوالب خاصة تُغذى بمادة مانعة للاحتراق على أي شكل منحنى باتجاهين ، وهي طريقة شائعة لتصنيع زجاج السيارات ، ويتم ذلك عن طريق تليين الألواح ، وضغطها قليلاً لتأخذ شكل القالب المطلوب الصورة (064) ، وتنتشر هذه الأعمال الفنية في سورية لأغراض تزيينية ، وعلى حجوم صغيرة فقط وليس لمساحات واسعة ، حيث أن صناعة الألواح المنحنية باتجاهين معقدة الشكل و كبيرة الحجم يعد موضوعاً صعباً¹.



الصورة (064) : ألواح زجاج مشكلة بانحناءات غير منتظمة (تصوير الباحثة)

- طرق معالجة الزجاج في سورية

هناك عدة طرق لمعالجة الزجاج مثل ورشات خاصة بتقسية الألواح الزجاجية والأعمال الفنية للزجاج مثل التعشيق بالزجاج الملون ، والتعشيق بالرصاص الذي يُعتبر من أرقى أنواع الأعمال الفنية ، حيث يتم وصل القطع الزجاجية مع بعضها عن طريق وصلها بقطعة من الرصاص بسماكة حوالي 3 / مم ، مما يعطيها شكلاً مميزاً وفنياً خاصاً. ويمكن الاستفادة من هذه المعالجات في إضافة بعض اللمسات الفنية على الألواح المصنعة.

¹ من زيارة الباحثة لبعض ورشات التصنيع و المعامل المحلية

4-2-4-4- التغطية باستعمال المواد البلاستيكية

لقد انتشر استعمال المواد البلاستيكية كمواد للتغطيات في السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة بشكل واسع عالمياً ، لكن معظم هذه المواد لا يمكن تصنيعها محلياً في سورية ، وهي غالبية الثمن وغير مستدامة ، لكن جرى في بعض الأبنية مثل مشروع قبة الهدف (اتحاد كرة القدم) استعمال ألواح مصنوعة من البلاستيك ، وقد تم تصنيع الألواح محلياً بصب البلاستيك بقوالب للحصول على الشكل المطلوب ، وهذه الطريقة في صب البلاستيك مستعملة في تصنيع عدة أدوات منزلية و صناعية .
انتشر كذلك في الآونة الأخيرة استعمال قوالب بلاستيكية من أجل صب البيتون المسلح ، حيث يتم تشكيل القالب بالهيئة المطلوبة لتعطي النعومة اللازمة ، والقوالب البلاستيكية شائعة الاستعمال في البلاطات المعصبة .

لكن توجد في سورية بعض المواد البلاستيكية ، التي تصنع بطرق محلية ، والتي يمكن استعمالها لتنفيذ أجزاء من السطوح غير المنتظمة معقدة ، حيث يمكن تشكيلها بالشكل المطلوب الوصول إليه ، ويتم ذلك بتصنيع قطع (Paneaux) من البلاستيك المقوى بألياف الزجاج ، ويتم صب القطع على قوالب مشكلة من الصاج غالباً ، وتتم التقوية عن طريق رولات على شكل قماش من ألياف الزجاج .
يتم فرد الطبقات فوق بعضها بعد وضع " الريزين " اللاصق فيما بينها عن طريق تشبيعه بفرشاة دهان لتأمين وصوله إلى كافة الزوايا والنقاط ، ويتم وضع الطبقات تباعاً حتى الوصول إلى السماكة المطلوبة ، ويمكن معالجة السطح النهائي بالبرد للحصول على سطح ناعم ومصقول ، ولتأمين ربط القطع مع بعضها ليصنع إطار معدني من الزوايا المعدنية المثقبة (لتأمين تركيب البراغي لوصل القطع) ، ويتم وضع الطبقات مع مراعاة تغطية الزاوية من ضلع واحد لتأمين سهولة الحمل والتركيب ، وهذه الطريقة مستوحاة من طرق صناعة قوارب صيد وخزانات المياه ، وهي منتشرة في سورية ويمكن تركيب القطع على منشأة معدنية لعمل كافة أشكال الأسقف المنحنية ، حيث تُربط ببعضها ويتم معالجة الفواصل لمنع التسرب والحصول على أسقف ذات مساحات كبيرة ومقاومة للرياح والثلوج .
و يمكن تشكيل الطبقات بهذه الطريقة لتشكيل قوالب لتنفيذ مواد أخرى كالبيتون ، أو يوضع عليها مادة غير قابلة للاحتراق ليتم تشكيل الزجاج عليها.¹



4-2-4-5- الخشب

مع تقدم الهندسة والتقنيات الرقمية اعتبر الخشب إحدى المواد الهامة لتنفيذ السطوح حرة الشكل .
انتشر استعماله في السطوح غير المنتظمة على شكل تغطيات خشبية تثبت على جوائز شبكية الصورة (065).

