الجمهورية العربية السورية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
الجامعة الافتراضية السورية
برنامج نمذجة وإدارة معلومات البناء

الاستدامة في ضوء تكامل أدوات التصميم الخوارزمي مع تقنيات BIM

دراسة حالة عملية لتوسّع المستشفى الوطني لجراحة أمراض القلب باللاذقية

Sustainability In Light of Algorithmic-Design Tools Combability with BIM Technologies

A Case Study of National Hospital for Cardiac Surgery in Lattakia Expansion

بحث أعد لنيل درجة الماجستير في إدارة ونمذجة معلومات البناء

إعداد: م. حسام الدين الشمالي

إشراف: د.م. محمد شعبان

م. آلاء الشيخ محمد

1- الفصل الأول: هيكل البحث

1-1 عناصر هيكل البحث

1-1-1 الملخص:

في عصر التطور الرقمي والتكنولوجيا ومع ازدياد تبني تقنيات BIM في قطاع التشييد والبناء، تستمر تقنيات وأدوات جديدة بالظهور لغرض تحسين الأداء والارتقاء بمستوى هذا القطاع، ومن أحد أهم جوانب تحسين الأداء هو جانب الاستدامة، الذي لم يعد ينظر له كميزة بل بات وبشكل متزايد يعد شرطاً أساسياً من اشتراطات البناء الحديثة، وخلال العقد الأخير؛ أثبتت أدوات التصميم والتحليل الخوارزمي جدارتها في مجال دراسات الكفاءة لجوانب مختلفة من البناء، وذلك لما فيها من ميزات ودقة لا تتوفر في أدوات أخرى، بالإضافة لكون معظمها مفتوحة المصدر مما يسهل تطويرها وتحديثها وإضافة تحسينات جديدة لها، كل ذلك يضاف إلى قدرتها العالية على التكيف مع أي بيئة عمل والاندماج معها مثلما حصل بينها وبين تقنيات BIM.

ومن خلال هذا البحث يسلط الباحث الضوء على القدرات الكبيرة للتكامل بين التقنيات المذكورة وأطر عمل BIM من خلال محورين أساسيين، الأول هو الدراسة النظرية للعناصر الرئيسية الثلاثة لهذا البحث: الاستدامة، أدوات التصميم الخوارزمي، تقنيات BIM، ومن ثم تكريس المعرفة الناتجة عن الدراسة النظرية في إطار المنهج العملي بدراسة حالة توضح الفوائد والسلبيات الملموسة لإطار العمل المشترك بين BIM وأدوات التصميم الخوارزمي.

ABSTRACT:

With The ever-increasing adoption of BIM technologies in AEC sector in the era of digital evolution, new tools and technologies keep emerging aiming to improve and ascend the performance of this sector, Sustainability is one of the prominent aspects of this improvement, which has been viewed more and more as a main condition for modern construction rather than being just an optional upgrade.

During the last decade Algorithmic design and analysis tools proved its capabilities to study different aspects of buildings, Due to its numerous merits and accuracy to which there is no match, in addition to most of these tools being open-source based tools facilitating its development, upgrade and adding new features, all of which is added to its great ability of adapting to any work environment and merging with these new environment, Such merger happened before between BIM tools and Algorithmic Design tools.

The Author sheds the light through this thesis on the enormous capabilities of the integration of AD tools within BIM framework in two main axes; the first axes being Theoretical study of the three basic component of this thesis: Sustainability, Algorithmic Design tools, BIM technologies, Concentrating the resulting knowledge in the Practical approach of the case-study and clarifying the tangible benefits and disadvantages of a BIM-AD joint and integrated framework.

1-1-2 المقدمة:

تقوم العمارة المستدامة على علاقة تناغم بين الإنسان والبيئة والمنشأ، ينتج عن هذه العلاقة تصميم منشـــأ إنســـاني بالمقام الأول مراعياً الجانبين البيئي والوظيفي، من خلال خلق التوافق بين البيئة الخارجية من جهة والبيئة الداخلية وظروف راحة الإنسان من جهة أخرى.

تُعرَّف المباني المستدامة بأنها المباني عالية الجودة الموفرة للطاقة والتي تدوم لفترة أطول وتكاليف صيانتها وتشغيلها أقل، وإن تلبية معايير الاستدامة الصارمة يتطلب غالباً استخدام أدوات تحليل ونمذجة رقمية متقدمة، ويمثل BIM منصة خصبة وقاعدة للانطلاق نهو هذا الهدف، اكتسب مفهوم نمذجة معلومات البناء الأخضر (Green BIM) أهمية كبيرة.

يتضمن BIM Green استخدامًا استراتيجيًا لتكنولوجيا BIM لتحقيق أهداف الاستدامة، إذ أنه يمكّن المهندسين المعماريين والمهندسين من تقييم التأثير البيئي للمبنى وأداء الطاقة أثناء مراحل التصميم الأولية (Gaetano, et al., 2023).

يوفر عصر التكنولوجيا الرقمية ثلاثية الأبعاد فرصًا كبيرة في قطاعي البحث والبناء، على سبيل المثال، تتيح تقنيات مثل 3D BIM وRevit، وعلوم المعلومات الجغرافية ثلاثية الأبعاد (3DGIS) و 3D Rhino رؤى رئيسية لتطوير تصميمات مباني جديدة موفرة للطاقة (Feng, et al., 2024).

تمثل مجموعة أدوات مقبس التصميم الخوارزمي واحدة من أكثر المنصات استخدامًا بين المصممين. تتمتع هذه المنصة بالعديد من الفوائد التي لا تتوفر حاليًا في مكونات إضافية أخرى للتصميم البيئي، يوفر مقبس التصميم الخوارزمي واجهة نمذجة ثلاثية الأبعاد تبسط العملية التحليلية وتؤتمت العمليات الحسابية السريعة، وبالتالي توفر واجه عرض سهلة الفهم، كما يمكن مقبس التصميم الخوارزمي المصممين من تحقيق الارتباط المباشر بين البيانات البيئية وعملية إنتاج التصميم من خلال الارتباط الوثيق بين مخرجات البيانات وتصميم المبنى (Waqas, et al., 2022).

1-1-3 فهرس المحتويات

1- الفصل الأول: هيكل البحث 1

1-1 عناصر هيكل البحث ---------- 1

1-1-1 الملخص 1

1-1-2 المقدمة 3

1-1-7 مشكلة البحث 13

1-2 المصطلحات والتعاريف ---------- 17

1-3 الدراسات المرجعية ---------- 19

2- الفصل الثاني: الإطار النظري للبحث 23

2-1 مقدمة: ---------- 23

2-2 الاستدامة والتصميم المستدام في قطاع البناء والتشييد: ---------- 26

2-2-1 مفهوم الاستدامة: 26

2-2-2 كيفية تجلي الاستدامة في التجمعات العمرانية 28

2-3 المباني المستدامة واشتراطاتها: ---------- 30

2-3-1 المباني المستدامة: 30

2-3-2 أبرز أنظمة وأدوات تقييم استدامة المباني والمنشآت: 31

2-3-2-1طريقة BREEAM: ---------- 31

2-3-2-2 نظام LEED: ---------- 34

2-3-2-3 نظام CASBEE: ---------- 36

2-3-2-4 نظام GSAS: ---------- 37

2-3-2-5 أنظمة تقييم عالمية وإقليمية أخرى ذات أهمية: ---------- 39

2-4 الاستدامة وتقنيات BIM:---------- 40

2-4-1 نمذجة معلومات البناء BIM: 40

2-4-1-1 أبعاد BIM: ---------- 41

2-4-1-2 مستويات نضج BIM: ---------- 42

2-4-2 المباني المستدامة وتقنيات BIM: 44

2-5 الاستدامة في المرافق الصحية والمستشفيات:---------- 45

2-5-1 المستشفيات من المنظور الوظيفي: 45

2-5-2 الأسس المعمارية لتصميم المستشفيات: 46

2-6 الخوارزميات والتصميم الخوارزمي:---------- 53

2-6-1 الخوارزميات: 53

2-6-2 التصميم الخوارزمي في ظل التطور التقاني: 55

2-6-2-1 تصنيفات التصميم الخوارزمي: ---------- 57

2-6-3 التصميم الخوارزمي في قطاع البناء والتشييد: 60

2-6-4 أدوات التصميم الخوارزمي الحاسوبي: 62

2-6-5 فوائد استخدام التصميم الخوارزمي في المجال الهندسي: 63

2-6-6 التحديات التي تواجه تبني التصميم الخوارزمي في مجال الهندسي: 64

2-6-7 أدوات التصميم الخوارزمي وتقنيات BIM: 65

3- الفصل الثالث: تجارب عالمية ناجحة 68

3-1 أبنية مستدامة تمت دراستها بواسطة BIM:---------- 68

3-1-1 برج خليفة: 68

3-1-2 WHIZDOM 101 69

3-1-3 Silver Oak Winery 70

3-1-4 Govett-Brewster Art Gallery.....72

3-2 مبانٍ صحية نجحت في تبني ممارسات الاستدامة حول العالم:---------- 74

3-2-1 مركز DELL لطب الأطفال – تكساس:.....74

3-2-2 مستشفى باغجلار Bahçelievler –اسطنبول:.....75

3-2-3 مستشفى فقيه الجامعي –دبي:.....77

3-2-4 مستشفيات مستدامة أخرى في الوطن العربي: 78

3-3 مؤسسات نجحت في استخدام أسلوب التصميم الخوارزمي:---------- 79

3-3-1 مقدمة:.....79

3-3-2 زها حديد للتصاميم المعمارية:.....79

3-3-3 جان نوفيل:.....81

3-3-4 فوستر وشركاءه:.....83

4- الفصل الرابع: دراسة حالة عملية 85

4-1 مدخل إلى دراسة الحالة: ---------- 85

4-1-1مقدمة 85

4-1-2 المنشأة المدروسة:.....85

4-1-3 البرمجيات المستخدمة: 89

4-1-3-1 برنامج ArchiCAD:---------- 89

4-1-3-2 برنامج Rhinoceros 3D:---------- 90

4-1-3-3 مقبس Grasshopper: ---------- 92

4-2 طريقة سير العمل WORKFLOW:---------- 94

4-2-1 الواجهة الحركية Kinetic Façade: 95

4-2-2 طريقة الدراسة وأسس تقييم النتائج:.....98

4-2-3 خطوات الدراسة:.....100

4-2-3-1 نقل المخططات من CAD إلى نموذج معلومات بناء BIM Model: ----------100

4-2-3-2 خوارزمية تحليل الراحة الحرارية:----------101

4-2-3-3 تصدير نتائج دراسة الوضع الراهن وقراءتها: ----------106

4-2-4-2 خوارزمية تصميم الواجهة الحركية: ----------112

4-2-3-5 تعديل المبنى باستخدام برنامج ArchiCAD:----------122

4-2-4-6 تحليل الراحة الحرارية بعد تطبيق الواجهة الحركية وتصدير نتائج التحليل: ----------123

4-2-4 دراسة النتائج: 129

5- النتائج 136

5-1 نتائج عامة للبحث: ----------136

5-2 توصيات:----------139

5-3 المصادر والمراجع----------143

5-3-1 المراجع العربية.....143

5-3-2 المراجع الأجنبية 144

جدول المخططات

مخطط 1 الشكل العام لقسم الإسعاف وعلاقة العناصر التي يتكون منها(KISTER, 2012) ----------48
مخطط 2 مسقط القبو----------86
مخطط3 مسقط الطابق الأرضي ----------86
مخطط4 مسقط الطابق الأول ----------87
مخطط5 الطابق المتكرر 2و3و4----------87
مخطط6 مسقط الطابق الخامس ----------87

1-1-4 فهرس الرسوم والصور

صورة 1 خطوات تحليل مبنى المختبر في جامعة ووهان (WAQAS, ET AL., 2022) ---------- 19
صورة2 مثلث الاستدامة في المستشفيات (ALSAWAF, ET AL., 2022)---------- 20
صورة 3 أهداف التنمية المستدامة (الجمعية العامة للأمم المتحدة، 2015)---------- 27
صورة 4 أبعاد استدامة التجمعات العمرانية (عبد الظاهر، وآخرون، 2022) ---------- 28
صورة 5 المجالات الرئيسية والمعايير المتبعة في تقييم (BREEAM, 2014) ---------- 32
صورة 6 الزمر الرئيسية للتقييم وفق LEED (LIGHTART.COM, 2021) ---------- 34
صورة7 رتب شهادات LEED (GBA.ORG, 2022)---------- 35
صورة 8 معادلة الكفاءة البيئية للمبنى (CASBEE, 2014) ---------- 36
صورة9 التصنيف النهائي للمبنى (CASBEE, 2014) ---------- 36
صورة10 فئات استدامة المباني وفق (GSAS, 2019)---------- 37
صورة 11 مستويات نضج BIM (DAKHIL, ET AL., 2015) ---------- 43
صورة12 GREEN BIM وعلاقته بنظام تقييم الاستدامة (AKBARI , ET AL., 2024) ---------- 44
صورة 13 العلاقة بين مخارج الطوارئ وكتل المبنى (KISTER, 2012)---------- 47
صورة14 توضيح أبعاد عربة المصعد والفراغ الأفقي للمصعد (KISTER, 2012) ---------- 48
صورة15 معاني مستويات نظام MERV (UNITEDFILTER, 2024) ---------- 51
صورة16 الرجل الفيتروفي (القزاز,2020) ---------- 54
صورة17 مثال عن مخطط نهجي (ويكيبيديا) ---------- 54
صورة18 التصميم النهائي للهوائي الناتج عن الخوارزمية (NASA, 2006) ---------- 56
صورة 19 عينة من مجموعات النماذج التي أنتجتها الخوارزمية (NASA, 2006)---------- 56
صورة20 قواعد التشكيل في التصميم الخوارزمي (القزاز، وآخرون، 2020) ---------- 57
صورة 21 عينة من نتائج عملية التصميم الخوارزمي بالطي (أمين، وآخرون، 2022)---------- 58
صورة22 عينة من نتائج تجربة هانزماير (FEIST, ET AL., 2016)---------- 58
صورة23 شعار برنامج KHEPRI للتصميم الخوارزمي (GITHUB, 2024) ---------- 59
صورة 24 شعاري برنامجي RHINO 3D و GRASSHOPPER (MCNEEL & ASSOCIATES, 2024) ---------- 59
صورة25 شعار تطبيق LUNA MOTH (GITHUB، 2024)---------- 59
صورة26 صورة لفيلا SAVOYE من أعمال لو كوربوزيه (السماق، وآخرون، 2015)---------- 60
صورة27 مجالات خوارزميات التحسين التطوري---------- 61
صورة28 المجموعة الأولى من التصاميم الناتجة من الخوارزمية(WALTON, ET AL., 2022) ---------- 61
صورة29 المجموعة الأولى من التصاميم الناتجة من الخوارزمية(WALTON, ET AL., 2022) ---------- 61
صورة30 شعار برنامج DYNAMO وعلاقته ببرامج أخرى(D DYNAMO, 2023)---------- 62
صورة31 استخدام خوارزميات GH لتوليد فتحات نوافذ متحركة (نادي، 2019) ---------- 62
صورة 32 مثال لتصاميم مبنى ومدينة باستخدام A-BIM (FEIST, ET AL., 2016)---------- 66
صورة33 برج خليفة (إعمار، 2010) ---------- 68
صورة34 نقاط الاستدامة لبرج خليفة وفق LEED V.4 (USGBC, 2021)---------- 69
صورة 35 مبنى WHIZDOM في بانكوك (NOVATR, 2023) ---------- 69
صورة 36 لنموذج BIM للمبنى WHIZDOM 101 (NOVATR, 2023) ---------- 70
صورة 37 مباني SILVER OAK WINERY (ARCHDAILY, 2021) ---------- 71
صورة 38 المساقط الأفقية لمصنع SILVER OAK (ARCH DAILY, 2021) ---------- 71

صورة 39 معرض جوفيت بروستر (GRAPHISOFT, 2018)---72
صورة 40 مجموعة مناظير ومساقط لمعرض جوفيت بروستر (GRAPHISOFT, 2018)---72
صورة41 دراسة انعكاس الضوء الطبيعي لإنارة معرض جوفيت بروستر (GRAPHISOFT, 2018)---73
صورة 42 صورة جوية لمركز DELL لطب الأطفال(NATIVESOLAR, 2024) ---74
صورة43 مخطط يوضح عناصر نظام CHP (ESC, 2013) ---74
صورة44 نقاط الاستدامة لمركز DELL الطبي وفق LEED V.2.1 (USGBC, 2021) ---75
صورة 45 صورة جوية لمستشفى باغجلار ومحيطه (MEMORIAL CONSULTING, 2021)---76
صورة46 نقاط الاستدامة في مستشفى باغجلار وفق LEED (USGBC, 2021) ---76
صورة 47 مبنى مستشفى فقيه الجامعي في دبي (مجموعة فقيه، 2024)---77
صورة48 نقاط الاستدامة لمستشفى فقيه الجامعي وفق LEED (USGBC, 2021)---77
صورة49 مستشفى شرم الشيخ الدولي(HTTPS://WWW.DOSTOR.ORG/2112701)---78
صورة 50 المركز الثقافي الشبابي العالمي- نانجينغ-الصين (ARCH DAILY, 2019) ---80
صورة 51 خريطة عناصر BIM لمبنى المركز الثقافي الشبابي العالمي(ARCHDAILY, 2019) ---80
صورة52 الغلاف الخارجي لمبنى المركز الثقافي الشبابي العالمي (ARCHDAILY, 2019)---81
صورة 53 متحف اللوفر أبو ظبي(NOVATR, 2024) ---81
صورة 54 صورة توضح طبقات سقف متحف اللوفر أبو ظبي(NOVATR, 2024) ---82
صورة 55 التصاميم المعقدة لسقف قبة اللوفر (NOVATR, 2024)---82
صورة 56 نورمان فوستر مع مجموعة من مشاريعه (منصة X)---83
صورة57 المقر الرئيسي لشركة علي بابا(HAN, 2024)---84
صورة 58 الإطلالة من أحد فراغات مقر شركة علي بابا (HAN, 2024)---84
صورة59 موقع مبنى التوسع بالنسبة للكتلة الأساسية للمستشفى (خرائط غوغل)---85
صورة60 موقع المشفى بالنسبة لمدينة اللاذقية (خرائط غوغل)---85
صورة61 صورة توضح المساحة المدروسة بالنسبة للطابق مبينة بالتظليل الأزرق ---88
صورة62 الإصدار الأول من برنامج ARCHICAD نشرتها شركة GRAPHISOFTعلى حسابها الرسمي على تويتر -----89
صورة63 الصورة الرسمية لمنتج مقبس EPTAR من موقع GRAPHISOFT ---89
صورة64 البانر الرسمي لمقبس MEP MODELER من موقع GRAPHISOFT ---89
صورة65 حصص سوق برمجيات BIM (UNIFI, 2019)---90
صورة66 صورة توضح الفرق بين كرة رسمت باستخدام MESH على اليمين وأخرى باستخدام NURBS على اليسار (موقع MCNEEL)---90
صورة67 الشعار الرسمي لبرنامج RHINOCEROS من موقع MCNEEL---90
صورة68 لائحة اسعار رخصة تعليمية لمستخدم واحد لبرنامج RHINO 3D (موقع MCNEEL) ---91
صورة69 توضيح الربط بين ARCHICADو RHINO3D (BIMCORNER, 2022) ---92
صورة 70 قائمة المكونات لإضافة LUNCHBOX (إعداد الباحث)---93
صورة 71 قائمة مكونات إضافة LADYBUG (إعداد الباحث)---93
صورة 72 قائمة مكونات HONEYBEE (إعداد الباحث)---93
صورة 73 خريطة ملفات الطقس من EPW---94
صورة74 صورة واقعية لواجهة حركية (SHAKERI، 2025)---94
صورة75 صورة توضيحية لواجهة حركية (SHAKERI, 2025) ---94
صورة76 الفيلا المتحركة (VERMA, 2023)---95
صورة77 أحد مخططات الفيلا المتحركة (VERMA, 2023) ---95

صورة78 واجهة مستعارة لمئذنة مسجد الحسن الثاني في الدار البيضاء (PINTEREST) ---------- 95
صورة79 إغلاق واجهة معرض إرنست لتحسين الظروف داخل المبنى (VINNITSKAYA, 2010) ---------- 96
صورة80 صورة معرض إرنست (VINNITSKAYA, 2010) ---------- 96
صورة81 صورة أبراج البحر يظهر فيها واجهتها الحركية باللون البيج (VERMA, 2023) ---------- 96
صورة82 صورة تظهر واجهة برج البحر أثناء فترة التركيب (LOVELYSMILE, 2015) ---------- 97
صورة83 صورة تظهر الواجهة الحركية لبرج البحر من الداخل (LOVELYSMILE, 2015) ---------- 97
صورة84 صورة قريبة للواجهة المتحركة في مطار BRISBANE (SIMMONS, 2022)---------- 97
صورة85 صورة الواجهة المتحركة في مطار BRISBANE (SIMMONS, 2022) ---------- 97
صورة 86 نموذج BIM للمبنى المدروس (إعداد الباحث)---------- 100
صورة 87 نموذج BIM للمبنى المدروس (إعداد الباحث)---------- 100
صورة 88 فتح ملف BIM في برنامج RHINO (إعداد الباحث)---------- 101
صورة89 لقطة توضح العناصر الأساسية للخوارزميات التصميمية (إعداد الباحث) ---------- 101
صورة 90خوارزمية قراءة بيانات الطقس (إعداد الباحث) ---------- 102
صورة 91 المسقط العلوي لمخططات بيانات الطقس والراحة الحرارية (إعداد الباحث)---------- 102
صورة 92 لقطة ثلاثية الأبعاد لمخططات بيانات الطقس والراحة الحرارية (إعداد الباحث) ---------- 102
صورة 93 شكل الخوارزمية بعد إضافة أدوات تخريج البيانات (إعداد الباحث) ---------- 103
صورة 94شكل الخوارزمية بعد تعديل حركة تدفق البيانات (إعداد الباحث)---------- 105
صورة 95 المسقط العلوي الظاهر في برنامج RHINO نتيجة الخوارزمية (إعداد الباحث) ---------- 105
صورة 96 خوارزمية تصدير النتائج (إعداد الباحث) ---------- 105
صورة 97 تفعيل خيار ANIMATE (إعداد الباحث) ---------- 106
صورة 98العناصر الخوارزمية لعملية التقطيع ومدخلاتها (إعداد الباحث)---------- 112
صورة 99 نتائج مكونات التقطيع (إعداد الباحث)---------- 113
صورة 100شكل الخوارزميات المعنية بفتح الواجهة بالدوران (إعداد الباحث) ---------- 114
صورة 101 صورة نتائج الخوارزمية بعد إضافة عناصر الفتح بالدوران (إعداد الباحث) ---------- 114
صورة 102 استجابة الخوارزمية لحركة الظل (إعداد الباحث)---------- 115
صورة 103 استجابة الواجهة لتغيير جهة الفتح (إعداد الباحث)---------- 115
صورة 104 استجابة الواجهة لفتح جميع النوافذ بزاوية موحدة (إعداد الباحث) ---------- 115
صورة105 مخطط يوضح فكرة الستار المتحرك (نادي، 2019)---------- 117
صورة 106 مثال واقعي -ماكيت- يوضح تطبيق الواجهات المطوية على أرض الواقع (نادي، 2019)--------- 117
صورة 107 طريقة معالجة الخلايا التي لا يصح أن تتحرك (إعداد الباحث) ---------- 117
صورة 108 المكونات الخوارزمية لتحديد شكل الستار (إعداد الباحث) ---------- 118
صورة 109 العناصر التي أنتجتها الخوارزمية وصولاً إلى تحديد شكل الستار (إعداد الباحث)---------- 118
صورة111 استجابة الخوارزمية وتحريك الستار وفقاً لتغير حالة الراحة (إعداد الباحث) ---------- 120
صورة110 الأسطح المبسطة الناتجة عن الخوارزمية (إعداد الباحث) ---------- 120
صورة 112 المكونات الرياضية المحددة لنسبة الفتح وفقاً لحالة الراحة (إعداد الباحث)---------- 120
صورة113 تطبيق قيم تحريك على طيّات الستار (الباحث)---------- 121
صورة 114 مكون LOFT والأسطح الناتجة عنه (إعداد الباحث) ---------- 121
صورة 115مكونات الإظهار والنتائج الصادرة عنها (إعداد الباحث) ---------- 122
صورة 116 صورة المبنى في برنامج ARCHICAD بعد التعديل (إعداد الباحث) ---------- 122
صورة 117 صورة المبنى في برنامج ARCHICAD بعد التعديل بالألوان (إعداد الباحث) ---------- 122

صورة119 شكل المبنى بعد نقل التعديلات من ARCHICAD إلى RHINO ---------- 123
صورة118 نافذة الربط بين ARCHICAD وRHINO وخياراتها (إعداد الباحث) ---------- 123
صورة 120 الإجراء المتبع لتحويل تدفق بيانات الدراسة من الحل التقليدي إلى الحل الخوارزمي (إعداد الباحث)
---------- 123
صورة 121 نتيجة تطبيق خوارزميات الطيّ على السطح المقطع إلى مربعات (إعداد الباحث) ---------- 141
صورة122 نتيجة تطبيق خوارزميات الطيّ على السطح المقطع إلى أشكال سداسية (إعداد الباحث)--------- 141
صورة 123 صورة قريبة للحل مطبقاً على السطح المقطع إلى أشكال سداسية (إعداد الباحث)---------- 141
صورة124 نتائج تطبيق خوارزمية التقطيع السداسي على برج أسطواني الشكل (إعداد الباحث)---------- 142
صورة 125 صورة علوية لنتائج تطبيق خوارزمية التقطيع ---------- 142

1-1-5 فهرس الرسوم التوضيحية

رسم توضيحي1 20
رسم توضيحي 2 العلاقة بين مسميات التصميم من منظور التصميم الحاسوبي (CAETANO, ET AL., 2019) 55
رسم توضيحي3 العلاقة بين التصميم التوليدي والخوارزمي باستخدام التصميم الحاسوبي (إعداد الباحث) 56
رسم توضيحي4 منحني تعلم يحاكي يوضح سرعة تعلم التصميم الخوارزمي (المؤلف)..... 64
رسم توضيحي 5المخطط البياني لقيم متوسط الإشعاع الشمسي الداخل إلى المسقط (إعداد الباحث)..... 111
رسم توضيحي 6 شكل مبسط يوضح فكرة طي الواجهة (إعداد الباحث)..... 116
رسم توضيحي 7 المخطط البياني لمتوسط قيم الإشعاع الشمسي على مدار العام بعد تطبيق الواجهة الحركية (إعداد الباحث) 128
رسم توضيحي 8 المخططين البيانيين لمتوسط قيم الإشعاع الشمسي قبل وبعد تطبيق الواجهة (إعداد الباحث) .. 129
رسم توضيحي 9 المخطط البياني لمتوسط الأداء قبل وبعد تطبيق الحل (المؤلف)..... 133
رسم توضيحي10 مخطط رادار لأداء الحل التقليدي في كل جانب (المؤلف)..... 134
رسم توضيحي11 مخطط رادار لأداء الواجهة الخوارزمية في كل جانب (المؤلف)..... 134
رسم توضيحي 12 متوسط أداء كل من الواجهتين على مخطط راداري واحد (إعداد الباحث) 134

1-1-6 فهرس الجداول

جدول1 المصطلحات والتعاريف 17

جدول 2 جدول التصنيف وفق BREEAM (BREEAM, 2014) 32

جدول 3 أسس توزيع النقاط على معايير الاستدامة المتبعة في المبنى (BREEAM, 2014)..... 33

جدول 4 جدول نتائج التقييم النهائي وفق (BREEAM, 2014)..... 33

جدول 5 قائمة نقاط الاستدامة لمستشفى زليخة في الإمارات العربية وفق LEED (USGBC, 2021)..... 35

جدول6 مراحل المشاريع والشهادات وفقGSAS (GSAS, 2019) 37

جدول 7 تصنيف المبنى حسب النتيجة النهائية(GSAS, 2019) 38

جدول 8 جدول تقييم المباني حسب القطاعات (GSAS, 2019)..... 38

جدول 9خصائص وجوانب أبعاد نمذجة معلومات البناء (JAVIER, ET AL., 2020)..... 42

جدول10 اشتراطات الأبعاد لفراغ المصعد (KISTER, 2012) 48

جدول 11 اشترطات كفاءة مرشحات الهواء الجزيئية في المستشفيات (ASHRAE, 2020) 51

جدول 12 اشتراطات البيئة الداخلية لفراغات المستشفيات (ASHRAE, 2020)..... 52

جدول13 الرموز الشائعة المستخدمة في المخطط النهجي (بدر، 2016)..... 54

جدول 14 نتائج دراسة الوضع الراهن (إعداد الباحث)..... 107

جدول 15 نتائج تحليل الواجهة الحركية المقترحة (إعداد الباحث)..... 124

جدول 16 متوسط قراءات الطقس في الأوقات المدروسة من كل شهر (إعداد الباحث)..... 128

جدول 17 تقييم أداء الواجهة التقليدية وفق متوسط الإشعاع (إعداد الباحث) 130

جدول 18 تقييم أداء الواجهة التقليدية وفق انتشار الإشعاع (إعداد الباحث) 130

جدول 19 تقييم أداء الواجهة التقليدية وفق استجابتها للرياح الضارة (إعداد الباحث) 131

جدول 20 تقييم أداء الواجهة الحركية وفق متوسط الإشعاع (إعداد الباحث)..... 131

جدول 21 تقييم أداء الواجهة الحركية وفق انتشار الإشعاع (إعداد الباحث)..... 132

جدول 22 تقييم أداء الواجهة الحرارية وفق استجابتها للرياح الضارة (إعداد الباحث) 132

جدول 23 جدول مقارنة الأداء بين الواجهة التقليدية والواجهة الحركية (إعداد الباحث) 133

1-1-7 مشكلة البحث:

تتمتع مباني المستشفيات بأهمية خاصة في أي مجتمع، حيث أن طريقة تصميم وبناء وتشغيل هذا النوع من المباني لها تأثير عميق على صحة الإنسان والبيئة (Alsawaf, et al., 2022)، والمستشفيات اليوم تسبب أضرارًا بيئية كبيرة بسبب الاستهلاك العالي للموارد مما يؤدي إلى انبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري وإنتاج النفايات (Doğan, et al., 2024)، إن نماذج بناء المستشفيات بشكل تقليدي أصبحت وبشكل متزايد غير قادرة على معالجة القيود الملحة على الموارد والضغوط البيئية التي نواجها اليوم (Feng, et al., 2024)، في الوقت الحالي وفي حين يستمر نمو الأبحاث حول تصميم المستشفيات العلاجية، إلا أن هناك القليل منها نسبيًا مما يتناول بشكل خاص دمج مفاهيم التصميم المستدام مع هذه المستشفيات.