الصورة (065) : سطح غير منتظم مشكل بعناصر خشبية (المصدر 64)

¹ من زيارة الباحثة لبعض ورشات التصنيع و المعامل المحلية

- توافر و استعمال الخشب في سورية

لاستخدام الخشب تاريخ قديم في العمارة بسورية ، وخصوصاً الأسقف ، ويعود انتشاره إلى تواجد العديد من الأخشاب المحلية التي يمكن استخدامها بشكل واسع في البناء ، ويمكن تشكيله بأشكال منحنية شاع استعمالها في الإكساءات و الديكورات الداخلية .
والأشكال العديدة التي يصنع في الخشب في سورية يمكن استخدامها في السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة كالعناصر الحاملة و الألواح و القوالب .

- صناعة الخشب في سورية

- العناصر الخشبية الحاملة

العناصر الخشبية الحاملة قوية وخفيفة الوزن وذات ديمومة عالية، لكنها تحتاج لبعض المعالجات لتقاوم القوى وعوامل الطقس ، كون مرونة الخشب تسمح بثنيها على البارد لدرجة معينة بعد تليينها بالماء والبخار يمكن استعمالها العناصر الخشبية كعناصر منحنية ، لكن يبقى الموضوع محصوراً ببعض المنشآت الصغيرة ذات الاستعمال المحدود .
يمكن أن تشكل العناصر الحاملة المنحنية بانحناءات وتقوسات كبيرة بطريقة أخرى عن طريق طبقات رقيقة من الخشب، يمكن أن تجمع مع بعضها لتشكل جوائز مقواة باللاصق Glue Laminated حيث تُصنع بدقة كبيرة وتكون جاهزة للتجميع فوراً¹. الشكل (111).



الشكل (111) : عناصر خشبية منحنية مشكلة من طبقات رقيقة مقواة بمادة لاصقة (المصدر 64)

- الألواح الخشبية

تُصنع الألواح الخشبية في سورية بمناشر خاصة ، وتكون مستوية ، حيث يمكن كذلك حني الألواح بحيث يتم تليين لوح الخشب الذي يكون رقيقاً نسبياً و بعرض مختلف عن طريق البخار (أو الماء) وإعطائه شكل الانحناء الذي نرغب به ، ويتم تثبيته على العوارض بواسطة المسامير ، ويمكن تشكيل أجزاء كمحنية عن طريق تثبيت طبقات رقيقة من من قشر الخشب و تقسيته بواسطة الغراء



الصورة (066) : ألواح خشبية منحنية مشكلة من طبقات رقيقة مقواة بمادة لاصقة (المصدر 64)

¹ من زيارة الباحثة لبعض ورشات التصنيع و المعامل المحلية

بنفس الطريقة التي تصنع بها العوارض الخشبية المنحنية الصورة (066). والألواح الخشبية يتم تجميعها مع بعضها عن طريق التلسين ، بواسطة عناصر صغيرة توصل ببعضها وتقوى بواسطة البراغي والعزقات لتغطية مساحات أكبر ، أما إذا كانت القطع أكبر فيتم تجميعها عن طريق تصنيع عناصر معدنية توضع في الطرفين ، بحيث يتم تفصيلها على شكل منطقة التقاء العناصر ببعضها ، وهي مزودة بثقوب متقابلة ويتم التثبيت على الخشب بواسطة البراغي والعزقات التي تخترق الخشب و تربط العنصر المعدني الأول إلى العنصر الثاني من الطرفين. ويُعمل على حماية الخشب بعد الانتهاء من الوصل عن طريق دهان خاص يغلفه من كافة الجوانب لحمايته من العوامل الجوية ليعالج بعدها بمواد خاصة (Poly urethane) ، وذلك لحمايته وإغلاق كافة الوصلات بين الدفوف لمنع أي تسرب ، ويلجأ البعض أحياناً إلى صب طبقة رقيقة من البيتون فوق الدفوف الخشبية للحماية¹ .

يمكن إذا تطلب الأمر الحصول على أجزاء منحنية باتجاهين أو عشوائية الانحناء ، وذلك بحفر الخشب بطرق يدوية أو آلية للوصول إلى الشكل المطلوب، حيث أن الخشب مادة لينة يمكن تشكيلها بسهولة ، لكن الموضوع يكون مكلفاً و يتطلب جهداً ووقتاً كبيرين .

- القوالب الخشبية

الخشب مادة تشكل وتحفر باليد ، أو بأدوات الإنتاج فهي بالتالي سهلة التشكيل بأشكال مختلفة ، ويمكن استعمال الخشب لتصنيع بعض القوالب الخاصة التي يتم عملها حالياً عن طريق آلات ذات رؤوس حفر (ريشة حفر) موجهة بالكومبيوتر ، بحيث تؤمن الحركة وفق ثلاث محاور فقط ، أو يتم الحفر بشكل يدوي ، ويمكن أن يكون القالب من الخشب الخاص الملبس بطبقة معدنية خاصة أو دهان سميك عازل للحرارة وغير قابل للاحتراق لكي يتم صنع مواد أخرى كالزجاج و البيتون باستخدامه و بنفس الطريقة تصنع قوالب الجبس والفوم¹ .

4-4-3- أدوات التصنيع المتوفرة في سورية

إن معظم تقنيات القص الثنائي البعد بالماء و الليزر والبلازما متوفرة في سورية ، و هي تُستخدم لقص الألواح المستوية على اختلاف المواد المستعملة (زجاج معدن) و بأبعاد كبيرة نسبياً لعرض اللوح و أدوات الحفر الثلاثية البعد متوفرة أيضاً ، وتُستخدم في عمل بعض الألواح التزينية والقوالب الخشبية، لكن أدوات الطرح الخماسية و سداسي المحاور ذات الأذرع ، والتي تتطلب خبرة كبيرة لاستخدامها و تشغيلها غير متوفرة محلياً ، كونها غالية الثمن وذات استعمالات محدودة لقطع وقوالب معقدة الشكل يمكن بشكل أو بآخر الاستغناء عنها .

أما بالنسبة لأدوات الإضافة والطباعة ثلاثية الأبعاد فهي متوفرة في سورية ، لكن بمقاييس محدودة و تكاليف عالية جداً تجعل استخدامها غير مجدي نظراً لارتفاع ثمن المواد المستخدمة فيها واستيرادها من الخارج ، وهي فعلياً لا تفيد إلا في صناعة بعض القوالب والأجزاء المعقدة ، مما يجعل الاستغناء عنها ممكناً.

¹ من زيارة الباحثة لبعض ورشات التصنيع و المعامل المحلية

4-4-4- طرق التجميع و اليد العاملة المتوفرة في سورية

أما بالنسبة لعملية التركيب والتجميع ، فيوجد في سورية فرق أو ورشات متخصصة بأعمال التركيب لمثل هذه المنشآت ، وهي على كفاءة عالية وقادرة على تجميع العناصر حسب المخططات وبدقة مطلوبة ، لكنها تتطلب إشراف ومتابعة من المهندس المعماري المشرف وإمامه التام بكل مراحل ، وطرق تجميع وتركيب المنشآت ذات الأشكال غير المنتظمة المسبقة الصنع على اختلاف المواد المستعملة فيها يمكن أن يتم باحدى الطريقتين ،

- الطريقة الأولى

يتم تجميع العناصر على مساحة صغيرة في أرض الموقع ومن ثم رفعها ووضعها في مكانها على السقائل التي توضع تباعاً حسب التوسع في التركيب ، ويتم جمعها مع القطع السابقة فوق السقائل، وهكذا حتى إتمام السقف، وبعض الأسقف ذات المساحات الصغيرة يتم تجميعها في أرض الموقع بالكامل، وفي حال وجود الأعمدة على الجوانب فقط يتم رفعها لمرة واحدة بمساعدة مجموعة من الروافع ، وهذا العمل بحاجة إلى دقة وتنسيق كبيرين ، حيث يتم تثبيت الهيكل على الأعمدة بمساعدة مجموعة كبيرة من عمال التركيب.

- الطريقة الثانية

تقوم على تركيب سقائل ثابتة على الارتفاع المطلوب ، ويتم وضع سطح خشبي فوقها (مثل كوفراج البيتون) ليسهل تحرك العمال عليه ، حيث يتم التجميع في المكان فوق هذا السطح مع الربط مباشرة على العناصر الحاملة ، وعند انتهاء السقف بالكامل ، يتم فك هذا السطح وإزالة السقائل كلها ، بحيث تثبت هذه المنشأة في مكانها كونها أصبحت متكاملة وقادرة على حمل نفسها .