يتم في منهجيات التصميم التقليدية إجراء تقييمات الأداء عادة في نهاية عملية التصميم مما يقوض أولويتها وفعاليتها، لكن من خلال جمع مرونة التصميم الخوارزمي وبرامج التحليل يصبح بالإمكان تحليل بدائل التصميم ومقارنتها ببساطة لمعرفة الحل الذي يوفر الأداء أمثل في وقت مبكر من عملية التصميم، الأمر الذي يعد تقدماً هائلاً ويعطي أولوية كبيرة لعمليات تحسين الأداء ويجعلها أكثر شمولاً، سواء على المستوى التصميمي كالهيكل والشكل وصولاً إلى التوزيع المكاني واستخدام المواد. ، كما يتيح التصميم الخوارزمي أيضاً إتمام المهام المتكررة التي تستغرق وقتاً طويلاً وكانت سابقاً تنفذ يدوياً من قبل المهندسين، إتمام هذه المهام آلياً يريح المهندسين من الأعمال الشاقة والمعرضة للخطأ مما يسمح لهم بتوفير الوقت والجهد والحد من الأخطاء (سليم، وآخرون، 2023).

عملية التصميم والتحليل الخوارزمي تقوم بوضع الفرضيات أولاً، ومن ثم نمذجتها انتهاءً بإجراء التحليل واستخلاص نتائجه، مما لا يدع مجالاً للشك بالوصول إلى أفضل النتائج الممكن تحقيقها.

لذلك فإن اعتماد نهج التصميم والتحليل الخوارزمي في دراسة استدامة المنشآت هو بلا شك حاجة ضرورية لاتخاذ القرار "الأنسب" فوق الخيار "المناسب".

1-1-8 أهمية البحث

في ظل أزمات الطاقة والوقود المستمرة والحصار الاقتصادي على القطر العربي السوري، وامتداداً لسياسات الاكتفاء الذاتي التي تتبعها سورية، تبرز أهمية تبني وتعزيز مبادئ الاستدامة في المباني، ولا سيما في المرافق الصحية والمستشفيات، فمن خلال الاستدامة يمكن للمستشفيات الاستمرار بتقديم الرعاية اللازمة للمرضى والمراجعين، دون أن يعرقلها نقص الوقود أو الطاقة الكهربائية اللازمة لتشغيل المشفى.

تفتح تقنية BIM آفاق جديدة لعملية التصميم المعماري والإنشائي وتجعلها تجربة أسهل وأكثر دقة من أي وقت مضى، وفي ظل التبني الواسع لهذه التقنيات على المستوى العالمي، يظهر نوع جديد من التصميم؛ هو التصميم الخوارزمي، ليفسح المجال لمزيد من الإبداع والمبدعين للتعبير عن أفكارهم، وفي هذا البحث سنتعرف على طرق الاستفادة من التصميم الخوارزمي ضمن إطار عمل BIM، ما هي ميزاته وعيوبه وكيف يمكن أن نسخره في عملية التصميم الهندسي لتحقيق الاستدامة في المباني. يقدم هذا البحث خطوة نوعية نحو تمكين مبادئ الاستدامة في المباني من خلال تكامل تكنولوجيا نمذجة البناء مع تكنولوجيا التصميم الخوارزمي للوصول إلى غدٍ مستدام.

1-1-9 فروض البحث

*تكامل تقنيات البيم مع أدوات التصميم الخوارزمي يساعد في تعزيز مبادئ الاستدامة في المباني من خلال مراجعة وتحليل مجموعة كبيرة من البيانات والفرضيات التصميمية في وقت قصير.

*وجود حاجة ماسة لدى القطاع الطبي لتأمين حل لمشكلة أزمة الطاقة، تمثل الاستدامة في المشافي حلاً مناسباً لهذه المشكلة.

1-1-10 منهج البحث

المنهج التجريبي

من حيث الغرض: وصفي – دراسة الحالة (دراسة حالة عملية لمبنى المستشفى الجامعي بحمص).

1-1-11 أهداف البحث

يهدف البحث إلى استكشاف فوائد دمج تقنيتي التصميم الخوارزمي و BIM في محور الاستدامة وزيادة الوعي في الوسط الهندسي العربي في هذا المجال، بالإضافة لتمهيد الطريق لمزيد من الدراسات المستقبلية الموسعة، تحقيق هذه الغاية يمكن تقسيمه لثلاث محاور:

1- دراسة إمكانيات التصميم والتحليل الخوارزمي وفوائد دمجها مع BIM وخاصة في مجال التصميم المستدام للمستشفيات.
2- زيادة الوعي بطرق تكامل التصميم والتحليل الخوارزمي مع تقنيات BIM في الأوساط الهندسية.
3- رسم خارطة طريق من خلال التجربة العملية لكل من يرغب بتبني أسلوب التصميم الخوارزمي في BIM.

1-1-12 حدود البحث

أولاً: الحدود الموضوعية:

يتطرق هذا البحث إلى المواضيع التالية:

1- أساسيات الاستدامة والتصميم المستدام (تعريفه، آفاقه، معاييره).
2- التصميم الخوارزمي بشكل عام (تاريخه، ميزاته، سبله).
3- أدوات التصميم والتحليل الخوارزمي.
4- أسس تصميم المستشفيات والمرافق الصحية.

ثانياً: الحدود المكانية:

تتمثل الحدود المكانية بالحالة المدروسة (المستشفى الوطني لأمراض القلب باللاذقية).

ثالثاً: الحدود الزمنية:

*تجرى هذه الدراسة في الربع الرابع لعام 2024.

رابعاً: الحدود البشرية:

يتطرق البحث بالضرورة إلى حدود بشرية تتمثل بالمصلحة العامة للأشخاص المستفيدين من المبنى المدروس (المستشفى الوطني لأمراض القلب)، سواء كان هؤلاء الأشخاص مراجعين (مرضى ومرافقين)، أو مقدمي خدمات صحية (أطباء وممرضين)، أو مقدمي خدمات (فنيين ومستخدمين).

1-1-13 أدوات البحث

الدراسة النظرية: لكل من أسس التصميم المستدام وطرق التصميم الخوارزمي ومراحلها.

التجربة العملية: باستخدام البرامج (ArchiCAD، grasshopper).

المقارنة: بين نتائج التصميم والتحليل الخوارزمي ونتائج طرق التصميم والتحليل التقليدية.

1-1-14 الكلمات المفتاحية

BIM, نمذجة معلومات البناء, استدامة, مستشفى, مرافق صحية, تصميم خوارزمي, خوارزميات, Algorithmic DESIGN, تصميم توليدي, Generative Design.

2-1 المصطلحات والتعاريف

جدول1 المصطلحات والتعاريف

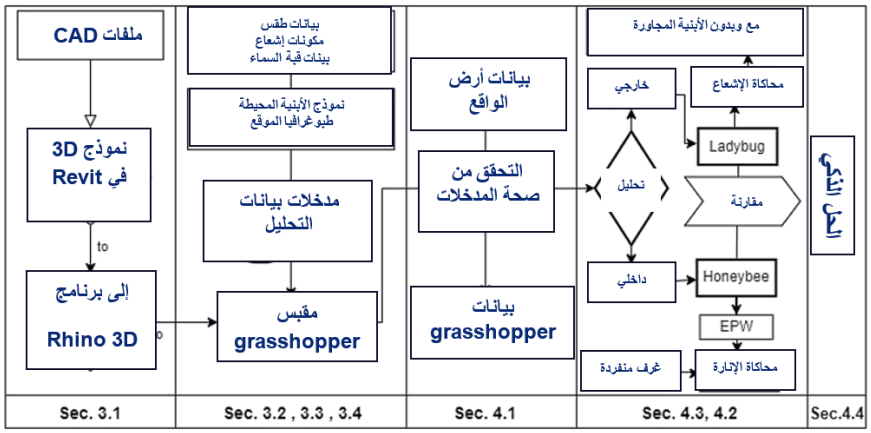
ABBREVIATIONS	Meaning	المعنى	الاختصارات
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design.	نظام الريادة في تصميمات الطاقة والبيئة	**LEED**
IgCC	International Green Construction Code	كود المنشأ الأخضر العالمي	**IgCC**
ICC	International Code Council	مجلس الكود الدولي	**ICC**
Rhino 3D	Rhinoceros 3D CAD Software	برمجية Rhinoceros 3D للتصميم بمعونة الحاسب	**Rhino 3D**
Grasshopper 3D (GH)	a visual programming language and environment that runs within the Rhinoceros 3D computer-aided design (CAD) application	لغة وبيئة برمجة بصرية تعمل ضمن تطبيق Rhinoceros 3D للتصميم بمعونة الحاسب	**Grasshopper 3D (GH)**
Ladybaug	a collection of free computer applications that support environmental design and education	مجموعة من تطبيقات الحاسوب المجانية التي تدعم التصميم والتعليم البيئي	**Ladybug**
Honeybee	a Grasshopper plug-in that provides data regarding the daylight and energy performance of the interior of a space	مقبس لبرمجية Grasshopper تقوم بتزويد بيانات تخص الإنارة الطبيعية وأداء الطاقة في داخل الفراغ	**Honeybee**
EPW	weather data in the format of simple, text-based with comma-separated data	بيانات الطقس بصيغة بسيطة مبينة على هيئة بيانات نصية مفصولة بفاصلة	**EPW**
ZEB	a building with net zero energy consumption	مبنى ذو استهلاك طاقة صافي صفري	**ZEB**
AEC	Architecture, engineering and construction	العمارة والهندسة والتشييد	**AEC**
Plug-in	a software component that adds a specific feature to an existing computer program	مكون برمجي يضيف ميزة معينة إلى برنامج حاسوبي موجود	**المقبس**
BIM	technology of building information modeling, with all its tools, methods and additions that can be used in this field	هي تقنية نمذجة معلومات البناء بكل ما فيها من أدوات وطرق وإضافات يمكن استخدامها في هذا المجال	**BIM**
A-BIM	Algorithmic approach using BIM Technology	الأسلوب الخوارزمي في استخدام تقنيات BIM	**A-BIM**

Algorithmic design (AD)	A design process using software commands for specific mathematical operations to obtain a geometric representation of an object	عملية تصميم باستخدام أوامر برمجية لعمليات رياضية معينة للحصول على تمثيل هندسي لمجسم ما	**التصميم الخوارزمي (AD)**
(GD)	Generative Design	التصميم التوليدي	**(GD)**
(DD)	Digital Design	التصميم الرقمي	**(DD)**
(CD)	Computational Design	التصميم الحسابي	**(CD)**

3-1 الدراسات المرجعية

1-3-1 Enhancement Of The Energy Performance Of An Existing Building Using A Parametric Approach (Waqas, et al., 2022)

في هذا المقال قام الباحث بإجراء دراسة لمبنى المختبر الهندسي في جامعة علوم الجيولوجيا في مدينة ووهان الصينية، من خلال الاستعانة بملفات CAD المتوفرة عن هذا المبنى تم إنشاء نموذج 3D BIM له في برنامج Revit،(الغرض من نموذج 3D BIM هو تقييم تأثير السلوك الإشعاعي الحراري داخل المبنى)، كما قام الباحث أيضاً بعمل نموذج تكوين حجمي للأبنية المجاورة لمراعاة تأثير هذه الأبنية على المبنى المدروس، ولإجراء عملية التقييم استخدم الباحث أدوات التحليل: Ladybug لدراسة العناصر الخارجية، و Honeybee لدراسة العناصر الداخلية، وفق النهج الموضح في (رسم التوضيحي 1).



صورة 1 خطوات تحليل مبنى المختبر في جامعة ووهان (Waqas, et al., 2022)

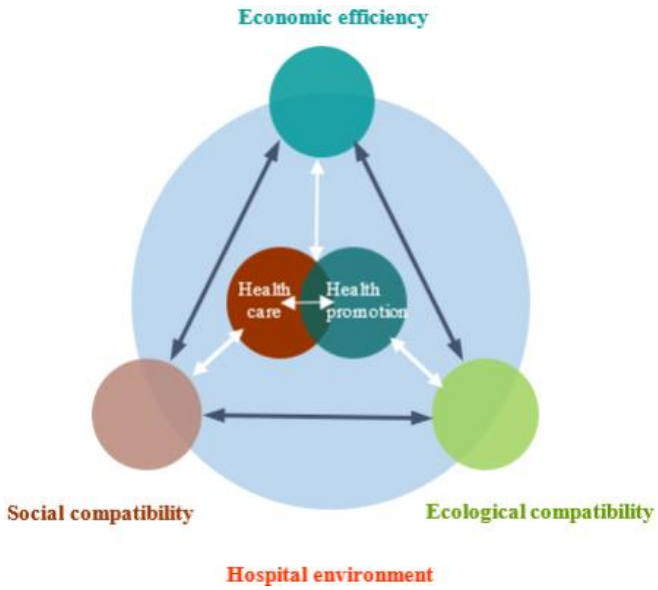
تمت دراسة المبنى على مدار أشهر السنة ومقارنة النتائج كل على حدى، وبناء على هذه الدراسة توصل الباحث إلى أن إضافة واجهة حركية على الجهة الجنوبية للمبنى أدى إلى خفض متوسط درجة الحرارة داخل غرف المبنى صيفاً بمقدار ١٧ درجة مئوية (من ٣٦ درجة مئوية إلى ١٩ درجة مئوية في حزيران وآب) هذا بدوره يحسن من كفاءة المبنى ويقلل من الحاجة لاستخدام الطاقة في التكييف فيما كان أثر هذه الواجهة الحركية شبه معدوم في أشهر الشتاء (أقل من درجة مئوية واحدة في أشهر كانون الأول وكانون الثاني)، خلص البحث إلى أخذ الواجهات الحركية بعين الاعتبار عند دراسة كفاءة المباني سواء كانت مباني قائمة يراد تحسين كفاءتها، أو مباني قيد التصميم وبحاجة لتحقيق درجات معينة من الكفاءة، وأكد على دور وفوائد تقنيات البيم والتصميم الخوارزمي في تمكين وتسهيل هذه الدراسات.

PRINCIPLES FOR THE SUSTAINABLE DESIGN OF HOSPITAL BUILDINGS 2-3-1

(Alsawaf, et al., 2022)

يهدف البحث إلى بناء نموذج مبادئ توجيهي لمسؤولي الرعاية الصحية المهتمين بتطبيق معايير الاستدامة في الأبنية التي يشرفون عليها، اتبعت البحث المنهج التحليلي الوصفي لدراسة مكونات ومبادئ التصميم المستدام في أبنية المستشفيات والفوائد البيئية والاقتصادية والاجتماعية لتطوير المستدام في قطاع الرعاية الصحية، ولتحقيق ذلك تم معاينة مبادئ التصميم المستدام بشكل عام ومبادئ التصميم المستدام في المستشفيات بشكل خاص، واستخلاص أهم مؤشرات الاستدامة في المستشفيات، من أهم المبادئ المدروسة هو مثلث الاستدامة في المستشفيات: الكفاءة الاقتصادية، التوافق الاجتماعي، التوافق البيئي، (انظر صورة 2).

كما تم مراجعة أربع أصناف للمستشفيات: المستشفيات الخضراء، الذكية، الصديقة للبيئة، الافتراضية، وخلصت الدراسة إلى ٤٧ مؤشر يمكن تطبيقها لتحديد استدامة المشافي مقسمة إلى ١٤ فئة، هذه الفئات هي: الموقع، الشكل والتوجيه، جودة البيئة الداخلية، الطاقة، النفايات، المواد، المياه، التلوث، صحة وحال المرضى والمقيمين، إمكانية الوصول، الوعي والتعليم، كلفة دورة الحياة، التوفير المالي، إنقاص كلفة النقل.



صورة2 مثلث الاستدامة في المستشفيات (Alsawaf, et al., 2022)

3-3-1 Evaluation of LEED-certified hospitals in Turkey within the scope of sustainable design (Doğan, et al., 2024)

راجع الباحثون من خلال هذا المؤتمر، ثلاثة مستشفيات حاصلة على شهادات LEED ضمن مجال التصميم المستدام، من خلال المراجعة وفق الفئات السبعة المعتمد من نظام LEED (المواقع المستدامة، الطاقة والجو، جودة البيئة الداخلية، كفاءة المائية، المواد والموارد، الابتكار، الأهمية الإقليمية) رأى الباحثون أن المشافي المستدامة يجب أن تصبح واسعة الانتشار لتحسين صحة المرضى ولمنع إلحاق الضرر بالعاملين، وذلك يتطلب سن قوانين وتشريعات تلزم المشافي باتباع الممارسات المستدامة في أقرب وقت.

3-3-1 A-BIM: Algorithmic-based Building Information Modelling (Feist, et al., 2016)

قامت الباحثة بدراسة مفهوم التصميم الخوارزمي في نمذجة معلومات البناء، بدءاً بالدراسة النظرية لمكتبة موسعة من الابحاث في مجالي البيم والتصميم الخوارزمي، ومن ثم أجرت دراسة حالة لتصميم مبنى خوارزمياً باستخدام أدوات Algorithmic-BIM (A-BIM) ، خلال هذه الدراسة قامت الباحثة بمقارنة سرعة وتكلفة وكفاءة إجراء تعديلات على التصميم بين استخدام BIM و A-BIM ، وتوصلت إلى أن A-BIM يتيح مجال من البدائل التصميمية أوسع وأكبر من ذلك الذي يتيحهBIM ، كما أنه يوفر الوقت والكلفة لإجراء التعديلات مع المحافظة على بنية المعلومات التي تميز تقنيات البيم و تكسبها هويتها، بالإضافة لإتاحة المجال لإجراء الدراسات الحرارية والإنارة مباشرة على النماذج بمجرد تعديلها ومقارنتها ببعضها البعض.

يخلص البحث إلى أن تقنيات A-BIM توفر طريقة جديدة وفعالة في التصميم لكنها لا تزال تمثل تحدياً لفهم منطق عمل الخوارزميات، الخوارزميات التي يمكنها بدورها القيام بكل مهام التصميم المكررة والرتيبة مما يتيح للمصمم التركيز على الإبداع في عملية التصميم بدلاً من التكرار.

1-3-5 التكامل بين نمذجة معلومات البناء BIM والتصميم المستدام لرفع كفاءة الأبنية في استهلاك الطاقة (عربش، وآخرون، 2023)

انطلق الباحثون في دراستهم من خلال دراسة مدى انتشار مفاهيم البيم والاستدامة في سوريا من خلال استبيان، كما درس هذا البحث تأثير تقنية نمذجة معلومات البناء في تحسين كفاءة الابنية، وذلك باستخدام برنامج REVIT للحصول على نموذج ثلاثي الأبعاد لدراسته في برمجيات TALLY/MODEL CHECKER).

تم تطبيق هذه التقنيات على دراسة حالة (برج سكني تجاري في سوريا)، وتمخض البحث إلى إمكانية تخفيض استهلاك الطاقة في الأبنية باستخدام التقنيات الآنف ذكرها، كما شجع على استخدام تقنيات BIM على نطاق أوسع، بالإضافة لضرورة توفير الدعم والتشجيع الحكومي اللازم لتعزيز استخدام البرمجيات المختصة بالاستدامة، ونوه إلى أهمية اختيار مواد الإنهاء بعناية شديدة نظراً لقدرتها على تحقيق بصمة بيئية كبيرة وأكد على ضرورة توفير التدريب المناسب للمهندسين والعاملين في مجال التشييد لاستخدام تقنيات البيم والاستدامة.

1-3-6 استخدام نمذجة معلومات البناء في تحقيق استدامة المباني السكنية دراسة حالة الإنارة (إبراهيم، وآخرون، 2023)

ركز الباحثان على استخدام تقنيات البيم في دراسة جانب الإنارة المتعلق بتوفير الطاقة في المباني بغية تحسين الاستدامة، واستخدما في سبيل تحقيق ذلك برمجيات REVIT, ECOTECT, INSIGHT بالإضافة لمقبس DYNAMO، تم إجراء دراسة حالة لضاحية سكنية مؤلفة من عشرين برج سكني في محافظة طرطوس السورية، وأخذ الباحثان بعين الاعتبار زيادة تكلفة النوافذ عند زيادة مساحتها (بغية تحقيق توازن بين توفير الطاقة، ومراعاة كلفة البناء)، كما نوه الباحثان إلى إعطاء أهمية خاصة لمدخلة التصميم وخاصة مرحلة إجراء الدراسات الحرارية.

وخلصا إلى ضرورة تدريب الأطراف المعنية بالبناء على تقنيات البيم، ودمج مفاهيم هذه الأنظمة في برامج الإعداد والتدريب قبل إدخال الكوادر في سوق العمل.

2- الفصل الثاني: الإطار النظري للبحث

2-1 مقدمة:

"أخذت البشرية في القرن الماضي واثر التطور الكبير الذي عاشته وما نتج عنه من مظاهر الانجراف في استنزاف موارد الأرض والاندفاع الاستهلاكي الذي وصل حداً مبالغاً فيه في بعض المجتمعات، في حين يعاني الكثيرون في مجتمعات أخرى من الحرمان من هذه الموارد، فبدأت تظهر المحاولات والمبادرات المتفرقة والمتعددة من سياسية واقتصادية واجتماعية لمحاولة معالجة تلك الظواهر". (كيخيا، وآخرون، 2006)

ظهر مفهوم الاستدامة مع بداية ثمانينيات القرن الماضي، مركزاً على قضايا عالمية، مع القليل من الاهتمام بالمدن والتحضر (صالح، 2021)، وفي التسعينات، انعقد تحت رعاية الأمم المتحدة كل من المؤتمر الدولي للسكان والتنمية القاهرة 1994، والمؤتمر الدولي للمستوطنات البشرية اسطنبول 1996 الذي التزمت بموجبه الحكومات بتحقيق أهداف المستوطنات البشرية المستدامة (الأمم المتحدة، 1996)، وبات المجتمع الدولي مدركاً لأهمية التنمية الحضرية المستدامة.

تقوم العمارة المستدامة على علاقة تناغم بين الإنسان والبيئة والمنشأ، ينتج عن هذه العلاقة تصميم منشأ إنساني بالمقام الأول مراعياً الجانبين البيئي والوظيفي، من خلال خلق التوافق بين البيئة الخارجية من جهة والبيئة الداخلية وظروف راحة الإنسان من جهة أخرى، وعلى مدار العقود الثلاثة الماضية، ظهرت كيانات محلية وعالمية لاعتمادية البناء المستدام موفرة أطر عمل لتعزيز الاستدامة في التشييد (Gaetano, et al., 2023)، إذ يحمل قطاع العمارة والهندسة والتشييد (AEC) مسؤولية كبيرة تجاه التغيرات المناخية وارتفاع تكاليف الطاقة، فيتسبب قطاع البناء عالمياً بـ 40% من الاستهلاك الكلي للطاقة بما يمثل أيضاً 33% من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المتعلقة باستهلاك الطاقة (Javier, et al., 2020).