إن تقنيات التجميع والتركيب الرقمي باستخدام أذرع ورافعات آلية موجهة بواسطة برامج رقمية مرتبطة بنظام تحديد المواقع الجغرافي GPS لم يتم استعمالها حتى الآن في سورية ، فهي تتطلب تدريباً خاصاً و خبرات متميزة لكي يتم استخدامها بالشكل الصحيح .

نتائج البحث :

بعد دراسة السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة من النواحي الهندسية ، والتصميمية ، و التنفيذية ، والتعرف على الدراسات ، والتجارب العالمية في هذا المجال ، وتحليلها واستخلاص النتائج منها، و دراسة السوق المحلية في سورية بما توفره من مواد و تقنيات تنفيذ يمكن أن نلخص أهم نتائج البحث بالنقاط التالية :

- 1- فهم الماهية الهندسية للسطوح ذات الأشكال غير المنتظمة، وكافة مكوناتها من نقاط تحكم و منحنيات ، ودراسة انحناءاتها واستمراريتها، مع التعرف على كيفية استعمال هذه المكونات الرياضية بالشكل الصحيح موضحاً كيف يمكن وضع تصاميم مدروسة ، وتتميز بالجمالية ، بما يحقق الأهداف التصميمية المطلوبة ، ويسهل من عملية تنفيذ هذا المبنى في مراحل لاحقة.
- 2- معرفة التأثيرات الأساسية لعناصر العمارة (الجمال ، الوظيفة ، الاقتصاد و المتانة) على مراحل تصميم و تنفيذ السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة و كيفية ملائمة هذه التصاميم مع متطلبات عناصر العمارة .
- 3- دراسة عملية تحويل السطح لمتعدد الوجوه ، أو أجزاء كون هذه الدراسة جزء لا يتجزأ من عملية تصميم المبنى ، لأن هذه الأجزاء و الوجوه ستمثل المنتج النهائي للشكل و ستعطي الهيئة العامة للمبنى المنفذ .
- 4- ان النواحي الاقتصادية و دراسة تكاليف المبنى ذات تأثير بالغ الأهمية على طريقة تصميم و تنفيذ السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة فهي تعد احدى أهم محددات عملية التصميم و اختيار الشكل و مواد التنفيذ
- 5- يُعد موضوع دراسة الاستقرار الإنشائي والعقد و الوصلات ، أمراً بالغ الأهمية في السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة ، كون الشكل التصميمي والسماكات يمكن أن لا تساعد على استقرار المنشأة بشكل آمن الا اذا تمت الدراسة بشكل مدروس و باتباع توصيات المتانة اللازمة .
- 6- ان برمجيات التصميم والدراسة الهندسية والتصنيع ، مكون هام من مكونات عملية تصميم السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة ، وليست مكملاً لعملية التصميم، فاستعمالها بالشكل الصحيح يعد عاملاً هاماً من عوامل نجاح التصميم و التنفيذ
- 7- لتنفيذ السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة في سورية يمكن الاستفادة من الكثير من المواد المتوفرة او المصنعة محلياً ، وتقنيات وبرمجيات وآليات التصنيع المحلية المستخدمة في تنفيذ المباني التقليدية .

التوصيات :

- يمكن أن نلخص أهم التوصيات التي وضعها البحث من أجل تصميم وتنفيذ مبان ذات تصاميم و أشكال غير منتظمة بشكل عام و في سورية بشكل خاص بالنقاط التالية :
- 1- يجب على المعماري المصمم والمنفذ فهم الطبيعة الهندسية و كافة مكونات السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة، قبل البدء بعملية التصميم بهدف الوصول لتصاميم واقعية قابلة للتنفيذ

- 2- يجب أن تتلائم التصاميم التي يطرحها المعماري مع كافة النواحي الوظيفية المطلوبة من هذه المباني المصممة ، حيث أن التصاميم ذات الأشكال والانحناءات غير المنتظمة، قد لا تكون مناسبة لكل أنواع الوظائف المعمارية .
- 3- يجب أن يدخل اختيار متعدد الوجوه الذي سيحول اليه السطح في صلب عملية التصميم ، و أن لا يُترك للمراحل الأخيرة ، لما له من تأثير على المواد وطرق التنفيذ والشكل النهائي .
- 4- يجب إيلاء الناحية الاقتصادية والتكاليف المادية لهذه المباني اهتماماً كبيراً ، و لا بد من العمل قدر المستطاع لاختصار التكاليف بأكبر قدر ممكن ، ليكون تنفيذ هذه المنشآت مجدياً من خلال اتباع طرق النمذجة ، وتكرار القطع المنفذة واختيار المواد الملائمة ذات تكاليف تصنيع مقبولة.
- 5- بالرغم من صعوبة الدراسة الإنشائية في مراحل التصميم الأولى، يجب على المعماري المصمم الالمام الكافي بالمعطيات الإنشائية ، و عليه اتباع بعض التوصيات التي تسهل عليه عملية الدراسة الإنشائية في وقت لاحق .
- 6- يجب عند قيام المعماري باقتراح تصاميم ذات أشكال غير منتظمة في سورية مراعاة النواحي الوظيفية والجمالية الخاصة المتعلقة بخصوصية العمارة في سورية ،والاهتمام بانسجام هذه التصاميم مع الوسط المحيط ، لما للمناطق السورية من خصوصية معمارية تميزها عن باقي أنحاء العالم.
- 7- يجب الاستفادة قدر المستطاع من الامكانيات و المواد و أدوات التصنيع المتوفرة محلياً عند تنفيذ تصاميم ذات أشكال غير منتظمة
- 8- يجب التركيز في المستقبل على إجراء دراسات تفصيلية، وتجارب تنفيذ عملية، وإن كانت بمقياس صغير كبداية لمعرفة كل السلبيات والصعوبات التي يمكن أن تواجه المعماري في سورية أثناء تنفيذ مباني ذات تصاميم غير منتظمة و محاولة تجنبها ، و للانتقال لاحقاً إلى تطبيق هذا الاتجاه المعماري بمقاييس كبيرة لمباني مستقبلية ، تكون انعكاساً لتطور هذا الاتجاه المعماري في سورية .

الخاتمة :

يلعب المعماري دوراً مهماً في اختيار كل التفاصيل والمكونات اللازمة لتصميم سطوح ذات الأشكال غير المنتظمة ، ابتداء من النظام والهيكل الإنشائي الذي سيحمل القشرية انتقالات إلى المواد التي ستنفذ بها كل هذه الأجزاء من عناصر حاملة وطبقات اكساء ووصلات ، وصولاً إلى اختيار طرق وتقنيات التنفيذ ،لأنه لا يمكن فصل عملية التصميم عن عملية التنفيذ كون الجمل الإنشائية تؤثر بشكل كبير على التصميم و الشكل الجمالي وعلى التكاليف الاقتصادية للمبنى .

وتسهل التقنيات الرقمية الحديثة وآليات التصنيع المستعملة لتنفيذ أجزاء هذه المنشآت عملية التصميم، فبمعرفة و بالمام المعماري بشكل كاف بطرق استعمال هذه التقنيات ، يسهل عليه وضع تصاميم قابلة للتنفيذ بسهولة باستخدام المواد ، ووسائل التصنيع الملائمة .

Research Summary

During the past years buildings of organic design with irregular curvatures and shapes have spread widely, and this new architectural style has captured the attention of several architects around the world. The studies of these architects mainly focused on new execution techniques to construct these complicated designs by easier methods with reasonable costs .

Wide spectrum of studies has been conducted by architects , civil engineers and software programmers . impressive results pushed toward significant progress , and contributed in development of exclusive computer programs which facilitated the design and execution stages of these complicated buildings .

Syria's expertise in this domain is still limited in spite of the availability of potentials and materials - in the local market - which can be adopted for design and construction of the freeform buildings and structures . the poor expertise is limited to some simple designs and few theoretical study cases which haven't been executed .

This thesis consist of four main chapters headed with the introduction :

- **The first chapter** : covering the terminology , definitions , concepts and principles related to this research which has been implemented in the upcoming chapters , to enable the accurate understanding of the philosophy and physical components of freeform shapes and surfaces example but not limited to : the freeform curves , the freeform surfaces curvature and continuity .
- **The second chapter** : concerned with the implementation of the freeform surfaces in the architectural field and addressed to the impact of the main elements of architecture (beauty , economy , stability and functionality) on the freeform structures design , the review and analysis of some international buildings and examples aims to benefit from these studies in the future designs
- **The third chapter** : concerned with the study and presentation of the global execution techniques of freeform structures , identify the most important computer programs used in for design , analysis ,

study and execution stages . Explaining how these techniques had made these designs a reality with reasonable costs.