استجابة لمطالب الاستدامة هذه، أكتسب مفهوم نمذجة معلومات البناء الأخضر (GreenBIM) أهمية كبيرة، يتضمن (Green BIM) استخدام استراتيجي لتقنية نمذجة معلومات البناء لتحقيق أهداف الاستدامة، فهو يمكن المعماريين والمهندسين من تقييم التأثير البيئي وأداء الطاقة للمباني طوال مراحل

التصميم الأولي (Gaetano, et al., 2023)،" أسلوب عمل BIM هو تقنية مشاريع تعامل المعلومات على أنها عامل مفتاحي ذو صلة بدورة حياة المشروع من خلال تفصيل قاعدة بيانات حيث يحمل فيها كل عنصر خصائص تصويرية ومعلومات مرفقة ذات صلة " (Javier, et al., 2020)، إن تقنيات BIM لديها القدرة على جلب تحسينات كبيرة لصناعات العمارة والهندسة والتشييد ونتيجة لذلك العديد من الجهات الحكومية والخاصة حول العالم بدأت بجعل استخدام BIM إلزامياً في مشاريعهم كوسيلة للانتقال إلى تقنيات BIM في صناعة البناء (Feist, et al., 2016).

التحول الرقمي باستخدام BIM يمكنه إظهار استدامة المشروع بشكل أكثر وضوحاً، كما يمكنه تحسين استدامة المشروع خلال مرحلة التصميم بشكل كبير (Andrić, 2024) ، وثبت أن استخدام النهج البارامتري له كفاءة عالية خاصة في المشاريع التي تحمل طابع تكراري، مثل تصميم ناطحات السحاب أو تصميم الأبنية باستخدام أشكال معقدة، وبسبب طبيعته الخوارزمية فإن النمذجة التكرارية يمكن أن تكون مؤتمتة بشكل كبير والخوارزميات الناتجة ستكون بارامترية للغاية، متيحاً بذلك استكشاف طيف واسع من الخيارات التصميمية وتقييمها ببساطة من خلال التجريب بالبارامترات المختلفة (Feist, et al., 2016).

والتصميم الخوارزمي هو التصميم باستخدام مجموعة من الأحكام Rules تتم في سلسلة من الإجراءات المتتالية خطوة بخطوة لإنجاز مهمة محددة مثل تعريف كيان (Object) أو استخلاص بيانات من عنصر، وذلك لحل مشكلة أو تحقيق فائدة (القزاز، وآخرون، 2020).

في منصات عمل BIM يمكن للخوارزميات المبنية جيداً أن تؤتمت وتحسن العمليات، كما يمكنها أن تولد العديد من الحلول أو تحليل كميات هائلة من البيانات في فترة قصيرة من الزمن (d'agostino, et al., 2019)، إن استخدام BIM على الأبنية القائمة يوفر بيانات يسهل البحث فيها وتحديثها، يمكن استخدام هذه البيانات لإدارة المباني المذكورة، لكن إنشاء نماذج جديدة لهذه المباني القائمة ليس دائماً أمراً سلساً، وسبب ذلك أن منصات BIM الرئيسية ليست مخصصة لمثل هذا الإجراء، ومع ذلك فإن تقديم أدوات البرمجة النصية المرئية جعل من الممكن زيادة عدد الأدوات المتاحة للمشغلين والفنيين في الواقع، يوسع التصميم الخوارزمي من إمكانية إنشاء أشكال وأشياء معقدة ويقلل من الوقت المستغرق في العمليات المتكررة، عند تطوير هذه الخوارزميات، يجب إيلاء اهتمام خاص

للتفاصيل التي يجب دراستها: فمحاولة تعميم مشكلة ما قد تتطلب الكثير من ساعات العمل وبالتالي يصبح حلاً غير صالح اقتصاديًا، وفي الوقت نفسه، قد يؤدي تطوير تطبيق لإنشاء عنصر واحد إلى جعل التطبيق غير قابل للاستخدام في ظروف أخرى، لذلك يتعين على المشغل تقييم ما إذا كان من الضروري إجراء هندسة مثالية لكائن BIM أم ما إذا كانت النسخة المبسطة كافية، وبالتالي توفير الوقت والمال أثناء إعادة بناء النموذج (d'agostino, et al., 2019).

في هذا العمل، تمت دراسة إمكانيات تحسين كفاءة الطاقة في المبنى التي توفرها لنا منهجية BIM، وخاصة لمبنى مستشفى قائم، بالإضافة إلى القدرة على تحديد البدائل الممكنة التي تعمل على تحسين جودة وراحة هذا المبنى القائم والمجدد (Javier, et al., 2020)، في هذه الدراسة سيتم تحليل الاستفادة من الضوء الطبيعي وتقليل استهلاك الطاقة في التدفئة والتكييف بهدف جعل المبنى أكثر ملائمة بيئية وأكثر استدامة.

منظمة الصحة العالمية دعت المستشفيات إلى القيام بدور فعال في مكافحة التغير المناخي، وذلك من خلال تطبيق معايير الاستدامة في التصميم والتطوير الشامل لمباني المستشفيات وتحقيق الأهداف العامة المتعلقة بالحفاظ على الموارد، وزيادة فعالية الخدمات الصحية، وتقليل وتقليص التأثيرات السلبية الناتجة عن المستشفيات (النفايات، على سبيل المثال) أو التي تؤثر على هذه المباني (الضوضاء، على سبيل المثال) (Alsawaf, et al., 2022).

المستشفيات اليوم تسبب أضرارًا بيئية كبيرة بسبب استهلاكها العالي للموارد مما يؤدي إلى انبعاث غازات الاحتباس الحراري وإنتاج النفايات، وقد تكون كمية الطاقة والموارد الطبيعية التي تستهلكها المستشفيات في عمليات البناء، وخلال الاستخدام وعند الهدم أعلى من المباني الأخرى (Doğan, et al., 2024).

لذلك يهدف الباحث من خلال هذا البحث إلى دراسة واستكشاف وتكريس إمكانيات التكامل بين أدوات التصميم الخوارزمي –يشار إليها أيضاً بأدوات البرمجة النصية المرئية في بعض الأحيان– ومنصات عمل BIM، واختبار والاستفادة من المعرفة الناتجة عن هذه الدراسة وتطبيقها على دراسة حالة لمبنى قائم: المستشفى الجامعي بحمص، بغرض جعل هذا المبنى أكثر استدامة وأقل عرضة لمخاطر أزمات الطاقة والوقود والتلوث.

2-2 الاستدامة والتصميم المستدام في قطاع البناء والتشييد:

2-2-1 مفهوم الاستدامة:

"تعد الاستدامة في عصرنا الحديث بمنزلة بلسم يعول عليه الأمل ويلجأ إليه عند المآزق"

(كيخيا، وآخرون، 2006)

كانت بدايات ظهور مصطلح الاستدامة عموماً في ثمانينيات القرن العشرين، آنذاك عُرّفت التنمية المستدامة بأنها "القدرة على تلبية احتياجات الجيل الحالي دون المساس بقدرة الأجيال القادمة على تلبية احتياجاتها"، (الأمم المتحدة، 1987)، وكانت الركائز الأساسية الثلاثة للتنمية المستدامة هي: 1- البيئة 2- المجتمع 3- الاقتصاد.

لكن هذا التعريف كان واسعاً جداً، ولم يلق قبولاً أولياً، وذلك لأنه ترك الكثير من الأسئلة دون إجابة، متيحاً بذلك المجال لتفسيرات كثيرة ومختلفة وفي بعض الأحيان متناقضة، أسئلة مثل: ماهي أهداف الاستدامة؟ كيف يمكن تحقيق هذه الأهداف؟ (كيخيا، وآخرون، 2006)

العديد من الناشطين في تلك الفترة رأوا التنمية المستدامة بحد ذاتها فكرة متناقضة، بحسب وجهة نظرهم فإن التنمية بحد ذاتها تنطوي على تدهور البيئة، على سبيل المثال تساءل الاقتصادي البيئي هيرمان دالي[1]: " كيف تستخدم المنشرة بدون الغابة؟"

منذ مؤتمر عام 1987 أقيمت العديد من المؤتمرات المعنية بالاستدامة وتابعة للأم المتحدة، من أبرزها مؤتمر قمة الأرض 1992 في البرازيل ريو دي جانيرو، مؤتمر القاهرة الدولي للسكان والتنمية 1994، مؤتمر الموئل الثاني في إسطنبول 1996، ومؤتمر قمة الأرض في جوهانسبورغ بجنوب إفريقيا 2002، وغيرها الكثير.

ساهمت هذه المؤتمرات تباعاً في توضيح صورة وأهداف الاستدامة، لكن التأثير الأكبر كان لمؤتمر قمة الأمم المتحدة للتنمية المستدامة في نيويورك 2015، فتم وضع خطة للتنمية المستدامة بمشاركة أكثر من 150 من قادة الدول، وتم الموافقة على أهداف هذه الخطة رسمياً، وحملت الخطة اسم: "تغيير

[1] هيرمان دالي Herman Daly 1938- 2022: خبير اقتصاد بيئي أمريكي بشهادة دكتوراه، حاصل على عدة جوائز عالمية أهمها جائزة الكوكب الأزرق. المصدر: موقع ويكيبيديا.

عالمنا: خطة التنمية المستدامة لعام 2030"، وعرفت هذه الخطة 17 هدف بالإضافة لـ 169 غاية لتحقيق لتنمية المستدامة بحلول عام 2030 ميلادي، هذه الأهداف هي:

1- القضاء على الفقر، 2- القضاء على الجوع، 3- الصحة الجيدة والرفاه، 4- التعليم الجيد، 5- المساواة بين الجنسين، 6- المياه النظيفة الصحية، 7- طاقة نظيفة بأسعار معقولة، 8- العمل اللائق ونمو الاقتصاد، 9- الصناعة والابتكار والوسائل الأساسية، 10- الحد من أوجه عدم المساواة، 11- مدن ومجتمعات محلية مستدامة، 12- الاستهلاك والإنتاج المسؤولان، 13- العمل المناخي، 14- الحياة تحت الماء، 15- الحياة على البر، 16- السلام والعدل والمؤسسات القوية، 17- عقد الشراكات لتحقيق الأهداف، هذه الأهداف موضحة في الصورة رقم 3.

صورة 3 أهداف التنمية المستدامة (الجمعية العامة للأمم المتحدة، 2015)

بحسب الموقع الرسمي للأمم المتحدة – تبويب التنمية المستدامة: فإن نصف السكان حول العالم يعيشون في المدن، أي حوالي 3.5 مليار نسمة، والمدن حول العالم تشغل مساحة 3% فقط من المساحة الكلية لليابسة لكنها مسؤولة عما يتراوح بين 60% إلى 80% من استهلاك الطاقة و75% من انبعاثات الكربون.

وفي عام 2016 لوحده؛ تنفس 90% من سكان المناطق الحضرية هواءً غير آمن مما تسبب بأكثر من 4 ملايين حالة وفاة، فيما تعرض أكثر من نصف سكان هذه المناطق إلى مستويات تلوث هواء أكبر بمرتين ونصف من الحد الآمن، لذلك كان البند التالي: "تعزيز التوسع الحضري الشامل للجميع

والمستدام، والقدرة على تخطيط وإدارة المستوطنات البشرية في جميع البلدان على نحو قائم على المشاركة ومتكامل ومستدام، بحلول عام 2030" أحد غايات الهدف رقم 11 مدن ومجتمعات محلية مستدامة. (الأمم المتحدة، 2017)

وبحسب برنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية فإن الأبنية – ومعظمها سكنية – مسؤولة عن 40% من استهلاك الطاقة والمواد حول العالم، بينما يقدر استهلاك قطاع البناء والتشييد للماء بـ 16% ويتوقع أن يزداد الطلب على الطاقة من قطاع البناء بنسبة 50% بحلول عام 2050، وبذلك فإن قطاع البناء لديه الإمكانية الأكبر لتقليل انبعاثات غازات الدفيئة بين جميع القطاعات، وبالإضافة إلى ذلك، تتمتع بيئة البناء بالقدرة على المساهمة بشكل إيجابي في التنمية الاجتماعية والاقتصادية على مدار مجموعة من المؤشرات (UNHabitat, 2017)، مما يتركنا أمام المفهوم التالي:

2-2-2 كيفية تجلي الاستدامة في التجمعات العمرانية:

"إن مفهوم الاستدامة ما كان ليوجد بشموليته وامتداده إلا ليقف حاجزاً أمام سيل المدينة الحديثة بمفاهيمها الاستهلاكية المادية" (كيخيا، وآخرون، 2006)

تم تعريف الاستدامة في التجمعات العمرانية بأنها: "تحسين نوعية الحياة في المدينة كتل مكوناتها وأبعادها البيئية والثقافية والاجتماعية والاقتصادية دون أن يترك هذا عبئا على الأجيال المقبلة" (الأمم المتحدة، 1996)، ولذلك فإن التنمية العمرانية المستدامة تتخطى مجرد كونها مراعاة للبيئة أو الطبيعة، لتكون شاملة لكل النواحي الإنسانية، توضح الصورة 4 أبعاد التنمية العمرانية المستدامة.

من التعريف السابق يمكن استخلاص الأبعاد الأساسية للتنمية العمرانية المستدامة:

صورة 4 أبعاد استدامة التجمعات العمرانية (عبد الظاهر، وآخرون، 2022)

البعد البيئي: ويعني إدارة مسؤولة للموارد الطبيعية والحفاظ على مصالح الأجيال القادمة وتلبية حاجة المجتمعات الحالية بشكل يصون العلاقة بين الإنسان والمحيط الحيوي.

البعد الاقتصادي: تخصيص الموارد وإدارتها بشكل جيد مع تدفق للاستثمار وأن يكون النمو الاقتصادي ملائم للبيئة وتوزيع استعمالات الأراضي وسياسات الإسكان وتقليل الهجرة من الريف إلى المدينة ووقف تدمير الأنظمة البيئية ذات الأهمية الحيوية، والاستخدام المتواصل للمصادر المتجددة للمياه والطاقة.

البعدين الاجتماعي والثقافي: يتضـــمنان تحســـين ظروف البيئية والاجتماعية للمناطق ويركز على تنمية واستخدام الموارد البشرية في عملية التنمية والتطوير واحترام حقوق الإنسان وبناء حضرة بشرية ذات عدالة في توزيع الدخل والتنوع الثقافي والاســـتقرار في الأنظمة الاجتماعية وتحســـين الرفاهية الاجتماعية واحترام التنوع الثقافي البشري مع مراعاة البعد المكاني ومجالات تأثير النشاطات وتحسين وتطوير الفكر والإبداع وحماية الهوية والتراث العمراني. (عبد الظاهر، وآخرون، 2022)

يمكن القول إن التنمية العمرانية المستدامة تلامس جميع النواحي التي يعيشها الإنسان في مجتمعه في آن معاً، ولا يصح تحقيق بعد من هذه الأبعاد من خلال الإضرار ببعد آخر، حيث أن تحقيق تنمية بيئية من خلال الإضرار بالاقتصاد لا يمكن اعتباره تنمية مستدامة؛ والعكس صحيح، لذلك تبرز الحاجة إلى وضع أسس ومعايير واضحة لهذه الاستدامة وضمان تحقيق أهدافها، وهذه المعايير يمكن تصنيفها وفق أهداف التنمية المستدامة للتجمعات العمرانية وفق الآتي:

معايير تحقيق الاستدامة الاقتصادية: 1) الحفاظ على الطاقة، 2) الحفاظ على المياه، 3) الحفاظ على المواد، 4) الإدارة المستدامة للنفايات، 5) استخدام التكنولوجيا في مختلف القطاعات.
معايير تحقيق الاستدامة الاجتماعية والثقافية: 1) توافر الخدمات، 2) التعبير عن الثقافة المحلية، 3) التنمية الاجتماعية.
معايير تحقيق الاستدامة البيئية: 1) التخطيط المستدام للموقع، 2) احترام البيئة الطبيعية، 3) تحقيق النقل المستدام، 4) التصميم المعماري المستدام للأبنية.
وفي هذا البحث سنركز على المعيار رقم 4 من معايير تحقيق الاستدامة البيئية، ألا وهو التصميم المعماري المستدام للأبنية، ماهية الأبنية المستدامة؟ كيف يمكن تصنيف المبنى بأنه مستدام؟ وما هي الاشتراطات والجوانب التي تعنى بها استدامة المباني؟

2-3 المباني المستدامة واشتراطاتها:

2-3-1 المباني المستدامة:

هي تلك الأبنية التي تصمم وتدار بطرق تهدف إلى تقليل التأثير السلبي البيئي بالإضافة لرفع الكفاءة في استخدام الموارد وتوفير بيئة صحية للمستخدمين، والمساهمة في التنمية الاقتصادية والاجتماعية المستدامة. (ربيع، وآخرون، 2023)

فيما تختلف وتتنوع أنظمة التصنيف وكودات معايير الأبنية المستدامة، فإن معظم هذه الأنظمة تتفق فيما بينها على مجموعة من **أبرز معايير واشتراطات استدامة المبنى:**

كفاءة الطاقة (الكفاءة الطاقوية أو الطاقية): تصميم الأبنية لتكون فعالة في استخدامها للطاقة، من خلال استخدام أنظمة عزل حراري جيد والاستفادة من إيجابيات الجو العام لمحيط المبنى وتلافي سلبياته(ICC, 2018) (leed , 2018) (BREEAM, 2014) (CASBEE, 2014).

الإدارة المستدامة للموارد: من خلال التحول لاستخدام مواد مستدامة وقابلة لإعادة التدوير، وتقليل النفايات(ICC, 2018) (leed , 2018) (CASBEE, 2014) (GSAS, 2019).

تحليل دورة حياة المبنى: من خلال تحليل عمليات المبنى وتأثيرها على البيئة المحيطة (BREEAM, 2014) (GSAS, 2019).

جودة البيئة الداخلية: تراعي الأبنية المستدامة سلامة البيئة الداخلية وذلك بتوفير جودة هواء صحية للمستخدمين وضبط التلوث الداخلي (BREEAM, 2014) (leed , 2018) (ICC, 2018) (CASBEE, 2014) (GSAS, 2019).

كفاءة المياه (الكفاءة المائية): وتعنى بالممارسات المتبعة في المبنى للحفاظ على المياه ونقاوتها وعدم إساءة استخدامها أو هدرها (ICC, 2018) (BREEAM, 2014) (leed , 2018).

تستخدم المعايير السابقة وغيرها من المعايير في أدوات ونظم لقياس ممارسات وإجراءات الاستدامة المتبعة في المبنى المدروس أو المراد تقييمه، وكل معيار من المعايير السابقة يحمل قيمة تشير إلى أي مدى تحقق الممارسات المتبعة في المبنى مطابقة لأهداف الاستدامة في المباني، وعلى مر العقود السابقة نشأت عدة مؤسسات وحركات حول العالم تعنى بوضع معايير ونظم لقياس وتقييم استدامة مبنى أو منشأة.

2-3-2 أبرز أنظمة وأدوات تقييم استدامة المباني والمنشآت:

منذ بدايات التصميم المستدام للمباني، برزت الحاجة لأدوات وأنظمة لتقييم درجة اتباع مبنى ما لمعايير المباني المستدامة، وتسابقت العديد من المؤسسات والجمعيات حول العالم لوضع هذه الأدوات بشكل علمي دقيق وغير منحاز يسهل تطبيقه وقياسه ومقارنته.

أبرز هذه الأدوات حول العالم:

2-3-2-1طريقة BREEAM:

طريقة التقييم البيئي لمؤسسة أبحاث البناء، وهي أول طرق تقييم المباني المستدامة ظهرت لأول مرة في عام 1990، وهي صادرة عن مؤسسة أبحاث البناء في المملكة المتحدة، تعتبر هذه الطريقة من الطرق الرائدة في مجالها إذ يحمل أكثر من 550.000 مبنى حول العالم شهادات الاستدامة من BREEAM.

من خلال استخدام طريقة BREEAM يستطيع المطورون استيضاح مدى التأثير البيئي للمبنى، ومدى التزامه بالممارسات البيئية خلال تصميمه وتشغيله، كما يشير التقييم بموجب BREEAM أيضًا إلى أنه تم النظر في تقليل تكاليف التشغيل وتحسين بيئات المعيشة والعمل داخل المبنى، وذلك من خلال تقييم واعتماد مقياس ضمن 10 مجالات رئيسية هي:

الإدارة: معاييرها: التشغيل، تأثيرات موقع الإنشات، الأمن. **الصحة والسلامة:** معاييرها: الإنارة الطبيعية، الراحة الحرارية للمستخدمين، الصوت، جودة الماء والهواء الداخليين، الإنارة. **الطاقة:** معاييرها: انبعاثات الكربون، تقنيات صفرية الكربون، المراقبة الفرعية للطاقة، أنظمة كفاءة طاقة المبنى. **النقل:** معاييرها: الوصل مع وسائل النقل العامة، مرافق للمشاة والدراجات، مخططات ومعلومات التنقل. **الماء :** معاييرها: استهلاك الماء، اكتشاف التسريبات، إعادة تدوير واستخدام المياه. **النفايات:** معاييرها: مخلفات البناء، تجمعات إعادة التدوير، مرافق إعادة التدوير. **التلوث:** معاييرها: استخدام المبردات وتسربها، الخطر الغذائي، انبعاثات ثاني أوكسيد النتروجين، تلوث مصادر المياه، التلوث الضوئي والصوتي الخارجي. **استخدام الأراضي والنظام البيئي:** معاييرها: اختيار الموقع، حماية النظام البيئي، تحسين القيمة البيئية. **المواد:** معاييرها: دورة حياة المواد المستخدمة، إعادة استخدام المواد، التوريد

المسؤول، المتانة. **الإبداع:** معاييرها: مستويات التفوق بالإداء، استخدام محترفين مرخصين في BREEAM، تقنيات وعمليات بناء جديدة.

نرى في الصورة رقم 5 هذه المجالات مرتبة ومعها مجالات الفرعية أيضاً.

Management • Commissioning • Construction site impacts • Security	**Waste** • Construction waste • Recycled aggregates • Recycling facilities
Health and Wellbeing • Daylight • Occupant thermal comfort • Acoustics • Indoor air and water quality • Lighting	**Pollution** • Refrigerant use and leakage • Flood risk • NO_x emissions • Watercourse pollution • External light and noise pollution
Energy • CO_2 emissions • Low or zero carbon technologies • Energy sub metering • Energy efficient building systems	**Land Use and Ecology** • Site selection • Protection of ecological features • Mitigation/enhancement of ecological value
Transport • Public transport network connectivity • Pedestrian and Cyclist facilities • Access to amenities • Travel plans and information	**Materials** • Embodied life cycle impact of materials • Materials re-use • Responsible sourcing • Robustness
Water • Water consumption • Leak detection • Water re-use and recycling	**Innovation** • Exemplary performance levels • Use of BREEAM Accredited Professionals • New technologies and building processes

صورة 5 المجالات الرئيسية والمعايير المتبعة في تقييم (BREEAM, 2014)

يتم إعطاء النقاط على المجالات الرئيسية جنبًا إلى جنب مع التصنيف البيئي لحساب درجة إجمالية نهائية من أجل توفير تصنيف مؤقت للمبنى في مرحلة التصميم، وبمجرد الإنشاء يمكن تحديد التصنيف النهائي للمبنى، بعد التقييم وإصدار شهادة الامتثال النهائية. يتم منح المباني تصنيفًا على مقياس من "مقبول" أو "جيد" أو "جيد جدًا" أو "ممتاز" أو "متميز"، كما هو موضح في الجداول 2 و3 و4.

BREEAM Rating	% score
Outstanding	≥ 85
Excellent	≥ 70
Very good	≥ 55
Good	≥ 45
Pass	≥ 30
Unclassified	<30

جدول 2 جدول التصنيف وفق BREEAM (BREEAM, 2014)

Issue		New Assessment Criteria	Number of Credits	Cost Implications
Man 02	Life cycle cost and service life planning	Report the capital cost for the building £k/m²	1	No additional cost expected for provision of cost information
Hea 03	Safe containment in laboratories	N/A	2	Not applicable to this office case study
Hea 04	Thermal comfort	Incorporate different climate change projections into modelled scenarios	1	Limited additional cost if included within scope of dynamic simulation modelling
Hea 06	Safety and security	Performance of Security Needs Assessment by Suitably Qualified Security Specialist (SQSS)	1	Additional fees for design team time and involvement of a SQSS, e.g. a Police Architectural Liaison Officer (ALO) (estimated 2 days)
Ene 04	Low Carbon Design	Passive design and free cooling analysis	1	Additional fees for architect's and engineer's time (estimated 5-10 days)
Mat 03	Responsible sourcing of materials	Additional activity to include a sustainable procurement plan	1	No additional fees or other costs if included within contractors existing policy documents
Mat 05	Designing for durability and resilience	Assessment of options and design of features to protect building where vulnerable	1	Additional fees for design team time (estimated 1 day). There may be some costs associated with specific measures where gaps are identified.
Mat 06	Material efficiency	Resource efficiency design reviews by architect	1	Additional fees for design team time (estimated 2 days). Any material cost savings identified by the review are likely to exceed the cost of undertaking the analysis.
Wst 05	Adaptation to climate change	Development of climate change adaptation strategy	1	Additional fees for design team time (estimated 5 days)
Wst 06	Functional adaptability	Development of adaptability strategy	1	Additional fees for design team time (estimated 2 days)

جدول 3 أسس توزيع النقاط على معايير الاستدامة المتبعة في المبنى *(BREEAM, 2014)*

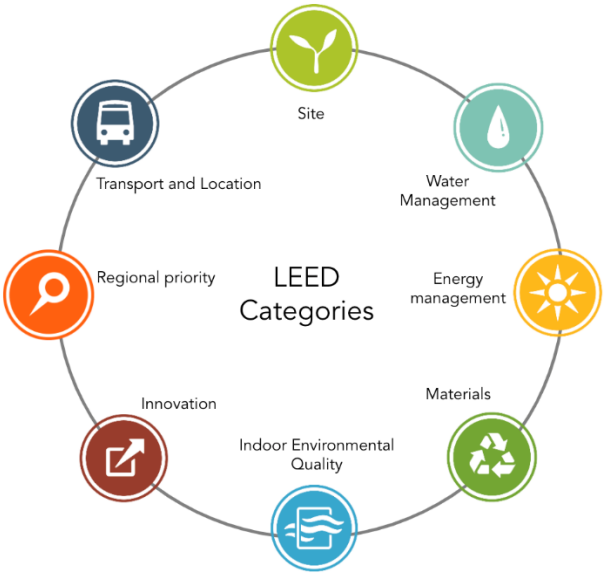
BREEAM section	Credits achieved	Credits available	Credits achieved, %	Section weighting (fully fitted)	Section score
Management	10	20	50.00%	0.12	6.00%
Health and wellbeing	17	21	80.95%	0.14	11.33%
Hazards	1	1	100.00%	0.01	1.00%
Energy	16	32	50.00%	0.19	9.50%
Transport	5	11	45.45%	0.08	3.63%
Water	5	9	55.56%	0.06	3.33%
Materials	10	14	71.43%	0.125	8.92%
Waste	3	13	23.07%	0.075	1.73%
Land use and ecology	5	5	100.00%	0.10	10.00%
Pollution	9	12	75.00%	0.10	7.44%
Innovation	2	10	20.00%	0.10	2.00%
Final BREEAM score					64.88%
BREEAM rating					VERY GOOD

جدول 4 جدول نتائج التقييم النهائي وفق *(BREEAM, 2014)*

2-2-3-2 نظام LEED:

ظهر هذا النظام لأول مرة في عام 1998، مقدماً من قبل مجلس البناء الأخضر الأمريكي[2]، ويعتبر من أكثر أنظمة تقييم الاستدامة رواجاً حول العالم، إذ بحلول عام 2023 كان هناك بالفعل أكثر من 105.000 مبنى حاصل على شهادة LEED، وبمساحة إجمالية أكثر من 2600 كيلومتر مربع.