- **The forth chapter** : Addresses to the experience of Syria in this field and presents the available local possibilities (programs , local or imported materials and fabrication techniques) that can be used in the study and execution of freeform buildings , also presents the functional , climatic and environmental considerations which must be highly considered in order to reach realistic executable designs can be done locally at feasible cost limits

The thesis proposes at the end to develop and improve the use of the fabrication possibilities and the available materials in the Syrian market and suggests to start with small scale buildings to extract and develop the pros , identify and avoid the cons . this procedure will help to keep the Syrian architecture up with the global architectural schools.

قائمة المراجع

المراجع العربية

1- الأبحاث الأكاديمية

- 1- كود العزل السوري ، الباب الثالث (ص 43-46) .
- 2- خليل حسام الدين محمد بكر ، تطبيقات الحاسب الالى فى العمارة و البناء ، جامعة حلوان ، مصر 2012. (ص 11-13) .
- 3- عبد العزيز جيهان ، الأسمنت المدعم بالألياف الزجاجية (GRC) كخامة جدارية ودوره فى الارتقاء العمراني ، كلية الفنون الجميلة- جامعة المنيا مصر 2008. (ص 43) .
- 4- عبد العزيز حسان رشيد ، الطباعة ثلاثية الأبعاد (العبور السريع للمنتج) ، جامعة الملك عبد العزيز ،السعودية 2011. (ص 1-2) .
- 5- عبد الله فيصل نصر الدين ، مهارات الرسم بالحاسوب 2 ، جامعة الملك سعود قسم العمارة و علوم البناء ، السعودية 2006. (ص 10) .
- 6- فهمي حسام الدين فاروق ، نظام تكوين اللون و الشكل فى تصميم الزجاج بالتشكيل الحر ، أطروحة دكتوراه ،جامعة حلوان ، مصر 2004. (ص 8-9) .
- 7- محمود ايمان عبدالله، الأساليب التقنية فى تصميم و تطبيق الزجاج ، أطروحة ماجستير ، جامعة حلوان مصر 2004. (ص 45-55) .

2- المجلات

- 8- الحاج عبد جلال ، أشهر المنحنيات و المجسمات الهندسية ، مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب مصر 1999.
- 9- بريجاوي زكي، برمجة و انتاج العناصر على آلات التفريز المبرمجة CNC، مجلة التقنيات الصناعية intec-mag.com سورية 2011. (ص 1-5) .
- 10- عبود غسان، تأثير المتطلبات الإنشائية للجمل الإنشائية المعلقة المفردة الانحناء فى الشكل المعماري و امكانية الاستفادة منها معماریا ، مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية المجلد السادس و العشرون العدد الأول، دمشق 2010. (ص 251-268) .

English References

1-Books

- 11 - Ceccato C. / Hesselgren L. / Pauly M. / Pottmann H. and Wallner J. , **Advances in Architectural Geometry 2010**, Springer Vienna Architecture ;1st Edition. , 2010. (P 56-62) .
- 12- Farin G., **A History of Curves and Surfaces in CAGD**, in: Computer Aided Geometric Design, G. Farin, J. Hoschek and M.-S. Kim, Elsevier,(p. 1-21) , 2002. (P 9-10) .
- 13 - Gheorghiu A. and Dragomir V. , **Geometry of Structural Forms**, Applied Science Publishers Ltd., Barking Essex / U.K., 1978. (P 2) .
- 14 - Hesselgren L. / Sharma S./ Wallner J. / Baldassini N./ Bompas P. and Raynaud J. , **Advances in Architectural Geometry 2012**, Springer (343 pages), 2012. (P 165-168) .
- 15 - Iwamoto L., **Digital Fabrications: Architectural and Material Techniques** , Princeton Architectural Press; 1 edition, 2009. (P 144) .
- 16- Stephan S. , **General Method for the Design of Bolted Connections for Space Frames** , in: Space Structures 5,G. Parke, Telford Publishing, London/U.K.,2002. (P 759-773) .
- 17- Lindsey B., **Digital Gehry**, Princeton Architectural Press Princeton, NJ/ USA, 2001. (P 10-20) .
- 18- Warren J. and Weimer H. , **Subdivision Methods for Geometric Design: A Constructive Approach** , Morgan Kaufmann; 1st edition , 2001. (P 320) .
- 19 - Schober H., **Glass Roofs and glass Facades** in: Glass Structure and Technology in Architecture, S. Behling, S.Behling, Prestel publishing Verlag, Munich/ Germany, 1999. (P 5-6) .
- 20 - Pottmann H./ Asperl A./ Hofer M. and Kilian A. , **Architectural Geometry**, Bentley Institute Press; 1st edition (724 pages),2007. (P 83,265-305,312,343,360-404,487-501,535-580,625-681) .
- 21- Pottmann H./ Asperl A. and Hofer M. , **Advances in Architectural Geometry 2008**, Springer Vienna(132 pages), 2008. (P 41-48,115) .

2-Academic Researches

22- Anter V./Hansson E./ McNaught-Reynolds O. and Tessard A ., **The Sydney Opera House , Stakeholder Management and Project Success**

University of London · Bartlett School of Construction and Project Management ,2009. (P 1-3) .

23- Yan-Bin J., **Gaussian Curvature**, Dept. of Comput., Iowa State Univ.,2014 . (P 4-6) .

24- Balakrishnan R./ Fitzmaurice1 G./ Kurtenbach G. and Singh1 K., **Exploring Interactive Curve and Surface Manipulation Using a Bend and Twist Sensitive Input Strip**, University of Toronto , Toronto, Ontario ,2010 . (P 1-2) .

25 - Aanhaanen J., the **Stability of a Glass Facetted Shell Structure**, Master's Thesis is a part of the Structural Design Lab (SDL) of the Delft University of Technology, Netherlands, 2008. (P 18-37,51-60,108,165-187) .

26- Farid E, **Digital Fabrication and CAD/CAM Technologies** , Ain sham university .2010 . (P 14-39,60-62) .

27- Glymph J., Shelden D., Ceccato C., Mussel J., and Schober H., **A Parametric Strategy for Freeform Glass Structures Using Quadrilateral Planar Facets**, Acadia university, ACM, (p 303-321), 2004. (P 190) .

28- Kahlert E.J., **Tiling Surfaces with Straight Stripes** Master's Thesis in computing science, Simon Fraser university, Canada, 2009. (P 7) .

29- Thomas Funkhouser , **Polygonal Meshes** , Princeton University United States ,2002. (P 3-4) .

30- Shelden D., **Digital Surface Representation and the Constructability of Gehry's Architecture**, PhD thesis, MIT, 2002. (P 75-76,197,278) .

31 - Wang W./ Liu Y./ Yan D./ Chan B./ Ling R. and Sun F., **Hexagonal Meshes with Planar Faces**, Technical Report Department of Computer Science, The University of Hong Kong, 2008. (P 1-2) .

32- Zlatanova S. / Pu S. and Bronsvort W.F. **Freeform Curves And Surfaces In DBMS: A Step Forward in Spatial data Integration**, 1GISt, OTB, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, 2006. (P 1-2) .

33- Fang R. , **The Design and construction of Fabric Structure** , coenell university , 2008 . (P 14) .

34- Welch W. and Witkin A. **Free-Form Shape Design Using Triangulated Surfaces** . School of Computer Science Carnegie Mellon University Pittsburgh, 1994. (P 1-2) .