يوزع نظام LEED نقاط استدامة المبنى على ثمانية زمر أساسية، هذه الزمر هي: المواقع العامة، الكفاءة المائية، إدارة الطاقة، المواد والموارد، جودة البيئة الداخلية، الإبداع، الأهمية الإقليمية، النقل والموقع، هذه الزمر موضحة في الصورة رقم 6 (leed , 2018).



صورة 6 الزمر الرئيسية للتقييم وفق LEED (lightart.com, 2021)

كل واحدة من هذه الزمر تتضمن مجموعة من المعايير التي يتم تقييمها على مقياس من 1 إلى 3، ويتم جمع هذه القيم للحصول على النتيجة النهائية للزمر ومنها النتيجة النهائية للمبنى ككل، كل مبنى يمكن أن يحصل على نتيجة أقصاها 110 نقاط كما يتضح في الجدول 5، ويتطلب منح شهادة LEED لمبنى ما على الأقل حصوله على 40 نقطة كحد أدنى في المجموع الكلي، وعند حد 50 نقطة يتم منح شهادة LEED الفضية، ثم الذهبية عند 60 نقطة، والبلاتينية عند 80 كما هو موضح في الصورة رقم 7.

[2] المجلس الأمريكي للبناء الأخضر: تأسس عام 1993 وهو منظمة غير ربحية تهدف إلى تعزيز الاستدامة في تصميم وتشييد وتشغيل المباني.

1000063175

Zulekha Hospital

LEED O+M: Existing Buildings (v2009) — **PLATINUM, AWARDED SEP 2016**

SUSTAINABLE SITES		AWARDED: 19 / 26
SSc1	LEED certified design and construction	0 / 4
SSc2	Building exterior and hardscape Mgmt plan	1 / 1
SSc3	Integrated pest Mgmt, erosion control, and landscape management ...	1 / 1
SSc4	Alternative commuting transportation	15 / 15
SSc5	Site development - protect or restore open habitat	0 / 1
SSc6	Stormwater quantity control	0 / 1
SSc7.1	Heat island effect - nonroof	1 / 1
SSc7.2	Heat island effect - roof	1 / 1
SSc8	Light pollution reduction	0 / 1

WATER EFFICIENCY		AWARDED: 6 / 14
WEp1	Minimum indoor plumbing fixture and fitting efficiency	REQUIRED
WEc1	Water performance measurement	1 / 2
WEc2	Additional indoor plumbing fixture and fitting efficiency	5 / 5
WEc3	Water efficient landscaping	0 / 5
WEc4	Cooling tower water Mgmt	0 / 2

ENERGY & ATMOSPHERE		AWARDED: 27 / 35
EAp1	Energy efficiency best Mgmt practices - planning, documentation ...	REQUIRED
EAp2	Minimum energy efficiency performance	REQUIRED
EAp3	Fundamental refrigerant Mgmt	REQUIRED
EAc1	Optimize energy efficiency performance	18 / 18
EAc2.1	Existing building commissioning - investigation and analysis	2 / 2
EAc2.2	Existing building commissioning - implementation	2 / 2
EAc2.3	Existing building commissioning - ongoing commissioning	2 / 2
EAc3.1	Performance measurement - building automation system	1 / 1
EAc3.2	Performance measurement - system-level metering	0 / 2
EAc4	On-site and off-site renewable energy	0 / 6
EAc5	Enhanced refrigerant Mgmt	1 / 1
EAc6	Emissions reduction reporting	1 / 1

MATERIAL & RESOURCES		AWARDED: 10 / 10
MRp1	Sustainable purchasing policy	REQUIRED
MRp2	Solid waste Mgmt policy	REQUIRED
MRc1	Sustainable purchasing - ongoing consumables	1 / 1
MRc2.1	Sustainable purchasing - electric-powered equipment	1 / 1
MRc2.2	Sustainable purchasing - furniture	1 / 1
MRc3	Sustainable purchasing - facility alterations and additions	1 / 1
MRc4	Sustainable purchasing - reduced mercury in lamps	1 / 1
MRc5	Sustainable purchasing - food	1 / 1
MRc6	Solid waste Mgmt - waste stream audit	1 / 1

MATERIAL & RESOURCES		CONTINUED
MRc7	Solid waste Mgmt - ongoing consumables	1 / 1
MRc8	Solid waste Mgmt - durable goods	1 / 1
MRc9	Solid waste Mgmt - facility alterations and additions	1 / 1

INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY		AWARDED: 12 / 15
EQp1	Minimum IAQ performance	REQUIRED
EQp2	Environmental Tobacco Smoke (ETS) control	REQUIRED
EQp3	Green cleaning policy	REQUIRED
EQc1.1	IAQ best Mgmt practices - IAQ mana...	1 / 1
EQc1.2	IAQ best Mgmt practices - outdoor air delivery mo...	0 / 1
EQc1.3	IAQ best Mgmt practices - increased ventilation	0 / 1
EQc1.4	IAQ best Mgmt practices - reduce particulates in ...	1 / 1
EQc1.5	IAQ best Mgmt practices - IAQ mana...	0 / 1
EQc2.1	Occupant comfort - occupant survey	1 / 1
EQc2.2	Controllability of systems - lighting	1 / 1
EQc2.3	Occupant comfort - thermal comfort monitoring	1 / 1
EQc2.4	Daylight and views	1 / 1
EQc3.1	Green cleaning - high performance green cleaning program	1 / 1
EQc3.2	Green cleaning - custodial effectiveness assessment	1 / 1
EQc3.3	Green cleaning - purchase of sustainable cleaning products and materia...	1 / 1
EQc3.4	Green cleaning - sustainable cleaning equipment	1 / 1
EQc3.5	Green cleaning - indoor chemical and pollutant source control	1 / 1
EQc3.6	Green cleaning - indoor integrated pest Mgmt	1 / 1

INNOVATION		AWARDED: 6 / 6
IOc1	Innovation in operations	1 / 1
IOc2	LEED Accredited Professional	1 / 1
IOc3	Documenting sustainable building cost impacts	1 / 1

REGIONAL PRIORITY CREDITS		AWARDED: 4 / 4
EAc1	Optimize energy efficiency performance	1 / 1
EAc2.2	Existing building commissioning - implementation	1 / 1
EAc2.3	Existing building commissioning - ongoing commissioning	1 / 1
EAc3.2	Performance measurement - system-level metering	0 / 1
WEc2	Additional indoor plumbing fixture and fitting efficiency	1 / 1

INTEGRATIVE PROCESS CREDITS		AWARDED: 0 / 2
IPpc89	Social equity within the community	REQUIRED
IPpc90	Social equity within the operations and maintenance staff	REQUIRED

TOTAL	84 / 110

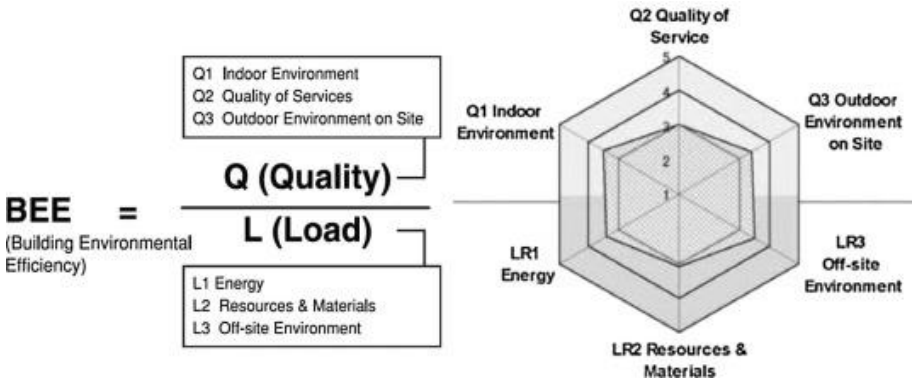
جدول 5 قائمة نقاط الاستدامة لمستشفى زليخة في الإمارات العربية وفق LEED (USGBC, 2021)

صورة7 رتب شهادات LEED (gba.org, 2022)

2-3-2-3 نظام CASBEE:

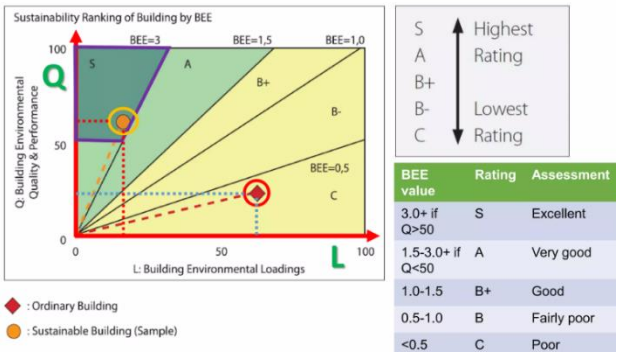
ويعني نظام التقييم الشامل لكفاءة البيئة المبنية، تم إنشاؤه من قبل لجنة بحثية تسمى الاتحاد الياباني للبناء المستدام وأطلق كأداة أول مرة في عام 2002، لكنه أصبح الآن يتكون من عدة أدوات تقييم مخصصة لمختلف أحجام المشاريع، يراعي هذا النظام أربع حقول رئيسية للتقييم: كفاءة الطاقة، كفاءة الموارد، البيئة المحلية، البيئة الداخلية. (CASBEE, 2014)

يتميز نظام CASBEE بأنه مفصل وشامل، ويركز على مستخدمي المباني، فعملية التقييم تأخذ بعين الاعتبار جودة الخدمة التي يقدمها المبنى لمستخدميه، ويعمل النظام وفق آلية تقسيم عناصر التقييم إلى قسمين: 1- الجودة البيئية للمبنى، 2- الحمل البيئي للمبنى، ثم تقييم كل معيار من معايير الاستدامة في كل قسم، يمكننا الحصول على النتيجة النهائية للكفاءة البيئية للمبنى وفق المعادلة المبينة بالصورة رقم 8:



صورة 8 معادلة الكفاءة البيئية للمبنى (CASBEE, 2014)

وبحسب النتيجة النهائية يتم تصنيف المبنى إلى واحدة من خمس زمر هي: (ضعيف-ضعيف نوعاً ما- جيد- جيد جداً- ممتاز) (CASBEE, 2014) كما يتضح في الصورة رقم 9.



BEE value	Rating	Assessment
3.0+ if Q>50	S	Excellent
1.5-3.0+ if Q<50	A	Very good
1.0-1.5	B+	Good
0.5-1.0	B	Fairly poor
<0.5	C	Poor

صورة9 التصنيف النهائي للمبنى (CASBEE, 2014)

2-3-2-4 نظام GSAS:

ويعني "نظام تقييم الاستدامة العالمي"، تم تطويره في عام 2007 من قبل المنظمة الخليجية للبحث والتطوير بالتعاون مع جامعة بنسلفانيا وجهات أخرى، إن إطار عمل GSAS شامل وصمم ليتبع نهج دورة حياة متكاملة لتحسين أداء الاستدامة للبيئة المبنية. (GSAS, 2019)

يتناول GSAS تأثيرات الاستدامة أثناء ثلاث مراحل هي: التصميم، والبناء والتشغيل للمباني ومشاريع البنية التحتية، كما هو موضح في الجدول رقم 6.

جدول6 مراحل المشاريع والشهادات وفق(GSAS, 2019) GSAS

ينظر الإطار في ثماني فئات على المستوى الكلي للتركيز متعدد الأبعاد على الاستدامة، هذه الفئات هي: الاتصال الحضري، الموقع، الطاقة، المياه، المواد، البيئة الداخلية / الخارجية، القيمة الثقافية والاقتصادية، والإدارة والعمليات، كما نرى هذه الفئات موضحة في الصورة رقم 10 (GSAS, 2019).

صورة10 فئات استدامة المباني وفق (GSAS, 2019)

في كل واحدة من الفئات السابقة عدة معايير يتم تقييم المبنى بناءً عليها على مقياس من −1 إلى +3 في كل معيار، ثم يتم وزن هذا المقياس بما يتناسب مع أهمية كل فئة (يتم ضرب النتائج بمعامل تصحيح) وتجمع القيم المحققة في جميع الفئات لتحديد تصنيف المبنى: من −1 رفض الشهادة، إلى +3 تقييم بست نجوم، كما هو موضح في الجدول رقم 7.

Levels	Percentage of the Total Area that is Over-Lit by more than 20% (X) Indicator
-1	Illuminance and uniformity levels failed to meet the IESNA standards.
0	X > 30%
1	20% < X ≤ 30%
2	10% < X ≤ 20%
3	X ≤ 10%

جدول 7 تصنيف المبنى حسب النتيجة النهائية(GSAS, 2019)

كما يدرس نظام GSAS استدامة المباني بحسب القطاع الذي يتبع له المبنى المدروس، ويصنف الأبنية إلى ست قطاعات رئيسية: تجاري، سكن، صحة، نقل، رياضي، إدارة التشييد موضحة في جدول 8.

GSAS Rating Schemes					
Design & Build					Construction Management
Standard Building Typologies (BT)	Districts & Infrastructure (D&I)	Healthcare	Railways	Sports	Construction Management (CM)
Commercial	Neighbourhood	Healthcare	Railways	Sports	Construction Management
Single Residential	Sports				
Group Residential	Healthcare				
Education	Industrial				
Mosques	Entertainment				
Hotels	Education				
Light Industry	Transportation				
Workers Accommodation	Parks				

جدول 8 جدول تقييم المباني حسب القطاعات (GSAS, 2019)

لمع نجم نظام GSAS وبرزت أهميته في عام 2016 عندما أقر الاتحاد الدولي لكرة القدم (الفيفا) رسمياً باعتماد نظام GSAS باعتباره نظام تقييم الاستدامة للملاعب الثمانية المقرر أن تستضيف كأس العالم لكرة القدم 2022 في قطر.

2-3-2-5 أنظمة تقييم عالمية وإقليمية أخرى ذات أهمية:

***نظام تقييم PRS:** أو ما يعرف بنظام تقييم اللؤلؤ، وهو نظام تقييم المباني الخضراء الذي طوره مجلس أبو ظبي للتخطيط العمراني كجزء من مبادرة التنمية المستدامة "استدامة". ويمكن تطبيق النظام على المجتمعات والمباني والفلل، مع متطلبات مختلفة لكل منها، كان الظهور الأول لنظام تقييم اللؤلؤ في 2010، وينقسم النظام إلى: مباني وفيلات ومجتمعات، كل منها بمقياس يتراوح من لؤلؤة واحدة إلى ثلاث لآلئ.

***نظام GREEN STAR:** هو نظام تصنيف استدامة طوعي للمباني في أستراليا. تم إطلاقه في عام 2003 من قبل مجلس المباني الخضراء في أستراليا (GBCA)، يقوم نظام تصنيف Green Star بتقييم استدامة المشاريع في جميع مراحل دورة حياة البيئة المبنية. يمكن تحقيق التصنيفات في مرحلة التخطيط للمجتمعات، أثناء مرحلة التصميم أو البناء أو تجهيز المباني، أو أثناء مرحلة التشغيل الجارية.

***نظام HQE:** يعتبر معيار الجودة البيئية العالية أو (المعيار البيئي عالي الجودة) معيارًا للبناء الأخضر في فرنسا، ويستند إلى مبادئ التنمية المستدامة التي تم تحديدها لأول مرة في قمة الأرض عام 1992، يتم التحكم في المعيار من قبل جمعية الجودة البيئية العالية (ASSOHQE) ومقرها باريس.

***نظام QSAS:** نظام تقييم الاستدامة في قطر هو نظام لإصدار شهادات المباني الخضراء تم تطويره لدولة قطر، الهدف الأساسي لنظام تقييم الاستدامة في قطر هو إيجاد بيئة مبنية مستدامة تقلل من التأثير البيئي مع تلبية الاحتياجات الإقليمية والبيئة القطرية.

2-4 الاستدامة وتقنيات BIM:

2-4-1 نمذجة معلومات البناء BIM:

كانت الرسومات ولا تزال الوسيلة الأساسية لتوصيل المعلومات اللازمة للبناء، ومع ذلك لطالما تعرضت لانتقادات بسبب عدم دقتها وأخطائها التي تؤدي إلى الإحباط والتكاليف غير المتوقعة والتأخير والدعاوى القضائية، وبالرغم من مشاكلها إلا أن الرسومات لا تزال تمثل الخيار الافتراضي لطريقة العرض سواء بشكل رقمي أو ورقي، وذلك لسلاسة التعامل معها في السياق القانوني والممارسة، لكن يمكن وصف الرسومات ثنائية الأبعاد، بأنها أسلوب عرض خال من الحياة، وعلى العكس تماماً فإن BIM لا يعد بديلاً فقط للرسومات ثنائية الأبعاد، بل يمكن أن يكون مصدرًا للمعلومات النابضة بالحياة عن المبنى. (Disney, 2024)

نمذجة معلومات البناء هو نهج ذكي للتصميم والبناء، متجذر في التقدم التكنولوجي لأنظمة النمذجة الرقمية، حيث يتم إنشاء نموذج افتراضي دقيق ثلاثي الأبعاد لمبنى (أو مجموعة من المباني)، يحتوي على المعلومات الفراغية (الحجم والشكل) بالإضافة إلى جميع البيانات ذات الصلة اللازمة لمحاكاة عملية البناء بالكامل رقميًا قبل البناء الفعلي. (Feist, et al., 2016)

والتعريف الأكاديمي لنمذجة معلومات البناء BIM هو "عملية إنشاء تمثيل رقمي يمكن إدارته، ومشاركته للبيانات المادية والوظيفية التي تمثل المباني خلال كامل دورة حياتها" (Park, et al., 2010).

ويعد مفهوم نمذجة معلومات البناء –BIM– من أهم الفلسفات الحديثة في عالم الهندسة، يتم استخدام هذا النظام لحل المشاكل الناتجة عن نظام الرسومات التقليدي كما يحتفظ منهج BIM بالمعلومات المتعلقة بالبناء في صيغة رقمية ويسهل عملية نقل وتحديث البيانات إلى بيئة ثلاثية الأبعاد (عربش، وآخرون، 2023).

أحد الجوانب المهمة والتي تعرّف BIM هو التحول من منظور ثنائي الأبعاد إلى منظور ثلاثي الأبعاد، وكما ذكرنا من قبل، يستلزم BIM إنشاء نموذج ثلاثي الأبعاد افتراضي يمثل المبنى، وعلى عكس أنظمة النمذجة الحاسوبية التقليدية التي لا تخلق سوى النموذج الفراغي (حجم وشكل)، فإن BIM ينتج تمثيلات رقمية ذكية لمكونات المبنى تحتوي على كل من المعلومات الهندسية وسمات البيانات. تتكون سمات البيانات هذه من معلومات حول ماهية مكونات المبنى هذه، وما هي مكوناتها، وكيف ينبغي أن تتصرف (بنيويًا أو بيئيًا)، وكم تكلف، من بين أمور أخرى (Feist, et al., 2016).

ومن أهم ما يميز تقنيات BIM:

1- الغنى بالمعلومات.

2- يوفر قاعدة من أجل دمج المعلومات المبعثرة.

3- يتميز بالتمثيل البصري المعتمد على المتغيرات.

4- المساعدة بدعم القرار من خلال قاعدة المعرفة المخزنة على BIM. (عربش، وآخرون، 2023) ويتم استخدام هذه المعلومات المدمجة في النموذج للمساهمة في إنتاج أبعاد جديدة للمبنى، أصبحت تعرف لاحقاً بأبعاد BIM.

2-4-1-1 أبعاد BIM:

منذ أوائل أيام تقنية BIM، جرت الكثير من المقارنات بينه وبين أسلوب الرسم بمساعدة الحاسوب CAD، وكثر ذكر القدرات ثلاثية الأبعاد الخاصة بتقنيات BIM من أجل الإيحاء بالتفوق على CAD، وتم انتقاد CAD لأنه كان يستخدم بشكل أساسي لإنتاج الإسقاطات ثنائية الأبعاد التقليدية، مثل مخططات الطوابق والمقاطع والواجهات، ومن المثير للاهتمام أن BIM كان يستخدم أيضاً في هذه المخططات، ومع ذلك، سرعان ما تجاوزت BIM الأبعاد الثلاثية وأصبحت nD: تمت إضافة الوقت كبعد رابع والتكلفة كبعد خامس، على الرغم من اقتراح معلومات الموارد (لإدارة البناء) أيضاً كبعد خامس، واختلفت الأبحاث فيما وراء البعد الخامس وكثرت تسميات الأبعاد التي تليه، مثل اختيار البعد السادس ليكون دورة حياة المشروع أو إدارة المنشآت أو وضع البناء As Built وغيرها، تبرز الاستدامة كالبعد السادس لتقنيات BIM، كما تقترح بعض الأبحاث وجود بعد ثامن وهو منع الحوادث. (Koutamanis, 2020)

والمقصد من البعد هنا هو مقصد مجازي ولا يجوز أخذه بشكل حرفي أو رياضي، وإنما يقصد به قدرة إضافية على معالجة البيانات والمعلومات، وأي بعد أعلى من البعد الرابع فهو يشير إلى القدرات اللازمة لحساب جوانب مختلفة على أساس الخصائص في نمذجة معلومات البناء، ويجب أن يكون لدى مستخدمي BIM فهم واضح لكيفية تعيين هذه الخصائص. (Koutamanis, 2020)

من مراجعة الآراء السابقة يتبين لدينا أن تقنية BIM تشمل التحكم والتوجيه وعرض وإدارة كل المعلومات المولدة خلال تطور المشروع، بالإضافة لعرض والتحكم وإدارة الإنشاء وعمليات الصيانة المستقبلية للمرافق في مراحل البعد الرابع والخامس والسادس والسابع (4D, 5D, 6D, 7D)، وفق الجدول 9.

أبعاد BIM	الخصائص	الجوانب المطورة في النموذج
2D	التوثيق الأساسي ثنائي الأبعاد	المخططات التقليدية ثنائية الأبعاد
3D	نموذج ثلاثي الأبعاد	توثيق مرئي في الأبعاد الثلاثة، خصائص الأجسام
4D	برمجة حطة التنفيذ	محاكاة لأطوار المشروع، محاكاة عمليات التركيب، تصميم خطة التنفيذ
5D	تخطيط ومراقبة التحكم بالكلفة	تقدير ميزانية النفقات، حسابات تكلفة المواد والعمالة
6D	الاستدامة وكفاءة الطاقة	تحليل الطاقة، تحاليل عمليات المحاكاة لمقترحات كفاءة الطاقة والاستدامة البيئية
7D	إدارة المرافق	تحليل استراتيجيات دورة حياة المشروع، نموذج خطة البناء والتشغيل والصيانة

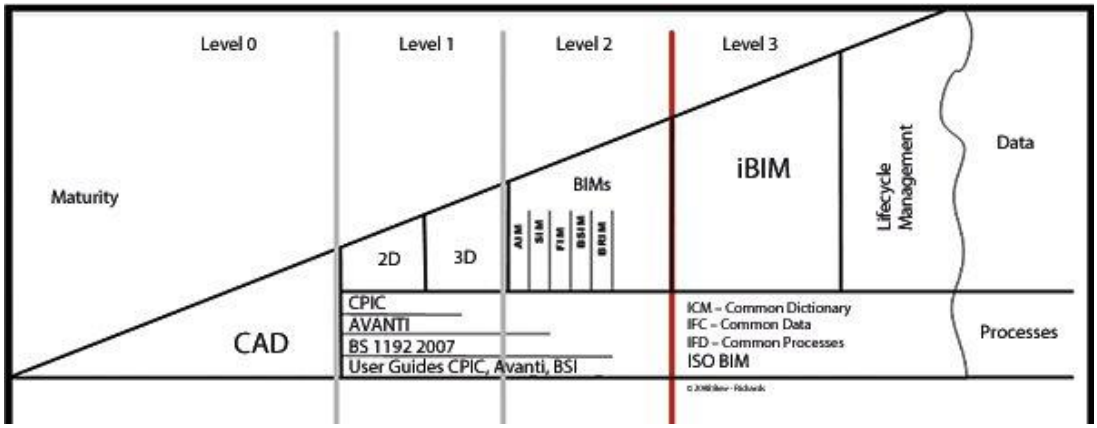
جدول 9خصائص وجوانب أبعاد نمذجة معلومات البناء (Javier, et al., 2020)

بعد النجاح الذي حققه BIM في قطاع الهندسة والتشييد، يمكننا أن نؤكد أن هناك اتفاقًا عالميًا حول BIM باعتباره مستقبل ممارسات صناعة AEC، على الرغم من أن تطبيق BIM لا يزال قيد التنفيذ ويختلف باختلاف الدولة، فقد غيرت تقنيات BIM من "قواعد اللعب" في عام التشييد، وازدادت الأبحاث التي تتناول المستويات المختلفة لتطبيقها، والتي عرفت لاحقاً بـ "مستويات نضج BIM" (Abdelalim, et al., 2023)

2-1-4-2 مستويات نضج BIM:

بادئ ذي بدء، إن عملية تطبيق BIM هي ماراثون وليست سباقًا قصيرًا، يشير هذا إلى أنه نظرًا لوجود خطر التطبيق الخاطئ، فإن الانتقال إلى BIM يستغرق وقتًا لكل مشروع أو منظمة أو حتى صناعة في أي بلد. (Abdelalim, et al., 2023)

"مستوى نضج BIM" هو مصطلح يستخدم لتحديد درجة التعاون وتبادل المعلومات بين أصحاب المصلحة المختلفين في أي مشروع، ويعرف نضج BIM بأنه الجودة ودرجة التميز في تقديم النموذج (Abiola, et al., 2022)، المستويات الأربعة للتعاون المشترك التي يحددها نموذج النضج هي مستوى BIM 0، ومستوى BIM 1، ومستوى BIM 2، ومستوى BIM 3 على التوالي كما هو موضح في صورة 11 أدناه.



صورة 11 مستويات نضج BIM (Dakhil, et al., 2015)

المستوى 0: هو استخدام CAD غير المُدار.