3-Scientific Magazines

- 35 - Eigensatz M./ Kilian M./ Schiffner A./ Mitra , N./Pottmann H. and Pauly M. , **Paneling Architectural Freeform Surfaces**, ACM (Proc. of SIGGRAPH), 2010 . (P 1-9) .
- 36 - Fu C. and Lai C., **K-Set Tillable Surfaces**, Article No. 44, ACM New York, NY/ USA, 2010. (P 2-6) .
- 37 - Gujarathi G.P., Ma Y.-S., **Parametric CAD/CAE integration using a common data model** , Journal of Manufacturing Systems ,2011. (P 118-122) .
- 38 -Kahlert J./ Olson M. and Zhang H., **Width-Bounded Geodesic Strips for Surface Tiling**, Springer-Verlag New York, Inc. Secaucus, NY/USA, 2011. (P 1-2) .
- 39 -Liu Y./ Pottmann H./ Wallner J./ Yang Y-L. and Wang, W. , **Geometric Modeling with Conical Meshes and Developable Surfaces**, Proceedings , ACM SIGGRAPH, NY/USA, 2006. (P 1) .
- 40 - Pottmann H., **Architectural Geometry as Design Knowledge**. Design, Engineering and Architectural Technologies, Volume 80, Issue 4, NY/USA, 2010. (P 1-4) .
- 41 - Pottmann H. **Ruled Surfaces for Rationalization and Design in Architecture**, Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA),NY/USA 2010. (P 2-8) .
- 42 - Pottmann H./ Brell-Cokcan S. and Wallner J., **Discrete Surfaces for Architectural Design** . in Curves and Surface Design , Nashboro Press inc in Brentwood, TN (p.213-23), Avignon/ France 2007. (P 1-5) .
- 43 - Kenmotsu K., **Surfaces of revolution with periodic mean curvature**, Osaka Journal of Mathematics. 40(3) P.687-P.696 , 2003. (P 688) .
- 44 - Pottmann H./ Liu Y./ Wallner J. / Bobenko A. and Wang W., **Geometry of Multi-Layer Freeform Structures for Architecture**. ACM New York, NY/ USA, 2007. (P 3-4) .
- 45- Pottmann H./ Schiffner A./ Bo P./ Schmiedhofer H./Wang, W./ Baldassini N. and Wallner J., **Freeform Surfaces from Single Curved Panels**. ACM Tran. (SIGGRAPH) ,2008. (P 1-7) .
- 46 - Pottmann H./ Schiffner A. and Wallner J., **Geometry of Architectural Freeform Structures** ,Internat. Math. Nachrichten Nr. 209 (pages 15–28) , 2008. (P 3) .

- 47 - Thomas H. Elmer , **Porous and Reconstructed glasses ,Repainted from engineered material handbook volume 4** , ASM international , 1992. (P 227-228) .
- 48 - Senatore J./ Moniès F./ Rubio W, **5 Axis Flank Milling of Sculptured Surfaces** , Springer, 2012. (P 43) .
- 49 - Šijakov M./ Tepavcevic B. and Štulic R., **Geometry and Visualization of Free-forms in Architectural Education** , International Journal for Engineering and Information Sciences Vol. www.akademai.com ,2006. (P 5) .
- 50- Singh M.and Schaefer S., **Triangle Surfaces with Discrete Equivalence Classes** , Article published by ACM , 2010. (P 1-4) .
- 51 - Sprott K. and Ravani B. , **Cylindrical Milling of Ruled Surfaces**. International Journal of Advanced Manufacturing Technology 38, (p.649-656), 2008. (P 22) .
- 52 - Stephan S./ Sánchez-Alvarez J.and Knebel K. , **Reticulated Structures on Free-form Surfaces** ,IASS Symposium , Montpellier / France ,2004. (P 2-14) .
- 53 - Zadavec M./ Schiftner A. and WallnerJ. , **Designing Quad-dominant Meshes with Planar Faces**, Euro graphics Symposium on Geometry Processing volume 29, 2010. (P 8) .
- 54- Bernard. F , **A short history of CATIA & Dassault Systemes** , Hal Leonard Publishing Corporation , 2003 . (P 3-31) .

4- Conferences .

- 55- Hambleton D./ Howes C./ Hendricks J./ Kooymans J. and Yolles H. , **Study of Panelization Techniques to Inform Freeform Architecture**, Glass Performance Days www.gpd.fi , Finland, 2009. (P 240-242) .
- 56 -Larsen H. , **Discovery center in Damascus** , stage E presentation Henning Larsen Architect, Copenhagen, Denmark , 2008. (P 12-38) .
- 57 -Schober H., **Freeform Glass Structures**, Glass Processing Days, Finland, 2003. (P 10-15) .

5-Web sites

- 58- 3D systems company : <http://www.3dsystems.com/>
- 59- Cubify 3D printing : <http://cubify.com>
- 60- Evolute consultancy : <http://www.evolute.at>
- 61-Formtexx design and manufacturing : <http://www.formtexx.com>

- 62-Gehry technology : <http://www.gehrytechnologies.com>
- 63- Henning Larsen architect : <http://www.henninglarsen.com>
- 64- Free form Timber [http:// www.freeform-timber.com](http://www.freeform-timber.com)
- 65- Free form structures : <http://www.freeformstructures.com>
- 66- Zaha Hadid <http://www.zaha-hadid.com/architecture>
- 67- Encyclopaedia Britannica : <http://global.britannica.com>
- 68- Oxford Dictionary : <http://www.oxforddictionaries.com/>
- 69- Frank Gehry : <https://www.foga.com/>
- 70-Loughborough Univ,Leicestershire,UK <http://www.lboro.ac.uk/> Civil
engineering , freeform project home <http://www.freeformconstruction.com/>