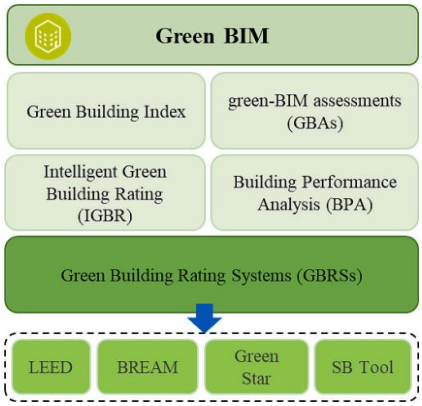
المستوى 1: هو استخدام CAD المُدار بتنسيق ثنائي الأبعاد أو ثلاثي الأبعاد حيث تستخدم الشركة معايير الصناعة داخل العملية مع البيانات التجارية يتم إدارتها بواسطة إدارة مالية مستقلة وإدارة التكاليف.

المستوى 2: هو بيئة ثلاثية الأبعاد مُدارة يتم الاحتفاظ بها في أدوات تخصص منفصلة مع بيانات بارامترية وبيانات تجارية ويتم إدارتها بواسطة تخطيط موارد المؤسسة. خلال هذه المرحلة، يحدث التكامل على أساس واجهة خاصة أو برنامج وسيط مخصص.

المستوى 3: هو عملية قابلة للتشغيل المتبادل مفتوحة بالكامل وتكامل البيانات مُمكَّن بواسطة IFC يُسمى BIM المتكامل، تتم إدارة البيانات والمعلومات بواسطة خادم نموذج تعاوني.(Dakhil, et al., 2015)

2-4-2 المباني المستدامة وتقنيات BIM:

استجابةً لمطالب الاستدامة في قطاع العمارة والهندسة والتشييد، ازداد التركيز على فوائد تقنيات ومنصات BIM وقدرتها على إجراء تحاليل الأثر البيئي والطاقي وغيرها للأبنية المدروسة، سواء كانت هذه الأبنية جديدة (NEW Construction) أو قائمة بالفعل وقيد الاستخدام (In Use)، تقوم منهجية استخدام تقنيات BIM لتحقيق الاستدامة على خمس خطوات رئيسية بشكل عام، وهذه الخطوات هي:



صورة 12 Green BIM وعلاقته بنظام تقييم الاستدامة (Akbari , et al., 2024)

1-النمذجة: نمذجة المبنى أو المنشأ المراد دراسته باستخدام أحد أدوات BIM.

2- **تصدير الملف:** تصدير الملف إلى مقابس أو برمجيات التحليل المستخدمة لإجراء دراسة الاستدامة.

3-إجراء المحاكاة.

4-دراسة النتائج: لاستخلاص المشاكل والحلول.

5-تطبيق الحلول: والتأكد من فعاليتها من خلال تكرار الخطوات السابقة (عمران، وآخرون، 2023)

وتوضح الصورة رقم 12 علاقة Green BIM بنظام تقييم الاستدامة.

مع مرور الوقت برهنت تقنيات BIM جدارتها في مجال تحليل وتحقيق الاستدامة، مما دفع المزيد من العاملين في قطاع التشييد والبناء، والراغبين بالحصول على شهادات استدامة المباني لمنشآتهم، بالاتجاه نحو اعتماد تقنيات BIM كقاعدة لعمليات تحليل ومحاكاة النماذج الطاقية والحرارية والمائية وغيرها، وظهر مفهوم نمذجة معلومات البناء الأخضر Green BIM، على الرغم من أن أبحاث BIM الخضراء اكتسبت زخمًا في السنوات الأخيرة، إلا أن عدد المنشورات في المجلات العلمية المرموقة لا يزال قليلًا جدًا مقارنة بالتقدم البحثي في مجال استدامة BIM. بالإضافة إلى ذلك، وعلى الرغم من استخدامها على نطاق واسع، لا يزال هناك غموض كبير في تعريف مفهوم "BIM الأخضر" (Akbari , et al., 2024)

ونظرا لقدراتها وفعاليتها في تحقيق الاستدامة، فقد لجأت العديد من الجهات والشركات الهندسية والمعمارية العالمية إلى استخدام تقنيات BIM في دراسة وتحليل مشاريعها، إذ يوجد العديد من الأبنية العالمية الحاصلة على شهادات الاستدامة والتي تم دراستها بواسطة أو بمساعدة تقنيات BIM.

2-5 الاستدامة في المرافق الصحية والمستشفيات:

2-5-1 المستشفيات من المنظور الوظيفي:

" تعد ابنية المستشفيات واحدة من أهم المسائل المعمارية كثيرة المجاهيل، والتي يكاد الهدف المنشود منها يغيب اليوم عن مصممها، ليس من حجمها وتعقيدها فحسب بل وما زاد عليها مؤخراً من مظاهر المدنية والرفاهية المعاصرة" (كيخيا، وآخرون، 2006)

والمستشفيات كما يعرفها د. محمد كيخيا هي: "تلك المنشآت التي تضم في طياتها الفراغات والفعاليات المساعدة على استقبال المريض أو المصاب ومعاينته وتشخيص مرضه ومعالجته بجميع الوسائل والسبل"، وتتكون هذه المنشآت من ثلاثة أقسام: القسم الطبي، القسم الفندقي للإقامة والقسم الإداري.

وتقدم معظم المستشفيات والمرافق الصحية خدماتها على مدار 24 ساعة يومياً، و 7 أيام في الأسبوع، وذلك يجعلها تستهلك مياه وطاقة أكثر لتشغيلها من أي منشأة أخرى، وفوق ذلك تتسبب المستشفيات بانبعاثات غازات الدفيئة وتنتج مواد كيميائية سامة على شكل مخلفات طبية، هذه الانبعاثات والمخلفات تتسبب بمشاكل صحية، مشاكل صحية تحاول المستشفيات نفسها أن تعالجها لاحقاً ، لذلك فإن ظهور "المستشفيات الخضراء" يحاول كسر هذه الحلقة المفرغة من خلال دمج وتكامل المباني الصحية مع اشتراطات الاستدامة، من خلال إيجاد مصادر متجددة وبديلة للموارد التي تستهلكها المستشفيات في عملها، أو من خلال ضمان رفع كفاءة استهلاك الموارد في المستشفيات والحد من المخلفات. (Doğan, et al., 2024)

ومؤكداً لذلك، صرحت الأمين العام لمنظمة الصحة العالمية WHO غرو برندتلاند في عام 2002 قائلة: "إن التنمية المستدامة والصحة هما أمران مترابطان، فالمعيشة الصحية هي نتيجة من نتائج التنمية المستدامة، بالإضافة لكونها وسيلة قوية وأساسية لتحقيق الاستدامة". (WHO, 2002).

عندما لا يتم تنفيذ الحلول المستدامة في أماكن الرعاية الصحية، تكون النتيجة مشاكل صحية متعلقة بممارسات البناء غير المستدام، تشمل هذه المشاكل انبعاثات الكربون التي يمكن أن تؤدي إلى السرطان أو أمراض أخرى، وأمراض الجهاز التنفسي، والقلق، وتقلبات المزاج، والاكتئاب، والحساسية، بالإضافة لكونه مفارقة مثيرة للسخرية، لأن المكان الوحيد الذي يذهب إليه الناس للشفاء هو المكان الذي يقتلهم ببطء من خلال الانبعاثات والمواد السامة. (Doğan, et al., 2024).

المستشفيات غير المستدامة ذات الكفاءة المنخفضة: هي مباني ذات التخلص غير الآمن من النفايات والصرف الصحي غير المعالج، والاعتماد على الأطعمة المصنعة، وأسطول من المركبات ذات الاستهلاك العالي للوقود، مما يجعل البيئة مريضة، لذلك تجد منظمات الرعاية الصحية اليوم طرقًا جديدة لدمج استراتيجيات التصميم المستدام في البناء الجديد لتسريع التعافي، ليس فقط للمرضى ولكن أيضًا للكوكب. (Alsawaf, et al., 2022).

بينما تعرّف منظمة الصحة العالمية الأنظمة الصحية المستدامة بيئيًا بأنها الأنظمة التي: "تعمل على تحسين الصحة أو الحفاظ عليها أو استعادتها، مع تقليل التأثيرات السلبية على البيئة والاستفادة من الفرص لاستعادتها وتحسينها، لصالح صحة ورفاهية الأجيال الحالية والمستقبلية" (WHO, 2017).

إن تحقيق الاستدامة في المباني عموماً، وفي المستشفيات خصوصاً لا يصح أن يكون على حساب جودة الخدمات التي يقدمها المبنى أو المشفى، فلا يصح مثلاً أن يكون تخفيف استهلاك الطاقة أو تخفيف كمية النفايات والمخلفات الطبية مبني على تخفيف جودة الرعاية المقدمة للمراجعين، فالاستدامة لابد أن تتحقق كامتداد لعملية الرعاية الصحية لا كمنافس لها، لذلك فإن تصميم أي مشفى وفق مبادئ الاستدامة لا يضر ولا يتعارض مع مبادئ تصميم المشافي نفسها، بل يعززها ويتكامل معها، فيجب أولاً معرفة أسس واشتراطات تصميم المشافي عامةً ثم الانطلاق منها للوصول إلى المشافي المستدامة.

2-5-2 الأسس المعمارية لتصميم المستشفيات:

"إن ما نذكره من اشتراطات هذه الأبنية ليس استعراضاً للمعلومات بقدر ما هو محاولة للدخول في جوهرها وفهمها، لنرى ونقارن كيف كان؛ وكيف أصبح" (كيخيا، وآخرون، 2006)

تعد المستشفيات من المباني الخدمية المعدة والمجهزة لإقامة المستخدمين فيها إذا ما دعت الضرورة لذلك، ويتم تحديد حجم واحتياجات هذا النوع من المباني بحسب عدد الأسرة التي يستوعبها، وبناء عليه يتم تحديد المساحات الداخلية والفراغات العامة وشبه العامة والخاصة بالإضافة لعدد المواقف والمساحات الخضراء في الموقع وعدد سيارات الإسعاف وغيرها، ويعد كتاب نوفرت (Neufert) من أشهر وأكثر المراجع موثوقية في مجال أسس التصميم المعماري، وتم اعتماد محتواه كحجر أساس في هذه الجزئية من هذه الدراسة[3] ومنه نقتبس الأسس التالية لتصميم المستشفيات:

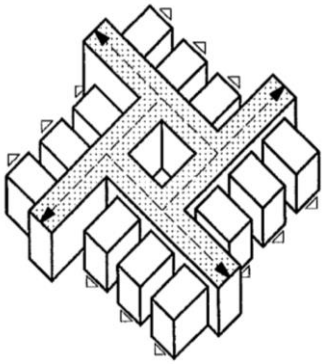
[3] كتاب النوفرت الإصدار الرابع (Kister, 2012)

حجم المستشفى: تصنف المستشفيات حسب حجمها بناء على عدد الأسرة فيها إلى: 1- مستشفيات صغيرة: عدد الأسرة حتى 100 سرير، 2- مستشفيات متوسطة الحجم: عدد الأسرة فيها يتراوح بين 200 إلى 600 سرير، 3- مستشفيات كبيرة أو تعليمية: عدد الأسرة بين 600 و1000 سرير.

الموقع: يجب أن يكون الموقع المختار لبناء المستشفى سهل الوصول إليه وعلى محور حركة رئيسي بالنسبة للقطاع السكني الذي يخدمه، وأن يكون بعيداً عن مصادر التلوث والغبار والحشرات والرائح الكريهة وغيرها، كما يجب ألا تقل مساحة الأرض عن القيمة التالية (مساحة الأرض م^2= عدد الأسرة×70)، أي يخصص لكل سرير ما لا يقل عن 70 متر مربع من مساحة الأرض.

الاتجاه والتوجيه: يجب أن يتم توجيه المبنى بشـــكل يأخذ بعين الاعتبار حركة الرياح الســـائدة في الموقع، بحيث تحصـــل غرف الإقامة على تهوية طبيعية ملائمة، وتكون محمية من الرياح الضـــارة، كما يجب أخذ حركة الشمس أيضـاً بعين الاعتبار، بحيث تحصـل الغرف على الإنارة الطبيعية، مع الحماية من الإبهار البصري (الدخول المبالغ فيه لأشعة الشمس).

مخارج الهروب (مخارج الحريق): يجب ألا يزيد بعد مخرج الطوارئ عن أبعد نقطة في المســـقط الأفقي عن 45 متر، وأي نقطة في المســـقط الأفقي يجب أن تحقق شـــرطين للســـلامة: 1- وجود مخرج طوارئ ضـمن أو أقرب من الحد الأدنى المطلوب، 2- وجود مخرج طوارئ **بديل** على مسـافة 64 متر أو أقل، كما يجب ألا تزيد مســـاحة الطابق عن 2000 متر مربع في الكتلة الواحدة من المبنى توضح الصورة رقم 13 العلاقة بين المخارج والكتل.



صورة 13 العلاقة بين مخارج الطوارئ وكتل المبنى (Kister, 2012)

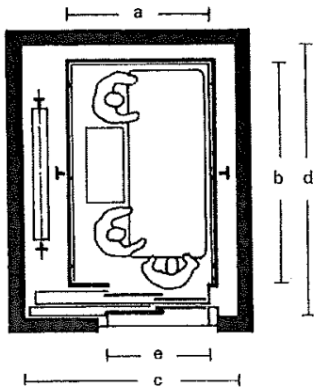
الممرات والأدراج: لا يقل عرض الممرات في الأقسام الخدمية عن 1.5 متر ويفضل أن يكون 2.25 متر، والممرات بين أقسام المشفى وبين غرف المرضى لا تقل عن 3 متر، والأدراج لا يقل عرضها

عن 1.5 متر ولا يزيد 2.5 متر وذلك لدواعي السلامة، ارتفاع الدرجة الواحدة يجب أن يكون 17 سم وعمقها 30 سم، والارتفاع الطابقي ينصح بـ 3.4 متر.

المصاعد: يجب توفر بهو مقابل المصاعد بمسافة خالية أمام المصعد لا تقل عن 4.7متر ولا تقل فتحة باب المصعد عن 1.3 متر، أقل أبعاد داخلية لعربة المصعد لا تقل عن 1.4*2.4 متر أو كما في الصورة والجدول المرفقين (صورة14 وجدول10).

permissible load kg	1600	2000	2500
shaft width c	2400	2400	2700
shaft depth d	3000	3000	3300
car width a	1400	1500	1800
car depth b	2400	2700	2700
car door width e	1300	1300	1300
car door height	2300	2300	2300
car door height	2100	2100	2100
permissible no. people	21	26	33

جدول10 اشتراطات الأبعاد لفراغ المصعد (Kister, 2012)

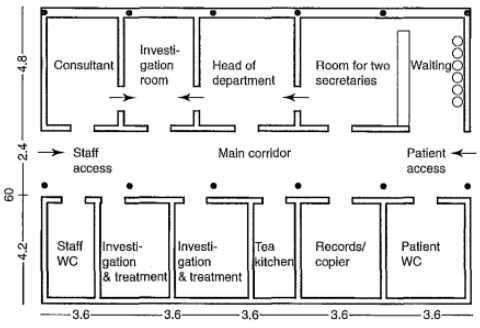


صورة14 توضيح أبعاد عربة المصعد والفراغ الأفقي للمصعد (Kister, 2012)

الأرضيات: جميع الأرضيات يجب أن تكون مكسية بمواد ملساء وناعمة لتسهيل عملية التنظيف.

العيادات الخارجية: يضم قسم العيادات الخارجية مكتب سكرتارية ومساحات انتظار وغرفة طبيب مشرف بالإضافة لغرف عيادات مساحتها تتراوح بين 25 إلى 30 متر مربع حسب الاختصاص.

قسم الإسعاف: ويفضل أن يكون مقابل المدخل الرئيسي للمبنى ويسهل الوصول إليه بالنسبة للأسرة المتحركة وقريب بنفس الوقت من قسم الأشعة السينية، ويتكون من صف من غرف الفحص والعلاج ومساحة الغرفة من 16 إلى 21 متر موضحاً بالمخطط 1.



مخطط 1 الشكل العام لقسم الإسعاف وعلاقة العناصر التي يتكون منها (Kister, 2012)

قسم الإقامة: غرفة الإقامة لا تقل مساحتها عن 16 متر للغرفة ذات السرير الواحد، ويضاف 8 أمتار لكل سرير إضافي، عرض باب الغرفة لا يقل عن 1.26 ويفضل حتى 2.13 م وذلك بسبب الاستخدام المتكرر للأسرة المتحركة، وعزل صوتي بين الغرفة والممرات لا يقل عن 32 ديسبل.

الغرف الإدارية: لا تقل مساحتها عن 20 متر مربع للغرفة.

غرف العمل (الغرف القذرة): غرف خدمية يجب أن تتوفر غرفة واحدة قذرة لكل 8 أسرة على الأقل، مساحة الغرفة لا تقل عن 8 إلى 10 متر مربع.

غرفة الطبيب المقيم: يجب أن تتوافر غرفة طبيب مقيم في كل جناح، وبمساحة لا تقل عن 16 متر وبأبعاد تمكن الطبيب من فحص المرضى.

لمراجعة أسس التصميم المعماري لأقسام أخرى من المشفى مثل: المطبخ العام، قسم العناية المشددة، قسم التوليد، قسم الأطفال، المكتبة، الأرشيف، الإدارة العامة، العلاج بالأشعة، العناية للمرضى العقليين، وغيرها من الأقسام انظر كتاب نوفرت الإصدار الرابع.

بالإضافة للاشتراطات المعمارية (مكانية ومساحية)، لا بد من توفر شروط أخرى للمستشفيات، متعلقة **بالبيئة الداخلية وسلامة الهواء ودرجتي الحرارة والرطوبة، ويقدم المعهد الوطني الأمريكي للمعايير American National Standards Institute (ANSI)** مرجع معتمد على نطاق واسع لهذه الاشتراطات، ونراجع من هذه الاشتراطات ما يلي: (ANSI, 2020)

الفلترة (الترشيح): يعد هذا البند من أهم البنود فيما يتعلق بالمستشفيات، وذلك لمنع انتقال الملوثات من وإلى فراغات المستشفى، وينص على:

1) توفير ترشيح الهواء القادم من أجهزة التهوية الصناعية وفق مجموعات المرشحات بحسب الجدول المرفق (جدول 11 اشتراطات كفاءة مرشحات الهواء الجزيئية).

2) يجب توفير مرشحات الجسيمات، من اتجاه السطح الأول للمبادل الحراري لأي نظام تكييف هواء يجمع بين الهواء العائد من غرف متعددة أو يدخل الهواء الخارجي.

3) يجب ترشيح الهواء الخارجي بحسب الجدول المرفق (جدول 11 اشتراطات كفاءة مرشحات الهواء الجزيئية).

4) يجب ترشيح الهواء المزود من المعدات التي تخدم مساحات متعددة أو مختلفة بحسب الجدول المرفق (جدول 11 اشتراطات كفاءة مرشحات الهواء الجزيئية).

5) يجب ترشيح الهواء المعاد تدويره داخل الغرفة بحسب الجدول المرفق (جدول 11 اشتراطات كفاءة مرشحات الهواء الجزيئية).

6) يجب أن يتضمن التصميم جميع الأحكام اللازمة لمنع تراكم الرطوبة على المرشحات الموجودة في اتجاه مجرى ملفات التبريد والمرطبات.

7) يجب أن تلبي جميع المرشحات اشتراطات الكفاءة MERV بحسب الجدول المرفق (جدول 11 اشتراطات كفاءة مرشحات الهواء الجزيئية).

8) يجب أن تكون المرشحات قادرة على إزالة 99.97% من العوالق التي لا يقل قطرها عن 0.3 ميكرون.

الرطوبة: وتحدد بالنسبة المئوية وفق الجدول 12 المرفق أدناه (اشتراطات البيئة الداخلية لفرغات المستشفيات).

الضغط الجوي النسبي (مقارنة بالفراغات المجاورة): إما أن تكون الغرفة ذات ضغط أعلى من الفراغات المجاورة لها أي: ضغط موجب، أو تكون ذات ضغط أقل من الفراغات المجاورة لها أي: ضغط سالب، ويحدد ذلك وفق الجدول 12 المرفق أدناه (اشتراطات البيئة الداخلية لفرغات المستشفيات).

التهوية: ولها نوعان: 1) الهواء المعاد تدويره من الغرف، 2) الهواء الخارجي، وتقاس التهوية في هذا السياق بواحدة "حجم الغرفة في الساعة" واختصارها ACH، وتعني ACH 1 دخول كمية هواء تعادل حجم كامل الغرفة خلال ساعة واحدة، وتؤخذ قيمتها لكل قسم وفق الجدول 12 المرفق أدناه (اشتراطات البيئة الداخلية لفرغات المستشفيات).

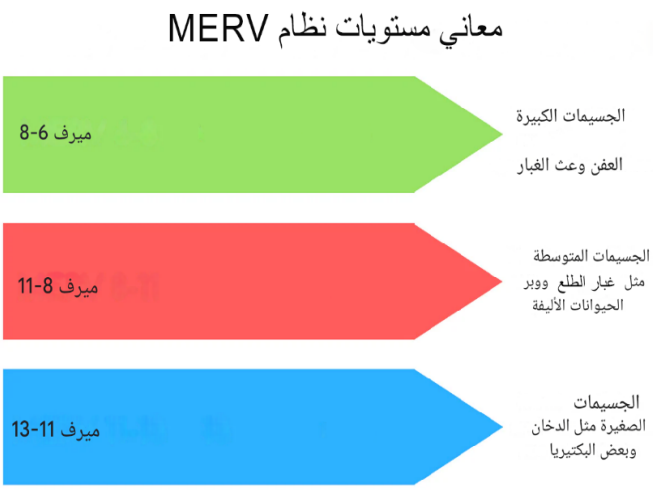
درجة الحرارة: تحدد الحرارة داخل كل قسم أو غرفة وفق الجدول 12 المرفق أدناه (اشتراطات البيئة الداخلية لفرغات المستشفيات).

وظيفة الفراغ	كفاءة الطبقة الأولى من المرشح وفق MERV[4]	كفاءة الطبقة الثانية من المرشح وفق MERV
غرف العمليات، غرف الإسعاف، العلاج بالأشعة، غرف الإنعاش	7	14
غرف التشخيص، غرف المرضى، أي غرفة تقدم خدمات بشكل مباشر	7	14
غرف العناية المركزة، غرف البيئة المحمية	7	17
المخابر والمناطق التي تقدم خدمات غير مباشرة	13	غير مطلوب
الإدارة، وحدات التخزين، مناطق تحضير الطعام ومناطق غسيل الأقمشة	7	غير مطلوب
أي فراغ لا يدخله المراجعون والمرضى	7	غير مطلوب
المرافق الخاصة بالممرضات	7	غير مطلوب

جدول 11 اشترطات كفاءة مرشحات الهواء الجزيئية في المستشفيات (ASHRAE, 2020)

وتكون الطبقة الأولى من المرشح قبل مشع التبادل الحراري في جهاز التكييف والتهوية، أما الطبقة الثانية فتكون بعد المشع الحراري وتقوم بتنقية الهواء بعد عملية التبادل الحراري وقبل دخوله للغرفة مباشرة.

وتستطيع مستويات ميرف 14-17 ترشيح البكتيريا و الجزيئات الناتجة عن العطاس ومعظم دخان السجائر تقدم الصورة 15 توضيحاً لهذه المستويات.



صورة 15 معاني مستويات نظام MERV (Unitedfilter, 2024)

[4] وتعني Minimum Efficiency Reporting Value وتقييم MERV هو مقياس لمدى فعالية الفلتر في إزالة الجزيئات من الهواء الذي يمر من خلاله.

وظيفة الفراغ	درجات الحرارة المقبولة	درجات الرطوبة المقبولة	حجم الهواء الخارجي (تهوية)ACH	الضغط مقارنة بالمناطق المجاورة
غرف الجراحة والعناية المركزة، حديثي الولادة	24–21	60–40%	4–3	موجب
مرافق الممرضات، العلاج الفيزيائي والمخابر	24–21	60–40%	2	سالب
تحضير الطعام، غسيل الملابس، التخزين	26–22	غير مطلوب	2	سالب
التخدير والإنعاش، غرف الحروق، قسم الليزر	24–21	60–30%	3	موجب
الممرات، غرف التشريح، برادات الجثث	24–20	غير مطلوب	2	سالب
غرف الإقامة، الفراغات المشتركة للمرضى (قاعات الطعام، الصالات الرياضية)	27–20	غير مطلوب	4–2	غير مطلوب

جدول 12 اشتراطات البيئة الداخلية لفراغات المستشفيات (ASHRAE, 2020)[5]

يعد تحقيق القيم السابقة في المستشفيات أمراً قياسياً، ويجب على المستشفيات عموماً (سواء كانت مستدامة أو تقليدية)، تحقيق تلك القيم.

وفقًا لمجلس المباني الخضراء في الولايات المتحدة، فإن زيادة كلفة البناء لمستشفى حاصل على شهادة LEED للاستدامة مقارنة بمستشفى قياسي تبلغ حوالي 1% فقط (aexcelcorp, 2017)، قد تبدو هذه النسبة كبيرة؛ خاصة أن مشاريع المستشفيات تكلف مبالغ طائلة، لكن الانتقال نحو مستقبل مستدام لا يتعلق بالنواحي المالية أو الربحية، بالإضافة إلى أن أغلب الجهود تؤدي إلى تحقيق توفير حقيقي في استهلاك الطاقة والمياه والمواد المعاد تدويرها مع الحد من انبعاثات غازات الدفيئة، وتعمل هذه الجهود على خفض نفقات التشغيل للمنشأة على المدى الطويل. (USGBC, 2021)

[5] لمزيد من التفصيل ولبقية أنواع الفراغات انظر ASHRAE 170-2017 وتصحيحاته

2-6 الخوارزميات والتصميم الخوارزمي:

2-6-1 الخوارزميات:

تعرف الخوارزميات أكاديمياً بأنها مجموعة من الخطوات أو التعليمات المرتبة والمنتهية، لتنفيذ عملية حسابية أو منطقية بشكل تتابعي متسلسل ومنطقي، واشتق الغربيون كلمة Algorithm من اسم العالم العربي المعروف "محمد بن موسى الخوارزمي"[6] والذي برع في الفلك والرياضيات وألف كتابه الجبر والمقابلة. (بدر، 2016)

تتضمن الخوارزميات بداخلها الاستنتاج والاستقراء والتجريد والتعميم والمنطق المنظم، وذلك لتطوير خطة حل عامة من خلال الاستراتيجيات الحسابية للبحث عن الأنماط المتكررة والوحدات القابلة للتبديل، وتكمن قوة الخوارزميات في قدرتها على الاستنتاج وإيجاد طرق جديدة للمعرفة، وتوسيع حدود العقل البشري في التفكير والتحليل. (أمين، وآخرون، 2022)

وبحسب الرياضي الفرنسي رينيه ديكارت[7] فإن القدرة على حل المشاكل باستخدام الخوارزميات هي مهارة وقدرة وطريقة مرتبة ولا تعتمد على العشوائية يمكن اكتسابها وتعلمها باتباع القواعد التي ذكرها مجموعة من القواعد وفق الآتي:

١) لا يمكن قبول أي شيء كحقيقة مسلمة إلا إذا ثبت ذلك من خلال التجربة والمشاهدة.

٢) كل مشكلة أو مسألة يتم تبسيطها إلى أجزاء أبسط كلما أمكن ذلك.

٣) فكر بطريقة منظمة وابدأ بالأجزاء الأسهل فالأصعب إلى أن ننهي المشكلة.

٤) راجع جميع الأجزاء إلى أن يكتمل الحل._(بدر، 2016)

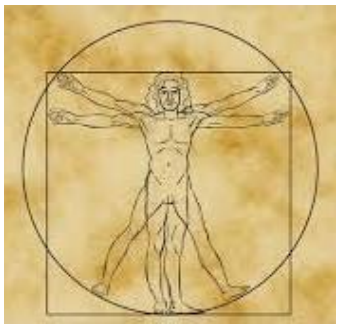
وعلى عكس الاعتقاد الشائع بأن استخدام الخوارزميات محصور بظهور الحاسوب أو ضمن علوم الرياضيات، فالواقع أن استخدام التعليمات والأحكام لحل المشاكل يمكن تتبعه إلى ما قبل الميلاد حتى، إذ أتى المعماري والمهندس الروماني فيتروفيو[8] على ذكره في مؤلفه (الكتب العشرة في العمارة) في ٢٨ ق.م (القزاز، وآخرون، 2020)، حيث استخدم

---

[6] محمد بن موسى الخوارزمي: عالم رياضيات وفلك مؤلف كتاب الجبر والمقابلة، عاصر الخليفة المأمون 780- 847 م (ويكيبيديا)

[7] رينيه ديكارت: الملقب بأبو الفلسفة الحديثة، فيلسوف وعالم رياضي فرنسي 1596-1650 م. (ويكيبيديا)

[8] ماركوس فيتروفيوس بوليوس: مهندس معماري ومدني لاتيني مان مسؤولات عن آلات الحرب في عهد يوليوس قيصر. (ويكيبيديا)



صورة16 الرجل الفيتروفي (القزاز,2020)

أحكامـاً لوصـف التصـاميم الهندسـية وتخطـيط المـدن وغيرهـا، وتعتبـر قاعـدة الرجـل الفيتروفـي مـن أقـدم القواعـد فـي التصـميم التـي حـدد مـن خلالهـا فيتروفيـو تناسـب أبعـاد جسـم الإنسـان مـع أبعاد العناصر المعمارية من حوله كما يظهر في الصورة 16.

من أبرز الطرق التي تســتخدم في إطار عمل الخوارزميات الأداة المعروفـة بمخطط التـدفق أو المخطط النهجي Flowchart، ومخطط التدفق: هو رسـم توضـيحي يمثل خطوات سـير عملية ما أو خوارزمية معينة خطوة بخطوة (بدر، 2016)، ظهر لأول مرة على يد Frank & Lillian Gilbreth[9] عام ١٩٢١، وتوضــح الصورة 17 مثالاً لمخطط نهجي. (wikipedia, 2021)

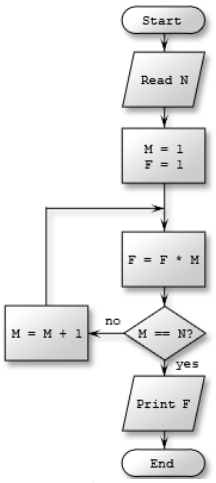
يفيد اســتخدام المخطط النهجي في إطار عمل الخوارزميات في كثير من النواحي، مثل:

١) إعطاء صورة متكاملة للخطوات المطلوبة لحل المشكلة.

٢) تساعد مستخدميها على تشخيص الخطأ ومعرفة أسبابه.

٣) تسهل إدخال تعديلات دون الحاجة إلى إعادة الصياغة من الصفر.

٤) تمكن المسـتخدم من الإحاطة باحتمالات وتفرعات الخوارزمية خاصــة في المسائل التي تكثر فيها الدقائق والتفاصيل.



صورة17 مثال عن مخطط نهجي (ويكيبيديا)

يسـتخدم في خرائط التدفق مجموعة من الرموز البسـيطة والأشــكال التي تميز عناصــر الخوارزمية وعلاقتها ببعضــها، مبين بعض منها في الجدول 13. (بدر، 2016).

(الرمز) الشكل الاصطلاحي	معنى الرمز	
	بداية أو نهاية البرنامج	(Start \ stop) (1)
	إدخال أو إخراج	(Input \ output) (2)
	عمليات حسابية أو تخزين	(Calculation and store) (3)
	تقرير	(Decision) (4)
	تكرار أو دوران	(Looping) (5)
	استدعاء برنامج فرعي	(Call subroutine) (6)
	اتجاه سير البرنامج	(Flow line) (7)
	نقطة توصيل وربط	(Connector) (8)
	تعليق وإيضاح	(Comment) (9)

جدول13 الرموز الشائعة المستخدمة في المخطط النهجي (بدر، 2016)

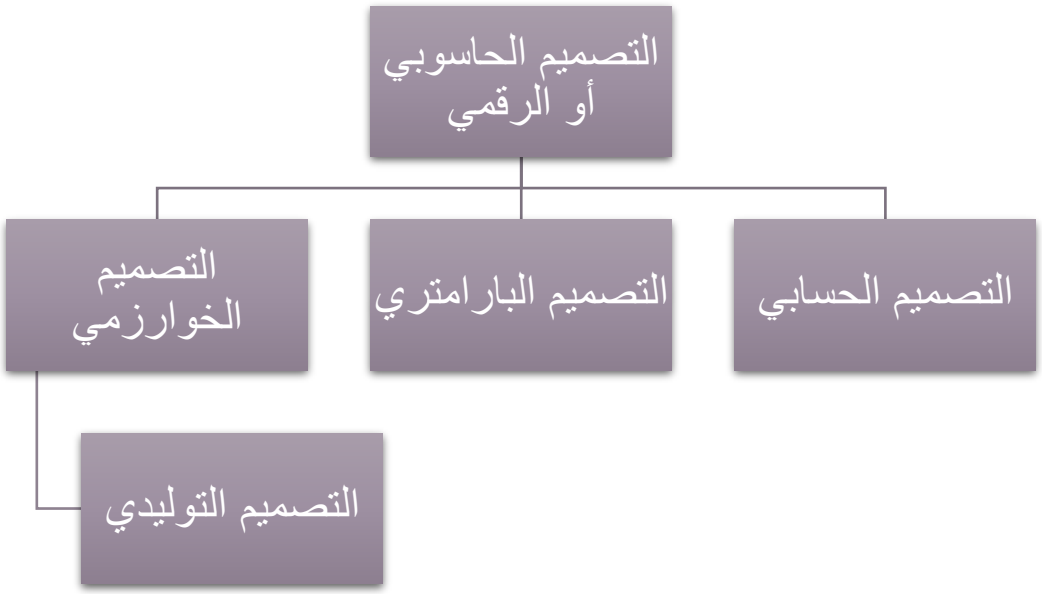
[9] فرانيك وليليان غيل برث: زوجان أمريكيان، ومهندسين صناعيين وخبراء الكفاءة، لهما عدة مؤلفات في مجال الصناعة وخطوط الإنتاج (ويكيبيديا)

2-6-2 التصميم الخوارزمي في ظل التطور التقاني:

مع بداية القرن الواحد والعشرين بدأ المهندسون بإعادة النظر في استخدام الخوارزميات وإشراك الحاسوب للمساعدة في إنشاء أشكال معقدة وفق أحكام وقواعد محددة لجعل أبنيتهم أكثر ملائمة لوظائفها وأكثر تميزاً في أشكالها (القزاز، وآخرون، 2020)، وفي ذلك الوقت كان على المصممين أن يتعلموا كيفية البرمجة ليتمكنوا من تنفيذ هذه الخوارزميات على الحاسوب –وذلك من خلال تحويلها إلى مجموعة نصوص برمجية Scripts يفهمها الحاسوب– الأمر الذي شكل إرباكاً كبيراً للمصممين الذين اضطروا للتعامل مع تكوينات غامضة لا يمكن رؤيتها بشكل مباشر. (Feist, et al., 2016)

ومع التطور التكنولوجي وإعادة إحياء التصميم الخوارزمي حصل لبس وغموض فيما يمكن تصنيفه كتصميم خوارزمي نجم عنه تداخل واستخدام خاطئ ومتبادل لتسميات: (التصميم الحسابي Computational Design – التصميم الرقمي Digital Design– التصميم "البارامتري" – التصميم الخوارزمي Algorithmic Design– التصميم التوليدي Generative Design). (Caetano, et al., 2019)

في هذا البحث نتناول جميع الأنواع السابقة من التصميم من خلال منظور التصميم الحاسوبي أو الرقمي DD أي باستخدام أجهزة الحاسوب، وبحسب (Caetano, et al., 2019) فإن التصنيف الصحيح لهذه المسميات يكون وفق الرسم التوضيحي 2 التالي:



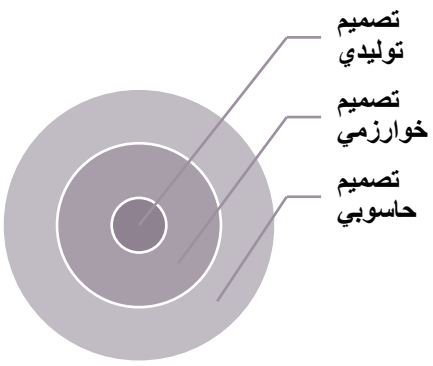
رسم توضيحي 2 العلاقة بين مسميات التصميم من منظور التصميم الحاسوبي (Caetano, et al., 2019)

حيث تعرف هذه المسميات وفق ما يلي:

التصميم الحسابي: وهو نهج يعتمد على العمليات الحسابية والأرقام لإنتاج التصاميم.

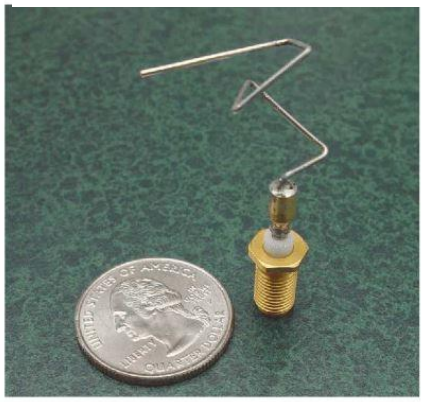
التصميم البارامتري: هو نهج يصف التصميم استناداً إلى متغير أو متغيرات ومثال عليه أدوات BIM ولا يصح تسمية CAD أنه بارامتري.

التصميم الخوارزمي: هو نهج تصميمي يستخدم الخوارزميات للوصول للنتائج من علاقة بين الخوارزمية والمنتج النهائي مما يتيح إمكانية تتبع عملية التصميم ومعرفة أي جزء من الخوارزمية مسؤول عن إنتاج جزء معين من التصميم.



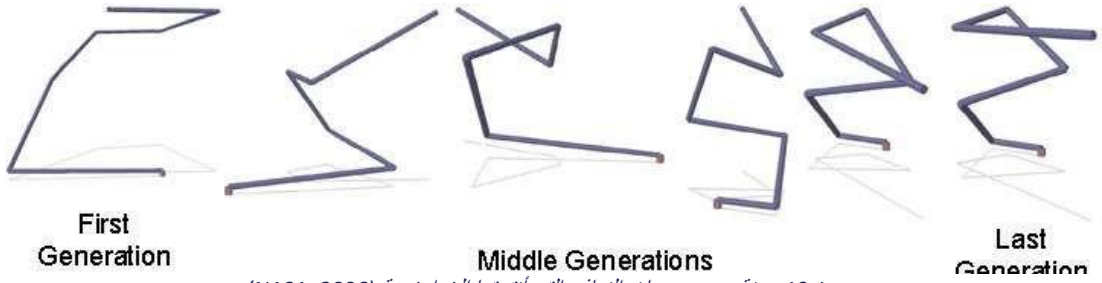
رسم توضيحي3 العلاقة بين التصميم التوليدي والخوارزمي باستخدام التصميم الحاسوبي (إعداد الباحث)

التصـــميم التوليـدي: هو نهج قـائم على اســـتخـدام نظـام خوارزميات تتمتع بدرجة معينة من الاســـتقلالية، يقوم بتنفيذ سلسلة أوامر مشفرة إلى أن يتم تحقيق الاشتراطات التي يطلبها المستخدم، ونظراً لطبيعته المشفرة يصعب ربط النتيجة النهائية للتصـــميم بجزء النظام الخوارزمي المســـؤول عن توليدها (Caetano, et al., 2019) يوضـح الرسـم 3 العلاقة بين أنواع التصميم المختلفة.



صورة18 التصميم النهائي للهوائي الناتج عن الخوارزمية (NASA, 2006)

من أهم أمثلة استخدام نتائج التصميم الخوارزمي في العصر الحديث هو استخدام وكالة الفضاء الدولية NASA طرق التوليد الخوارزمي لتصميم هوائيات راديو صغيرة الحجم وعالية الكفاءة بنفس الوقت والنتيجة النهائية كانت شكلاً غريباً لم يكن ليخطر على بال المصممين وبنفس الوقت ذو كفاءة عالية جداً وحجم صغير أصغر من عملة معدنية (NASA, 2006) مبيناً بالصور 18 و19.



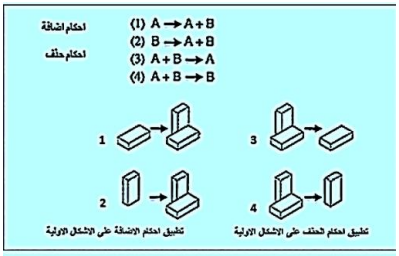
صورة 19 عينة من مجموعات النماذج التي أنتجتها الخوارزمية (NASA, 2006)

2-6-2-1 تصنيفات التصميم الخوارزمي:

في الإطار الهندسي يمكن تصنيف التصميم الخوارزمي حسب ثلاث أسس مختلفة: 1- المرجع الفكري، 2- الغرض من استخدامه، 3- الأداة المستخدمة.

تصنيف التصميم الخوارزمي وفق المرجع الفكري المتبع فيه:

يصنف التصميم الخوارزمي بناء على المرجع الفكري إلى أربعة أصناف رئيسية:



صورة20 قواعد التشكيل في التصميم الخوارزمي (القزاز، وآخرون، 2020)

قواعد التشكيل Shape grammars: يستخدم هذا المرجع طريقة التطبيق المتتابع -المتسلسل- للقواعد والأحكام الخوارزمية وفق سلسلة واحد ولكل حالة على حدى، حالة تلو الأخرى، يعتمد هذا المرجع على تطبيق الأحكام على أشكال وتكوينات بسيطة وفق العلاقات بينها لتكوين أشكال أكثر تعقيداً كما في الصورة 20.

أنظمة لندنماير L-Systems: تستخدم هذه الأنظمة طريقة تطبيق القواعد بشكل متوازي على جميع الحالات في نفس الوقت، يستخدم هذا المنهج الأحرف والرموز لتمثيل الأحكام والقواعد ضمن سلاسل بسيطة تطبق على جميع الحالات.

الأنظمة الخلوية الآلية: ويتم فيها تطبيق الأحكام والقواعد وفق سلسلة واحدة ولكل الحالات بنفس الوقت باستخدام الألوان الأبيض والأسود لتمثيل القواعد بشك عددي (أبيض 0 وأسود 1).

ذكاء السرب: تستخدم هذه الطريقة تطبيق كل القواعد والأحكام على جميع الحالات في نفس الوقت، باستخدام الرموز والحروف والأرقام. (القزاز، وآخرون، 2020)

ويمكن استخدام أي من المراجع الفكرية السابقة بغض النظر عن الغرض من استخدامه.

تصنيف التصميم الخوارزمي بناء على الغرض من استخدامه:

ويتم تصنيفه في أربع أغراض رئيسية:

التصميم التوليدي: كما شرحنا سابقاً فإن التصميم التوليدي لا يتعلق بإنتاج تصميم معين وإنما بتصميم النظام الذي ينتج التصميم.

تصـميم قواعد الشـكل: ويعتمد مبدأ عمل من جزئين: (إذا كان كذا – قم بإجراء كذا)، فهو يعمل بناء على 1- التعرف على الشـكل وتحديد القاعدة أو الحكم المقابل له، 2- اسـتبدال الشـكل أو تحويله حسـب القاعدة، وهذا الغرض يعتبر شـائعاً في التصـميم المعماري، إذ يتيح مجموعة كبيرة من التصميمات بجهد برمجي قليل نسبياً.

تصميم الشبكة (MESH): وهو نهج تصميم خوارزمي مبنى على التعامل مع الأسطح والنقاط، يمكن المصمم من إنشاء أشكال معقدة من خلال تغييرات صغيرة على القواعد وينتج مصفوفة واسعة من الحالات، وغالباً ما يرتبط هذا الغرض مع استخدام أنظمة لندنماير.

التصـميم بالطيّ origami: وهي عملية طي الأسـطح والأوجه بشـكل متكرر عدة مرات وينتج عنها أنماط هندسية جميلة ومعقدة، تظهر الصورة 21 أشكالاً نتجت عن التصميم بالطيّ.

صورة 21 عينة من نتائج عملية التصميم الخوارزمي بالطي (أمين، وآخرون، 2022)

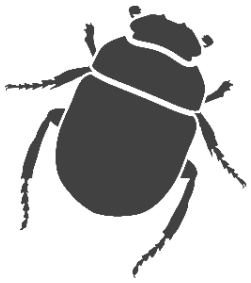
صورة22 عينة من نتائج تجربة هانزماير (Feist, et al., 2016)

ومن أفضـل الأمثلة التي تبرز فعالية التصـميم بالطي وقدراته هي التجربة التي قام بـها Hansmeyer[10] اسـتخدم فيها الحاسـوب وقام بإعطائه أمراً بطي كل وجه من متوازي مسـتطيلات قام بإعطائه أبعاده منذ البداية وحصـل على مصـفوفة كبيرة من النتائج مثل النتائج الموضحة في الصورة 22 (أمين، وآخرون، 2022).

[10] مايكل هانزماير: معماري من معماريين ما بعد الحداثة، اشتهر باستخدامه أساليب التصميم الخوارزمي مع تقنيات CAD لإبداع تصاميم خلابة

تنصيف التصميم الخوارزمي بناء على الأداة المستخدمة:

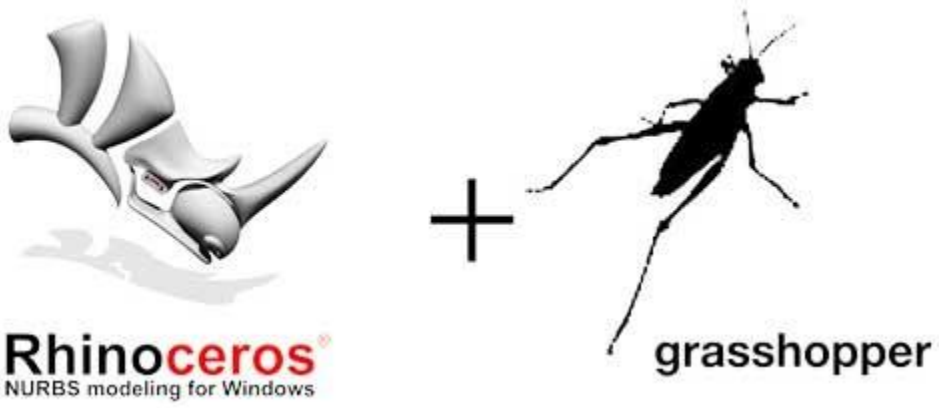
يستخدم التصميم الخوارزمي باستخدام الحاسوب ثلاثة أنواع رئيسية من الأدوات:



صورة23 شعار برنامج Khepri للتصميم الخوارزمي (GitHub, 2024)

برامج مستقلة: وتكون أداة التصميم في هذا النوع عبارة عن برنامج حاسوبي مستقل بذاته، وله صيغة خاصة من الملفات، ومن أمثلته Khepri، ونرى شعار هذا البرنامج في الصورة 23.

مقابس برمجية: وهي أدوات تضاف إلى أحد برامج التصميم وتعمل داخل بيئته وتستطيع التعامل مع بيانات ملفات هذا البرنامج، ويمكن لبعض هذه المقابس أن تحفظ ملفات بصيغتها الخاصة، بينما تقوم مقابس أخرى بحفظ معلوماتها ضمن صيغة ملف البرنامج الذي تعمل بداخله، من أمثلتها Dynamo الذي يعمل ضمن برنامج Revit و Grasshopper الذي يعمل ضمن برنامج Rhino 3D، وتظهر الصورة 24 شعارات البرمجيات GH و Rhino 3D.



صورة 24 شعاري برنامجي Rhino 3D و Grasshopper (McNeel & Associates, 2024)

تطبيقات ويب: وهذا النوع من الأدوات يعتبر أحدث من غيره، ويعتمد على تطبيقات تعمل عن طريق شبكة الإنترنت وتعطي أريحة للمستخدم وتحرره من التقيد بحاسوب أو برنامج، ومن أمثلتها أداة Luna Moth وشعارها موضح بالصورة رقم 25 (GitHub، 2024)

صورة25 شعار تطبيق Luna Moth (GitHub، 2024)

2-6-3 التصميم الخوارزمي في قطاع البناء والتشييد:

كما ذكرنا في الفقرة السابقة فإن مفهوم استخدام التعليمات والخطوات والأحكام في عملية التصميم المعماري ليس جديداً، فبالإضافة للمعماري فيتروفيو، استخدمت أساليب خوارزمية في تصميم بعض عناصر البناء حيث لعبت المقرنصات في العمارة الإسلامية دوراً هاماً في إضافة العنصر الجمالي للبناء، فهي بطبيعتها رياضية التصميم ودورها جمالي، تحمل بأنماطها المتكررة الطابع الخوارزمي.

كما قام المعماري الإيطالي Palladio[11] في عصر النهضة باقتراح أحكام لتوصيف عناصر مختلفة من المباني مثل الأعمدة والقباب والمخططات مثل سلفه المعماري الروماني فيتروفيو (القزاز، وآخرون، 2020)، وبرع Palladio في استخدام أنماط تكرارية في عناصر العمارة الداخلية في المباني التي صممها حتى سمي أسلوبه بنهج Palladio.

ومع مطلع القرن العشرين وضع المعمار لو كوربوزيه Le Corbusier المبادئ الخمسة للتصميم (القزاز، وآخرون، 2020)، والتي تماشت مع فكرة التصميم الخوارزمي فهي عبارة عن سلسلة تعليمات من خمس خطوات يجب على المصمم اتباعها عند تصميم المبنى:

صورة 26 صورة لفيلا Savoye من أعمال لو كوربوزيه (السماق، وآخرون، 2015)

1- رفع المبنى على الأعمدة الدائرية فوق مستوى الأرض مما يسمح باستغلال الحيز الذي يتوفر عند ذاك تحت المبنى، ويفرض هذا الاقتراح بطبيعة الحال باستخدام نظام إنشائي هيكلي يعتمد على الخرسانة المسلحة.

2- المسقط الحر Plan Libre الذي يوفره هذا النظام الإنشائي من حيث توفر الاستقلالية التامة للقواطع الداخلية عن العناصر الإنشائية الساندة للأسقف، ويظهر شكل الفيلا في الصورة 26.

3- الواجهات الحرة التي يوفرها ذات النظام الإنشائي أيضا، بفضل الاستقلالية التي يتمتع بها الجدار الخارجي أيضا عن العناصر الإنشائية الساندة.

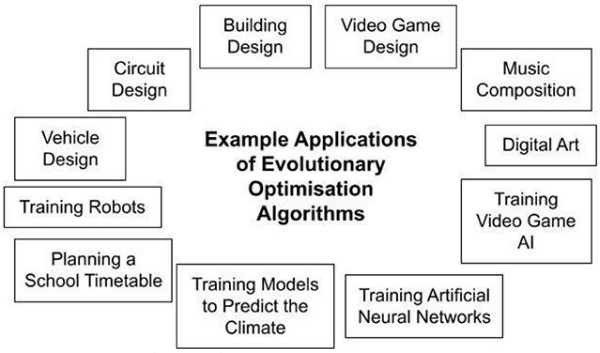
4- الشبابيك الأفقية الطويلة المنزلقة أفقياً.

5- حديقة السطح Roof Garden التي تتوفر باستخدام الساكنين كنتيجة طبيعية للأسقف المستوية التي أصبحت ممكنة بفضل التطورات في مجال الخرسانة المسلحة.

---

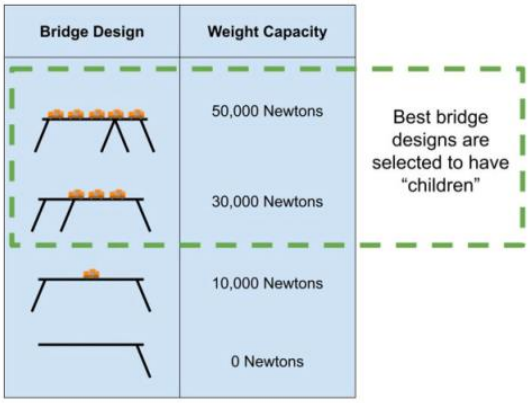
[11] أندريه باللاديو: مهندس معماري من مدينة البندقية ويعتبر من أكبر المؤثرين في الهندسة المعمارية الغربية 1508-1580 (ويكيبيديا)

وبين عامي ١٩٥٠ و١٩٦٠م توصل عدة علماء في مجال الحاسوب إلى فكرة "خوارزميات التحسين التطورية" بشكل مستقل وفي نفس الوقت تقريباً، ويمكن استخدام هذه الخوارزميات في مختلف المجالات من تصميم الطائرات، إلى الألعاب الحاسوبية وحتى الفن كما هو موضح في الصورة 27. (Walton, et al., 2022)

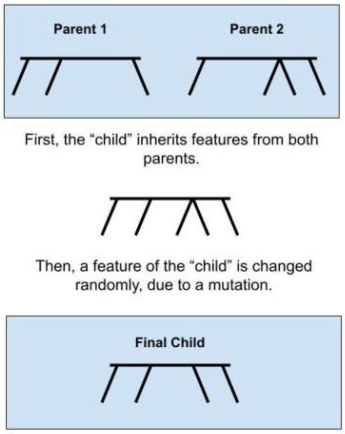


صورة27 مجالات خوارزميات التحسين التطوري (Walton, et al., 2022)

وتعمل هذه الخوارزميات بشكل أساسي من خلال تعريف العوامل التي تجعل التصميم جيداً، والعوامل التي تجعله سيئاً، وطرح الباحث (Walton, et al., 2022) مثالاً لتوضيح هذه الفكرة، فلو أردنا تصميم جسر سيكون العامل الإيجابي هو تحمل الجسر لأكبر وزن ممكن، والعامل السلبي هو الإكثار من العناصر الحاملة، ويبدأ عمل الخوارزمية بإنشاء مجموعة عشوائية وكبيرة من التصاميم المختلفة، ومن ثم تقوم بإجراء مقارنات بين هذه التصاميم بحسب الأداء الأفضل وترتبها ضمن مجموعة (تسمى هذه المجموعة الأولى–موضحة في الصورة 29)، بعد ذلك تأخذ الخوارزمية تصاميم المجموعة الأولى، وتنطلق منها لتكوين مجموعة جديدة من خلال تغيير عامل واحد أو أكثر عن تصاميم المجموعة الأولى، ومن ثم إجراء محاكاة أخرى لمعرفة أي التصاميم الجديدة كانت أفضل (المجموعة الثانية – موضحة في الصورة 28) تكرار هذه الخطوات عدد معين من المرات أو حتى الحصول على نتيجة معينة، تتم كل الخطوات السابقة بشكل آلي بالنسبة لنا، الأمر الذي كان يستغرق أشهر أو سنين من البحث اليدوي لتحقيقه. (Walton, et al., 2022)



صورة29 المجموعة الأولى من التصاميم الناتجة من الخوارزمية (Walton, et al., 2022)

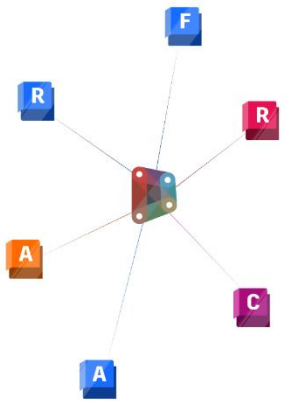


صورة28 المجموعة الأولى من التصاميم الناتجة من الخوارزمية(Walton, et al., 2022)

4-6-2 أدوات التصميم الخوارزمي الحاسوبي:

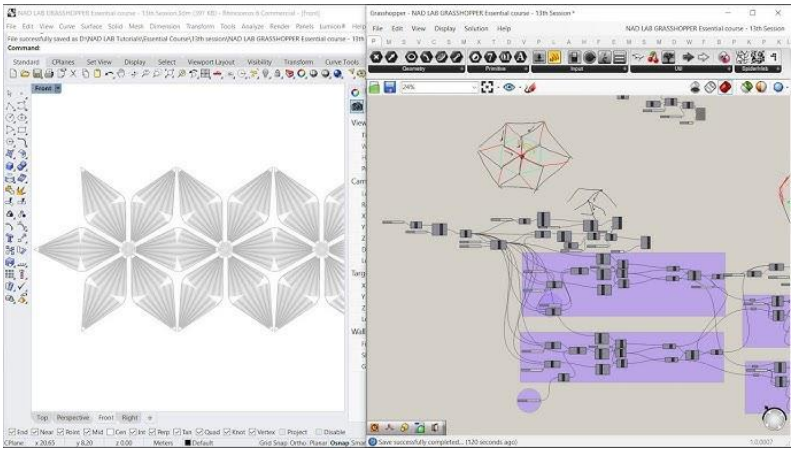
تعد الأدوات التي يقدمها فريق موقع GitHub الشـــهير للبرمجة من أهم وأكثر الأدوات انتشـــاراً في التصميم الخوارزمي، بالإضافة للعديد من الأدوات التي تقدمها شركات وفرق البرمجة بشكل مستمر، ونذكر منها:

Dynamo: انطلقت هذه الأداة بصفتها مقبساً لبرنامج ريفت ومنذ ذلك الوقت تطورت هذه الأدوات كثيراً لتصـبح منصـة قائمة بذاتها تساعد المصممين على استكشاف البرمجة المرئية وحل المشاكل، ســـاهمت علاقة Dynamo ببرنامج Revit في شـــهرة هذه الأداة وانتشـــارها وتبينها بشـــكل واســـع بين المختصـــين في قطاع البناء والهندســة، توضــح الصــورة 30 علاقة هذه الأداة ببرمجيات أخرى (D Dynamo, 2023)



صورة30 شعار برنامج Dynamo وعلاقته ببرامج أخرى(D Dynamo, 2023)

Grasshopper : وهي بيئة برمجة بصرية متكاملة بإحكام مع برنامج Rhino 3D، تميزت بإنها لا تتطلب مهارات برمجة نصية وتسمح للمصمم على الرغم من ذلك بناء صيغ توليدية مختلفة، والأهم من ذلك توفر مكتبة واسعة من المقابس لهذه الأداة، مقابس تتراوح من التحليلية إلى الجينية وحتى التطورية، وتساهم هذه المقابس بتمكين المصممين من البحث واستكشاف تصاميم مبتكرة واختبارها والوصول إلى حلول مثالية، تعد GH من أقوى أدوات التصميم الخوارزمي كما في الصورة 31.



صورة31 استخدام خوارزميات GH لتوليد فتحات نوافذ متحركة (نادي، 2019)

Khepri: وهي أداة تصميم خوارزمي مبنية على فكرة أن أداة واحدة للتصميم الخوارزمي يمكن استخدامها لنماذج BIM وCAD وحتى الألعاب، وتستخدم هذه الأداة لغة برمجية اسمها JULIA وذلك لأن تعلم لغة البرمجة هذه يعتبر عملية سلسة، لا تزال هذه الأداة قيد التطوير وتستخدم بشكل رئيسي للأبحاث العلمية من قبل المعهد التقاني العالي في لشبونة – البرتغال.

Luna Moth: وهو تطبيق ويب في لغتي البرمجة HTML5 وJavaScript وتستفيد من القدرات التصويرية المتاحة في متصفحات الويب مع إمكانية تصدير النماذج والنتائج إلى تطبيقات CAD التقليدية، تتيح هذه الأداة للمصممين كتابة خوارزمياتهم واختبارها دون الحاجة إلى التقيد أمام الحواسيب الشخصية وبنفس الوقت تمكنهم من استخدام النتائج من هذه الخوارزميات في أسلوب عملهم التقليدي.

Rosetta: وهي أداة تصميم توليدي تسمح بإنشاء وتعديل البيانات الخوارزمية في CAD و BIM باستخدام لغات برمجة مختلفة.

يمكن استخدام روزيتا في طيف واسع من البرامج مثل AutoCAD, ArchiCAD, Revit, Robot, SketchUp, Radiance وغيرها.

2-6-5 فوائد استخدام التصميم الخوارزمي في المجال الهندسي:

إن تبني أي نهج جديد في مجال ما لابد أن يكون له دوافع، هذه الدوافع قد تكون عيباً في النهج القديم أو فائدة مميزة في النهج الجديد، وللنهج الخوارزمي في التصميم فوائد كثيرة، أهمها:

الكفاءة: وهي أبرز الفوائد فقدرة التصميم الخوارزمي على توليد آلاف البدائل التصميمية في وقت قصير وتطبيق القواعد والأحكام عليها واختبارها توفر الوقت والجهد والمال، كل ذلك دون الحاجة إلى استثمار معرفي ضخم في تعلم لغات برمجة معقدة، فالاستثمار المعرفي في التصميم الخوارزمي لا يعتبر ضخماً أو مكلفاً ولا يتطلب أدوات معقدة للحصول على النتائج بل العكس تماماً مجرد معرفة بسيطة بالبرمجة البصرية تكون كافية للحصول على نتائج مبهرة.

الأتمتة: قدرة التصميم الخوارزمي على أتمته العمليات المتكررة وإنجازها في مدة قصيرة تجعل العمليات المعقدة المملة أمراً من الماضي وتقلل كذلك من احتمالية الخطأ البشري، وتزيد من الوقت المتاح للمصمم لاستكشاف خيارات تصميمية واختبارها.

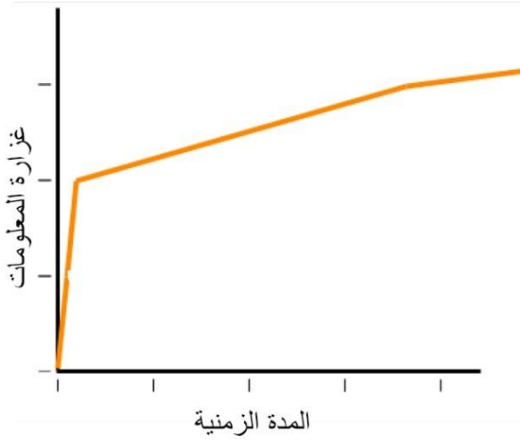
دقة أعلى وكلفة أقل: وهي النتاج الطبيعي للكفاءة والأتمتة فالتصـــميم الخوارزمي يتيح إمكانية تقليل موارد المشروع مثل عدد الموظفين وفي نفس الوقت يخفف مخاطر الأخطار ويرفع من الدقة.

الأفضـــلية: إن إضـــافة مهـــارات التصـــميم الخـــوارزمي لـــدى المصـــمم أو المؤسســـة تمـــنحهم أفضـلية علـى المنافسـين فـي السـوق، وتحسـن مسـارهم الـوظيفي وتسـاعدهم علـى إنجـاز أعمـال أكثر تعقيداً. (Hnin, 2022)

2-6-6 التحديات التي تواجه تبني التصميم الخوارزمي في مجال الهندسي:

مثل أي تقنية جديدة، يواجه التصميم الخوارزمي تحديات تقف أمام انتشاره وتبنيه، أهمها:

منحني تعلم حاد: على الرغم من أن تعلم تقنيات التصميم الخوارزمي ليست عملية صعبة مثل تعلم لغات البرمجة غير المرئية إلا أن الصعوبة في تعلم التصميم الخوارزمي باستخدام البرمجة المرئية تكون في البدايات كما يوضح الشكل رقم 4، الأمر الذي قد يكون منفراً لمن يحاول الدخول في هذ المجال



رسم توضيحي4 منحني تعلم يحاكي يوضح سرعة تعلم التصميم الخوارزمي (المؤلف)

فتعلم التصميم الخوارزمي لا يتعلق بتعلم البرمجة المرئية فقط، بل يجب أولاً فهم المنهجية الخوارزمية في التصميم وحل المشاكل، وهنا يكمن التحدي الحقيقي، أما البرمجة المرئية فهي في الواقع تستخدم في عملها مكونات بسيطة يتعامل المصمم مع مكونات مشابهة لها في برامج أخرى.

التردد في تبني تقنيات جديدة: مثل ما حصل مع تقنيات BIM لا يزال العديد من المصممين مترددين في تبني أي تقنيات جديدة لما يرافق عملية التحول من صعوبات، وذلك على الرغم من رؤيتهم لفوائد هذه التقنيات الجديدة.(Hnin, 2022)

2-6-7 أدوات التصميم الخوارزمي وتقنيات BIM:

كما ذكرنا في فقرات سابقة هناك بالفعل أدوات حاسوبية تمكن المهندسين والعاملين في قطاع البناء والتشييد من إدخال عملية التصميم الخوارزمي ضمن إطار عمل BIM ساهمت هذه الأدوات بشكل فعال في تمكين المهندسين والفنيين من الاستفادة من ميزات كلا الجانبين AD وBIM (Feist, et al., 2016)

بالإضافة للأدوات التي تدخل التصميم الخوارزمي في إطار عمل BIM بشكل مباشر، هناك أدوات أخرى (سواء كانت برامج أو مقابس) تتيح خاصية الربط Link مع منصات BIM مثل برمجية GH التي هي مقبس في برنامج Rhino 3D ويمكنها الاتصال ببرنامج ArchiCAD، واستغلال كامل إمكانيات BIM في عملية التصميم الخوارزمي من تعريف عناصر وجدولة وتوثق، ويكون هذا الاتصال لحظي في الوقت الحقيقي، بمعنى أن أي تعديل يحصل في أي من البرنامجين يتم معالجته بشكل فوري في البرنامج الآخر، حيث يقوم المستخدم بفتح كلا البرمجيتين معاً وربطهما فيصبحان كأنهما أداة واحدة، الأمر الذي يوفر كثير من الوقت والجهد عما لو كان على المستخدم تصدير الملف من برنامج إلى الآخر في كل مرة يجري فيها تعديلات أو يختبر متغيرات.

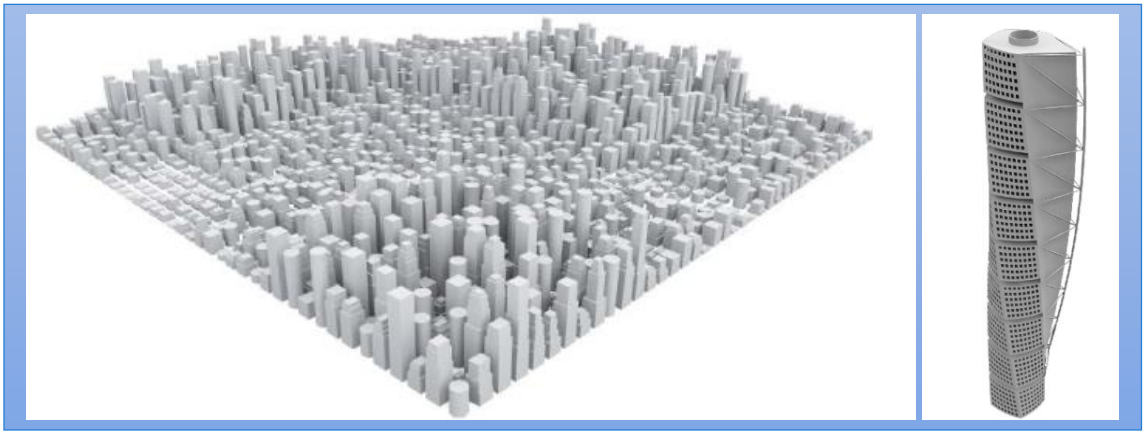
يقدم التصميم الخوارزمي وأدواته طريقة جديدة للتصميم تتسم بالتحدي ولكنها مرنة، وهي طريقة متجذرة في المنطق الخوارزمي، وقدم هذا النهج مجالًا جديدًا تمامًا لاستكشاف التصميم في مجال الهندسة، مما يسمح للمهندسين بتصور واستكشاف الأشكال الهندسية المعقدة بكفاءة، وساعد في تحسين عملية التصميم من خلال توفير طريقة لأتمتة المهام المتكررة التي تستغرق وقتًا طويلاً والتي كان يجب تنفيذها يدويًا من قبل، وإدراكًا لفائدة AD، استكشف العديد من المهندسين الأساليب الخوارزمية في ممارسة التصميم على مدار السنوات الماضية، وفي الوقت الحاضر، أصبحت المعرفة الخوارزمية مهارات ذات قيمة متزايدة في التصميم المعماري، وفي الوقت نفسه، أثبتت BIM نفسها كمنهجية تصميم جديدة مع إمكانية إدخال العديد من التحسينات على التصميم الهندسي، من تعزيز إنتاجية المشاريع إلى تقليل التكاليف الإجمالية، ونظرًا لقائمتها المتنامية من المزايا، اكتسبت تقنية BIM اهتمام المجتمع الهندسي بسرعة على مدار العقد ونصف العقد الماضيين، مع تبني أدوات BIM بوتيرة سريعة واستبدال أدوات CAD السابقة القائمة على الشكل والحجم في الممارسات الهندسية، وكانت المكاسب كبيرة لدرجة أن كبار الملاك من القطاعين الخاص والحكومي في جميع أنحاء العالم بدأوا في جعل

استخدام BIM في مشاريعهم إلزامياً كوسيلة لدفع الانتقال إلى BIM في صناعات AEC. (Feist, et al., 2016)

ومن أجل السماح بالتصميم الخوارزمي في سياق BIM، اقترحت (Feist, et al., 2016) نمذجة معلومات البناء القائمة على الخوارزميات (A–BIM)، وهو نهج خوارزمي لـــ BIM نعرّفه بأنه إنشاء نماذج BIM بواسطة الخوارزميات.

وعلى غرار التصميم الخوارزمي، يخلق A–BIM تحولاً نموذجيًا في عملية التصميم، حيث يقوم المصمم –بدلاً من تطوير النموذج مباشرة في تطبيق BIM– بتطوير الخوارزمية التي تولد النموذج في تطبيق BIM، وفي نفس الوقت وعلى غرار BIM يكون النموذج الناتج هو تمثيل ذكي ثلاثي الأبعاد لمبنى يحتوي على معلومات ذات صلة بالتصميم والبناء، ومقيد بقواعد بارامترية وترابطية، والذي لا يزال من الممكن مشاركته وتطويره في وقت واحد بين أعضاء فريق التصميم وتقديم طريقة أكثر مرونة وقابلية للتحكم وتكاملاً لإدارة بيانات المشروع.

تتمتع نمذجة معلومات البناء (A–BIM) بإمكانية تطبيق واسعة في التصميم المعماري: يمكن استخدامها لتطوير نماذج معيارية لأجزاء من المبنى، مثل واجهة المبنى، أو المباني بأكملها أو حتى مدينة بأكملها كما في الصورة 32.



صورة 32 مثال لتصاميم مبنى ومدينة باستخدام A-BIM (Feist, et al., 2016)

وفي هذا السياق، وجدت (Feist, et al., 2016) أن النهج الخوارزمي فعال بشكل خاص في المشاريع التي تتسم بدرجة كبيرة من التكرار، مثل ناطحات السحاب، أو في المشاريع التي تتطلب استكشافًا مكثفًا، مثل المباني ذات الأشكال الهندسية المعقدة، ونظرًا لطبيعتها الخوارزمية، يمكن أتمتة

عمليات النمذجة المتكررة ويمكن أن تكون الخوارزمية الناتجة ذات معايير عالية، مما يسمح باستكشاف وتقييم مجموعة واسعة من احتمالات التصميم بسرعة من خلال التجربة ببساطة باستخدام قيم متغيرات مختلفة، وعلاوة على ذلك، نظرًا لأن الكائنات المولدة مترابطة من الناحية المعيارية، يمكن نقل التغييرات في هذه المعايير إلى النموذج بأكمله.

3- الفصل الثالث: تجارب عالمية ناجحة

3-1 أبنية مستدامة تمت دراستها بواسطة BIM:

3-1-1 برج خليفة:

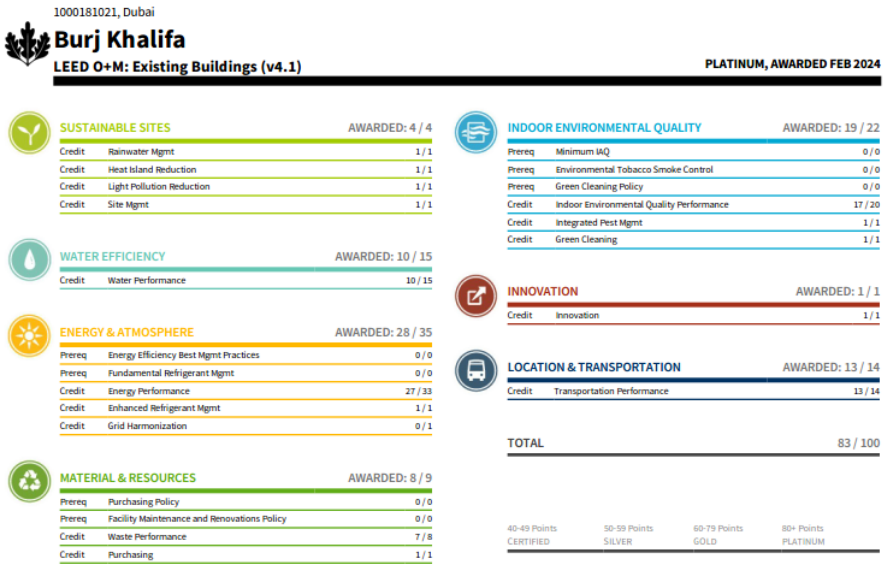
قام بتصميم برج خليفة المهندس المعماري أدريان سميث، وبدأ بناؤه عام 2004 واستمر حتى مطلع عام 2010 حتى مراسم الافتتاح الرسمي، صُمم برج خليفة ليكون المعلم الواقع في وسط منطقة كبيرة المساحة متعددة الاستخدامات تحتوي على 30 ألف وحدة سكنية و9 وحوالي 30 ألف متر مربع من المساحات الخضراء و19 برج سكني على الأقل بالإضافة إلى مول وبحيرة صناعية تبلغ مساحتها 12 ألف متر مربع وتظهر الصورة 33 برج خليفة وسط النسيج العمراني (Wikipedia, 2024).

صورة33 برج خليفة (إعمار، 2010)

استخدم برج خليفة -أطول ناطحة سحاب في العالم- BIM على نطاق واسع في بنائه، واستخدم المهندسون برنامج ETABS لإنشاء النموذج التحليلي لبرج خليفة، كما لعب BIM دورًا حاسمًا في إدارة الهندسة المعقدة للبرج، وتحسين تصميمه، والتنسيق بين آلاف عمال البناء والموردين. (Novatr, 2023)

خضع تصميم برج خليفة لأكثر من 40 اختبار مختلف، تراوحت الاختبارات بين اختبارات أساسية مثل حليل الضغط الهيكلي على الواجهة، وتحليل مناخي للتأثيرات على التراسات وما حول قاعدة البرج، كما خضع البرج لاختبارات على الظروف المؤقتة خلال مرحلة البناء على الرافعات وقد كانت النتائج آمنة في جميع الأوقات. (إعمار، 2010)

وحصل برج خليفة على الشهادة البلاتينية للاستدامة وفق نظام LEED الإصدار الرابع، بمجموع نقاط 83 من أصل 110 مفصلة في الصورة 34 (USGBC, 2021).



1000181021, Dubai

Burj Khalifa

LEED O+M: Existing Buildings (v4.1) — **PLATINUM, AWARDED FEB 2024**

SUSTAINABLE SITES	AWARDED: 4 / 4
Credit Rainwater Mgmt	1 / 1
Credit Heat Island Reduction	1 / 1
Credit Light Pollution Reduction	1 / 1
Credit Site Mgmt	1 / 1

WATER EFFICIENCY	AWARDED: 10 / 15
Credit Water Performance	10 / 15

ENERGY & ATMOSPHERE	AWARDED: 28 / 35
Prereq Energy Efficiency Best Mgmt Practices	0 / 0
Prereq Fundamental Refrigerant Mgmt	0 / 0
Credit Energy Performance	27 / 33
Credit Enhanced Refrigerant Mgmt	1 / 1
Credit Grid Harmonization	0 / 1

MATERIAL & RESOURCES	AWARDED: 8 / 9
Prereq Purchasing Policy	0 / 0
Prereq Facility Maintenance and Renovations Policy	0 / 0
Credit Waste Performance	7 / 8
Credit Purchasing	1 / 1

INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY	AWARDED: 19 / 22
Prereq Minimum IAQ	0 / 0
Prereq Environmental Tobacco Smoke Control	0 / 0
Prereq Green Cleaning Policy	0 / 0
Credit Indoor Environmental Quality Performance	17 / 20
Credit Integrated Pest Mgmt	1 / 1
Credit Green Cleaning	1 / 1

INNOVATION	AWARDED: 1 / 1
Credit Innovation	1 / 1

LOCATION & TRANSPORTATION	AWARDED: 13 / 14
Credit Transportation Performance	13 / 14

TOTAL	83 / 100

40-49 Points CERTIFIED | 50-59 Points SILVER | 60-79 Points GOLD | 80+ Points PLATINUM

صورة 34 نقاط الاستدامة لبرج خليفة وفق LEED V.4 (USGBC, 2021)

WHIZDOM 101 2-1-3

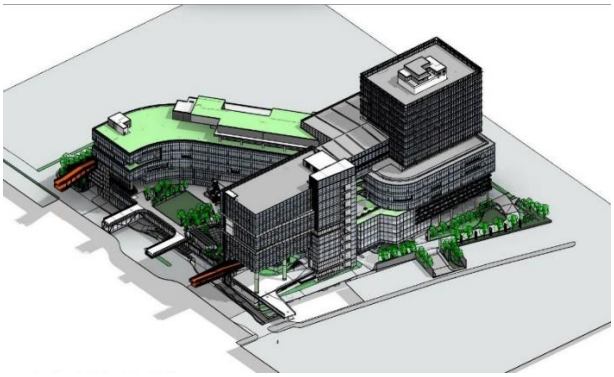
هو مشروع "ابتكار مستدام" – مدينة ذكية في بانكوك تعزز أسلوب حياة أكثر كفاءة وصحة، موضحة بالصورة رقم 35، تتميز المدينة بإمكانية الوصول إلى القطار العام وتستخدم الطاقة المولدة من خطوات الأقدام لإضاءة المسارات ليلاً. كما تشمل مسارات دراجات داخلية وممرات خارجية، والتي حصلت **على شهادة ذهبية من LEED** وTREES (تصنيف تايلاند للطاقة والاستدامة البيئية).

صورة 35 مبنى WHIZDOM في بانكوك (novatr, 2023)

بطاقة معلومات المشروع:

الجهة المالكة: Magnolia Quality Development Corporation LTD (MQDC)
المدينة: بانكوك
المصمم: HB Design Pte Ltd
سنة الإنجاز: 2018
المساحة: 68800 متر مربع
الاستخدام: مبنى تجاري وأغراض أخرى.

في البداية، كان فريق المشروع مترددًا في استخدام برامج BIM، حيث لم يكونوا على دراية بالعملية، ومع ذلك، تم تبني BIM تدريجيًا في سير العمل، بدءً من المهندسين المعماريين في (MQDC)، ثم امتد إلى المهندسين الإنشائيين والمقاولين والموردين. مع تحويل مشروع الابتكار المستدام الخاص بهم إلى مشروع BIM مما أدى إلى توفير كبير للوقت أثناء البناء، نموذج BIM للمبنى موضح بالصورة36.



صورة 36 لنموذج BIM للمبنى (WHIZDOM 101 (novatr, 2023

3-1-3 Silver Oak Winery

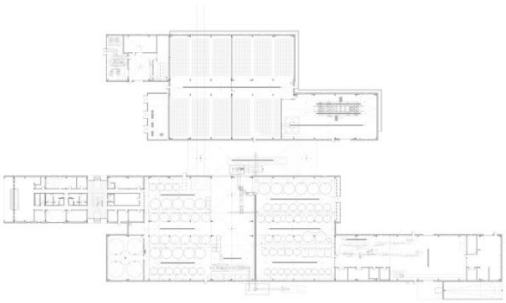
يقع المبنى التابع لعلامة Silver Oak على تلال وادي ألكسندر في كاليفورنيا الأمريكية، يتميز بتكويناته المنخفضة والبسيطة، يتضح شكل المبنى في الصورة رقم 37 ومخططه بالصورة رقم 38، استخدمت Silver Oak تقنية BIM لتجديد حرم أبنيتها بعد اندلاع حريق ولمنع الكوارث المستقبلية، ونتج عن ذلك حصول المبنى على **شهادة البلاتين** للريادة في تصميم الطاقة والبيئة **(LEED)**، مما يجعلها أول مصنع نبيذ في العالم يحصل على هذه الشهادة.

صورة 37 مباني (archdaily, 2021) Silver Oak winery

أعجب ديفيد دنكان (الرئيس التنفيذي لشركة Silver Oak Winery)، بشكل خاص بقدرة BIM على اختبار أنواع مختلفة من العزل لتجديد مصنع النبيذ، **قرر الفريق استخدام الجينز المعاد تدويره من Levi's للعزل**، وسمح لهم BIM بمقارنة الجوانب الحرارية والحجمية للقماش مقابل الألياف الزجاجية أو الرغوة. بالإضافة إلى ذلك، استفاد المقاولون الفرعيون من BIM 360 Glue في الميدان لمراجعات قابلية البناء، مما أدى إلى تبسيط عملية التحقق المتبادل بين وثائق البناء وتصميم نموذج المشروع.

بطاقة معلومات المشروع:

الجهة المالكة: Silver Oak
المدينة: سان فرانسيسكو
المصمم: Piechota Architecture
سنة الإنجاز: 2018
المساحة: 120000 متر مربع
الاستخدام: صناعي.



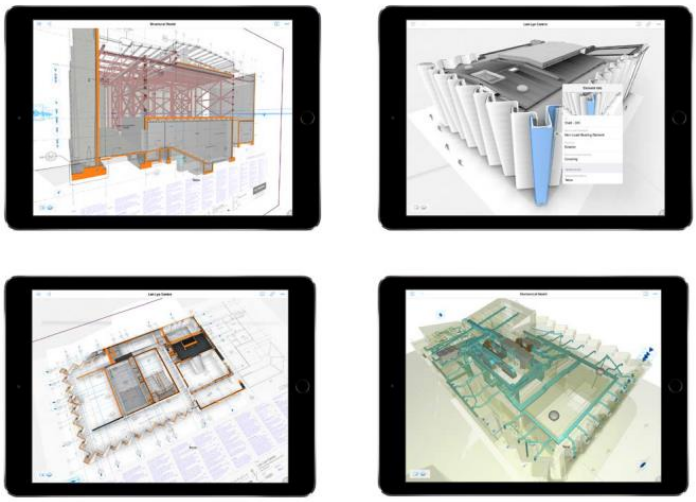
صورة 38 المساقط الأفقية لمصنع (arch daily, 2021) Silver Oak

Govett–Brewster Art Gallery 4-1-3

معرض جوفيت–بروستر للفنون هو متحف للفن المعاصر في نيوزيلندا يعرف أيضاً باسم "مركز لين ليه"، الذي يعرض مجموعة وأرشـيفات أشـهر فنان عالمي في نيوزيلندا، لين ليه. تحت إدارة مجلس مقاطعة "نيو بلايموث" ويظهر شكل المبنى المميز في الصورة 39.

صورة 39 معرض جوفيت بروستر (Graphisoft, 2018)

صُمم مركز لين لي لتلبية متطلبات متعددة، ومن الضروري تكامله مع المنطقة الفنية والثقافية الجديدة المقترحة، والتي ترتبط بالقلب التجاري للمدينة، كما كان من الضروري أيضًا أن يندمج بسلاسة مع منشأة فنية قديمة تم تحويلها لسينما وتظهر الصورة 40 نموذج BIM للمبنى (Graphisoft, 2018).



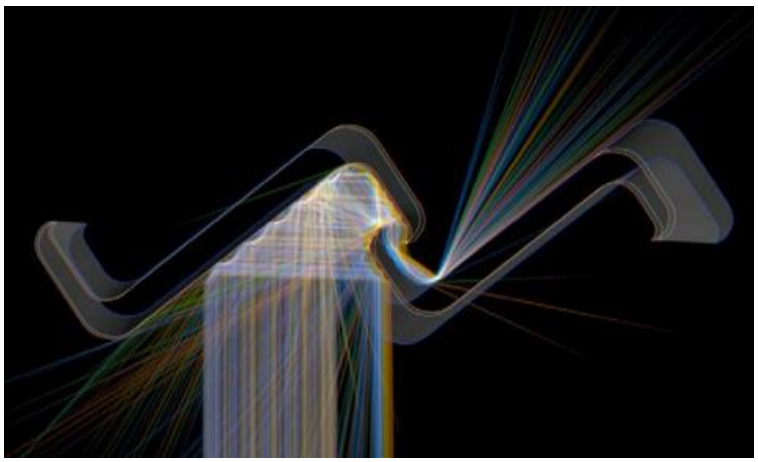
صورة 40 مجموعة مناظير ومساقط لمعرض جوفيت بروستر (Graphisoft, 2018)

بطاقة معلومات المشروع:

الجهة المالكة: حكومية نيوزيلندية
المدينة: نيو بلايموث
المصمم: Patterson Associates
سنة الإنجاز: 2016
المساحة: 3000 متر مربع
الاستخدام: ثقافي.

يقدم المبنى المكتمل مساحات عرض جديدة واستوديوهات تعليمية وسينما تتسع لـ 62 مقعدًا وأرشيف لين لي وغرفة مخصصة للمحركات لأعماله الحركية، المساحة الناتجة هي مساحة موقرة، تخلق تجربة حسية من الضوء باعتباره "معبدًا" للفن، تتكون واجهة المركز من 20 عمودًا من الخرسانة الجاهزة المنحنية بارتفاع 14 مترًا، تم تغطية الأسطح الخارجية لهذه الأعمدة بستائر من الفولاذ المقاوم للصدأ مصقولة للغاية مع زجاج مخفي بين كل عمودين، صممت أشكال الأعمدة لعكس الضوء من خلالها إلى المبنى وفقًا لوقت النهار وعكس الضوء مرة أخرى في الليل من الدخل كما في الصورة 41 تم تكوين الحجم والمواد والضوء والجو كما في الفيلم لتنشيط الحواس وإثارة البعد الشاعري، تعمل الواجهة كنوع من الكائنات الحية التي تربط بين المساحات الخارجية والداخلية التي تقسمها. (Graphisoft, 2018)

استخدم فريق التصميم العديد من أدوات BIM في نمذجة ودراسة المعرض، من هذه الأدوات والبرمجيات: ARCHICAD & BIMx, Revit Structures, MEP، Rhinoceros, Radiance،Ecotect, Odon, Iris.



صورة 41 دراسة انعكاس الضوء الطبيعي لإنارة معرض جوفيت بروستر (Graphisoft, 2018)

2-3 مبانٍ صحية نجحت في تبني ممارسات الاستدامة حول العالم:

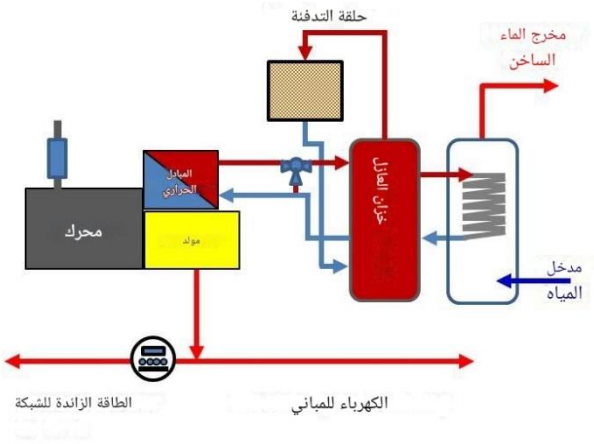
يوجد حول العالم أكثر من 1600 مؤسسة للرعاية الصحية تحمل شهادات في الاستدامة، وبمساحة كلية تتجاوز 22 مليون متر مربع، من هذه المؤسسات ندرس عينة من الأعلى استدامة بينها:

3-2-1 مركز DELL لطب الأطفال – تكساس:

يعد مركز DELL الطبي للأطفال في وسط تكساس المنشأة الوحيدة المستقلة المخصصة لطب الأطفال في المنطقة ومركزًا لعلاج الصدمات من المستوى الأول، تظهر الصورة 42 مركز DELL ويتسع لـــ 300 سرير، كما أنه **المركز الطبي الأول في العالم يحصل على الشهادة البلاتينية في الاستدامة من LEED**، ويعد نظام الطاقة والحرارة المدمج –CHP– في المستشفى جزءاً أساسياً من هذا الإنجاز. (betterbuildings, 2013)

صورة 42 صورة جوية لمركز DELL لطب الأطفال(nativesolar, 2024)

عمل نظام الطاقة والحرارة المدمج على الاستفادة بأكبر نسبة ممكنة من الوقود الذي يستعمله هذا النظام لتوليد الطاقة، إذ يتم استخدام الطاقة الحرارية الناتجة عن المحرك والطاقة الحرارية من غاز العادم لتسخين المساحة المأهولة وتسخين مياه الخدمة توضح الصورة 43 شكلاً مبسطاً لهذا النظام.

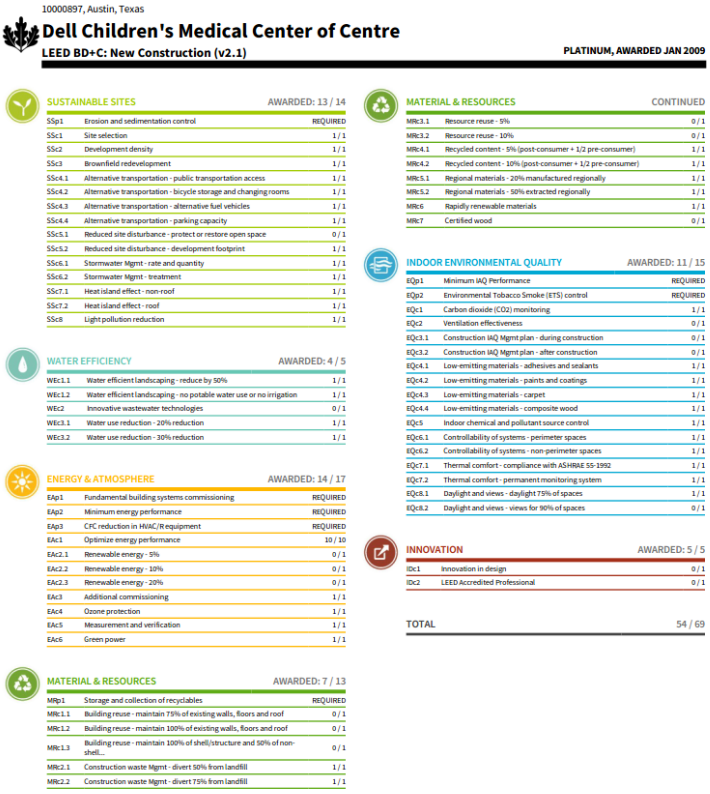


صورة43 مخطط يوضح عناصر نظام CHP (ESC, 2013)

تبلغ القدرة الإنتاجية لنظام –CHP– 4.5 ميغا واط، ويعمل بالغاز الطبيعي وبنسبة كفاءة60%، ونتج عنه تخفيض انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون

بنسـبة 40% وثاني أكسـيد الكبريت بنسـبة 99% وأكاسـيد النتروجين بنسـبة 82% مقارنة بأنظمة الطاقة التقليدية.

-وحتى بعد إنشاءه استمر المركز بمتابعة أهداف الاستدامة، ففي التوسعة الحاصلة عام 2013 والتي أضـافت 72 سـريراً طبياً إلى الخدمة، وتم تركيب مصـفوفة ألواح طاقة كهروضـوئية باسـتطاعة 50 كيلو واط بالإضافة إلى مصفوفة طاقة حرارية شمسية بقدرة ثلاثة ملايين وحـدة حراريـة، **هـذه الأنظمـة وفرت على المركز 25% من اسـتهلاك الطاقة بمختلف أشـكالها، كما وفرت 40% من تكاليف إنتاج الطاقة** (betterbuildings, 2013)، حصـل المركز على 54 نقطة اسـتدامة من أصـل 69 وفق نظام LEED الإصـدار الثاني -الإصـدار المعتمد حينها- كما يتضح بالصورة 44.



10000897, Austin, Texas

Dell Children's Medical Center of Centre

LEED BD+C: New Construction (v2.1) — PLATINUM, AWARDED JAN 2009

SUSTAINABLE SITES	AWARDED: 13 / 14	
SSp1	Erosion and sedimentation control	REQUIRED
SSc1	Site selection	1 / 1
SSc2	Development density	1 / 1
SSc3	Brownfield redevelopment	1 / 1
SSc4.1	Alternative transportation - public transportation access	1 / 1
SSc4.2	Alternative transportation - bicycle storage and changing rooms	1 / 1
SSc4.3	Alternative transportation - alternative fuel vehicles	1 / 1
SSc4.4	Alternative transportation - parking capacity	1 / 1
SSc5.1	Reduced site disturbance - protect or restore open space	0 / 1
SSc5.2	Reduced site disturbance - development footprint	1 / 1
SSc6.1	Stormwater Mgmt - rate and quantity	1 / 1
SSc6.2	Stormwater Mgmt - treatment	1 / 1
SSc7.1	Heat island effect - non-roof	1 / 1
SSc7.2	Heat island effect - roof	1 / 1
SSc8	Light pollution reduction	1 / 1

WATER EFFICIENCY	AWARDED: 4 / 5	
WEc1.1	Water efficient landscaping - reduce by 50%	1 / 1
WEc1.2	Water efficient landscaping - no potable water use or no irrigation	1 / 1
WEc2	Innovative wastewater technologies	0 / 1
WEc3.1	Water use reduction - 20% reduction	1 / 1
WEc3.2	Water use reduction - 30% reduction	1 / 1

ENERGY & ATMOSPHERE	AWARDED: 14 / 17	
EAp1	Fundamental building systems commissioning	REQUIRED
EAp2	Minimum energy performance	REQUIRED
EAp3	CFC reduction in HVAC/R equipment	REQUIRED
EAc1	Optimize energy performance	10 / 10
EAc2.1	Renewable energy - 5%	0 / 1
EAc2.2	Renewable energy - 10%	0 / 1
EAc2.3	Renewable energy - 20%	0 / 1
EAc3	Additional commissioning	1 / 1
EAc4	Ozone protection	1 / 1
EAc5	Measurement and verification	1 / 1
EAc6	Green power	1 / 1

MATERIAL & RESOURCES	AWARDED: 7 / 13	
MRp1	Storage and collection of recyclables	REQUIRED
MRc1.1	Building reuse - maintain 75% of existing walls, floors and roof	0 / 1
MRc1.2	Building reuse - maintain 100% of existing walls, floors and roof	0 / 1
MRc1.3	Building reuse - maintain 100% of shell/structure and 50% of non-shell...	0 / 1
MRc2.1	Construction waste Mgmt - divert 50% from landfill	1 / 1
MRc2.2	Construction waste Mgmt - divert 75% from landfill	1 / 1

MATERIAL & RESOURCES	CONTINUED	
MRc3.1	Resource reuse - 5%	0 / 1
MRc3.2	Resource reuse - 10%	0 / 1
MRc4.1	Recycled content - 5% (post-consumer + 1/2 pre-consumer)	1 / 1
MRc4.2	Recycled content - 10% (post-consumer + 1/2 pre-consumer)	1 / 1
MRc5.1	Regional materials - 20% manufactured regionally	1 / 1
MRc5.2	Regional materials - 50% extracted regionally	1 / 1
MRc6	Rapidly renewable materials	1 / 1
MRc7	Certified wood	0 / 1

INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY	AWARDED: 11 / 15	
EQp1	Minimum IAQ Performance	REQUIRED
EQp2	Environmental Tobacco Smoke (ETS) control	REQUIRED
EQc1	Carbon dioxide (CO2) monitoring	1 / 1
EQc2	Ventilation effectiveness	0 / 1
EQc3.1	Construction IAQ Mgmt plan - during construction	0 / 1
EQc3.2	Construction IAQ Mgmt plan - after construction	0 / 1
EQc4.1	Low-emitting materials - adhesives and sealants	1 / 1
EQc4.2	Low-emitting materials - paints and coatings	1 / 1
EQc4.3	Low-emitting materials - carpet	1 / 1
EQc4.4	Low-emitting materials - composite wood	1 / 1
EQc5	Indoor chemical and pollutant source control	1 / 1
EQc6.1	Controllability of systems - perimeter spaces	1 / 1
EQc6.2	Controllability of systems - non-perimeter spaces	1 / 1
EQc7.1	Thermal comfort - compliance with ASHRAE 55-1992	1 / 1
EQc7.2	Thermal comfort - permanent monitoring system	1 / 1
EQc8.1	Daylight and views - daylight 75% of spaces	1 / 1
EQc8.2	Daylight and views - views for 90% of spaces	0 / 1

INNOVATION	AWARDED: 5 / 5	
IDc1	Innovation in design	0 / 1
IDc2	LEED Accredited Professional	0 / 1

TOTAL	54 / 69

صورة 44 نقاط الاستدامة لمركز DELL الطبي وفق LEED v.2.1 (USGBC, 2021)

3-2-2 مستشفى باغجلار Bahçelievler -اسطنبول:

مستشفى باغجلار أحد أكثر المجمعات الصحية شمولاً في العالم، ويقدم فهمًا جديداً كلياً لقطاع الرعاية الصحية وتظهر الصورة 45 شكل المشفى، بمساحة تبلغ 72 ألف متراً مربعاً و320 سريراً و15 غرفة عمليات و49 سريراً للعناية المركزة، وبطاقم يتألف من قرابة 700 فرد يقدم المستشفى خدمات الرعاية الطبية بعدة لغات: العربية والفرنسية والألمانية والتركية والإنجليزية وغيرها. (medclinics, 2018)

صورة 45 صورة جوية لمستشفى باغجلار ومحيطه (Memorial Consulting, 2021)

ويعد مستشفى باغجلار أول مؤسسة صحية **تحمل شهادة LEED البلاتينية** للاستدامة ضمن فئة "المستشفيات المتكاملة" بنتيجة نهائية 83 نقطة من 110 على مقياس LEED. (USGBC, 2021)

وتم اتخاذ عدة إجراءات لتحقيق هذا المستوى من الاستدامة في المستشفى، منها نموذج طاقة ونموذج وتحليل للضوء الطبيعي وتحليل التهوية الطبيعية، وقد تميز مستشفى باغجلار في معظم مجالات الاستدامة في معظم المجالات، فمثلاً حصل المستشفى على 8 من أصل 9 نقاط في فئة توفير المياه كما في الصورة 46، ومن خلال إجراءات مثل أبراج التبريد وأنظمة المخلفات سجل مستشفى باغجلار رقماً جديداً لمستويات الاستدامة المائية في مباني الرعاية الصحية، وعلامة كاملة في كل من الإبداع والأهمية الإقليمية. (Erketasarim, 2019)

1000055744, Istanbul

Memorial Bahcelievler Hospital

LEED BD+C: Healthcare (v2009) — **PLATINUM, AWARDED JAN 2018**

SUSTAINABLE SITES — AWARDED: 13 / 18

SSp1	Construction activity pollution prevention	REQUIRED
SSp2	Environmental site assessment	REQUIRED
SSc1	Site selection	1 / 1
SSc2	Development density and community connectivity	1 / 1
SSc3	Brownfield redevelopment	0 / 1
SSc4.1	Alternative transportation - public transportation access	3 / 3
SSc4.2	Alternative transportation - bicycle storage and changing rooms	1 / 1
SSc4.3	Alternative transportation - low-emitting and fuel-efficient vehicles	1 / 1
SSc4.4	Alternative transportation - parking capacity	1 / 1
SSc5.1	Site development - protect or restore habitat	1 / 1
SSc5.2	Site development - maximize open space	1 / 1
SSc6.1	Stormwater design - quantity control	1 / 1
SSc6.2	Stormwater design - quality control	0 / 1
SSc7.1	Heat island effect - nonroof	1 / 1
SSc7.2	Heat island effect - roof	1 / 1
SSc8	Light pollution reduction	0 / 1
SSc9.1	Connection to the natural world - places of respite	0 / 1
SSc9.2	Connection to the natural world - direct exterior access for patients	0 / 1

WATER EFFICIENCY — AWARDED: 8 / 9

WEp1	Water use reduction	REQUIRED
WEp2	Minimize potable water use for medical equipment cooling	REQUIRED
WEc1	Water efficient landscaping - no potable water use or no irrigation	0 / 1
WEc2	Water use reduction - measurement and verification	2 / 2
WEc3	Water use reduction	3 / 3
WEc4.1	Water use reduction - building equipment	1 / 1
WEc4.2	Water use reduction - cooling towers	1 / 1
WEc4.3	Water use reduction - food waste systems	1 / 1

ENERGY & ATMOSPHERE — AWARDED: 29 / 39

EAp1	Fundamental commissioning of building energy systems	REQUIRED
EAp2	Minimum energy performance	REQUIRED
EAp3	Fundamental refrigerant Mgmt	REQUIRED
EAc1	Optimize energy performance	24 / 24
EAc2	On-site renewable energy	0 / 8
EAc3	Enhanced commissioning	1 / 2
EAc4	Enhanced refrigerant Mgmt	1 / 1
EAc5	Measurement and verification	2 / 2
EAc6	Green power	0 / 1
EAc7	Community contaminant prevention - airborne releases	1 / 1

MATERIAL & RESOURCES — AWARDED: 8 / 16

MRp1	Storage and collection of recyclables	REQUIRED
MRp2	PBT source reduction - mercury	REQUIRED
MRc1.1	Building reuse - maintain existing walls, floors and roof	0 / 3
MRc1.2	Building reuse - maintain interior nonstructural elements	0 / 1
MRc2	Construction waste Mgmt	2 / 2
MRc3	Sustainably sourced materials and products	4 / 4
MRc4.1	PBT source reduction - mercury in lamps	1 / 1

INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY — AWARDED: 15 / 18

EQp1	Minimum IAQ performance	REQUIRED
EQp2	Environmental Tobacco Smoke (ETS) control	REQUIRED
EQp3	Hazardous material removal or encapsulation (renovations only)	REQUIRED
EQc1	Outdoor air delivery monitoring	1 / 1
EQc2	Acoustic environment	1 / 2
EQc3.1	Construction IAQ Mgmt plan - during construction	1 / 1
EQc3.2	Construction IAQ Mgmt plan - before occupancy	1 / 1
EQc4	Low-emitting materials	2 / 4
EQc5	Indoor chemical and pollutant source control	1 / 1
EQc6.1	Controllability of systems - lighting	1 / 1
EQc6.2	Controllability of systems - thermal comfort	1 / 1
EQc7	Thermal comfort - design and verification	1 / 1
EQc8.1	Daylight and views - daylight	2 / 2
EQc8.2	Daylight and views - views	3 / 3

INNOVATION — AWARDED: 6 / 6

IDp1	Integrated project planning and design	REQUIRED
IDc1	Innovation in design	REQUIRED
IDc2	LEED Accredited Professional	REQUIRED
IDc3	Integrated project planning and design	REQUIRED

REGIONAL PRIORITY CREDITS — AWARDED: 4 / 4

EAc1	Optimize energy performance	1 / 1
EAc2	On-site renewable energy	0 / 1
EQc7	Thermal comfort - design and verification	1 / 1
SSc6.1	Stormwater design - quantity control	1 / 1
SSc7.2	Heat island effect - roof	1 / 1

TOTAL — 83 / 110

40-49 Points CERTIFIED · 50-59 Points SILVER · 60-79 Points GOLD · 80+ Points PLATINUM

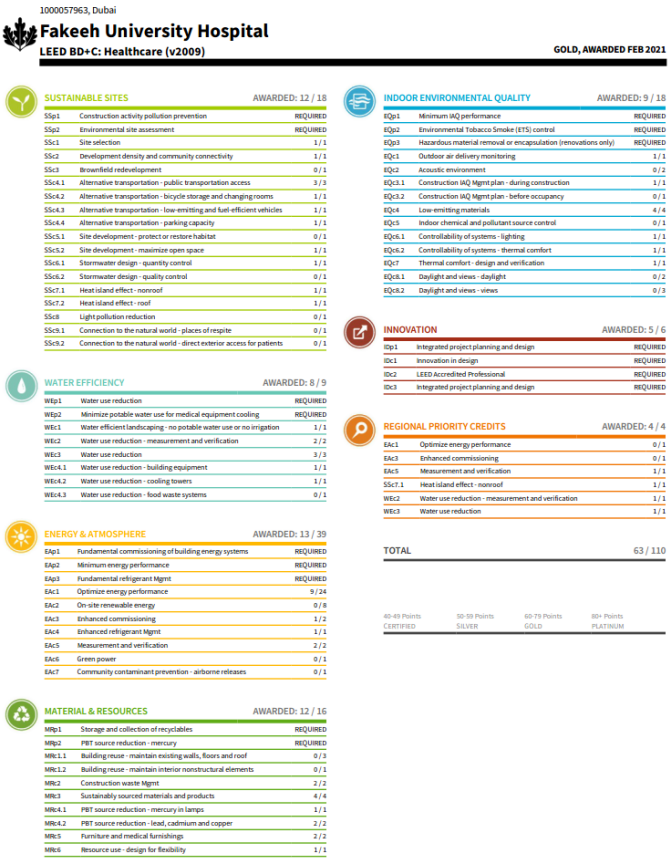
صورة46 نقاط الاستدامة في مستشفى باغجلار وفق(USGBC, 2021) LEED

3-2-3 مستشفى فقيه الجامعي –دبي:

يعد مستشفى فقيه الجامعي في دبي واحد من أضخم الاستثمارات في مجال الرعاية الصحية بتكلفة إجمالية تصل إلى 500 مليون دولار، ومساحة 92 ألف متر مربع، 350 سريراً 13 غرفة عمليات و35 وحدة عناية مركزة منها 10 للأطفال، و15 وحدة لحديثي الولادة، يقدم مستشفى فقيه الرعاية الصحية لأكثر من 700 ألف مستفيد سنوياً، تظهر الصورة 47 شكل المشفى (مجموعة فقيه، 2024).

صورة 47 مبنى مستشفى فقيه الجامعي في دبي (مجموعة فقيه، 2024)

يوصف مستشفى فقيه الجامعي بأنه واحة في وسط الصحراء الإماراتية ويعد من المستشفيات الذكية، حيث تستخدم أنظمة متطورة لمراقبة درجات الحرارة والرطوبة والبيئة الداخلية في المبنى للتحكم بنظام التهوية والتكييف وتحسين كفاءتها وتقليل الهدر، كما يتبع المستشفى خطة للتحول إلى موارد ومشتريات مستدامة بالإضافة لرفع كفاءة استخدام هذه الموارد (مجموعة فقيه، 2024)، من خلال سياسة الاستدامة المتبعة فقد حصل مستشفى فقيه الجامعي في دبي على **شهادة الاستدامة الذهبية من LEED** الإصدار الثالث بمجموع نهائي 63 نقطة من أصل 110 كما يتضح بالصورة 48.



1000057963, Dubai

Fakeeh University Hospital

LEED BD+C: Healthcare (v2009) — **GOLD, AWARDED FEB 2021**

SUSTAINABLE SITES — AWARDED: 12 / 18

SSp1	Construction activity pollution prevention	REQUIRED
SSp2	Environmental site assessment	REQUIRED
SSc1	Site selection	1 / 1
SSc2	Development density and community connectivity	1 / 1
SSc3	Brownfield redevelopment	0 / 1
SSc4.1	Alternative transportation - public transportation access	3 / 3
SSc4.2	Alternative transportation - bicycle storage and changing rooms	1 / 1
SSc4.3	Alternative transportation - low-emitting and fuel-efficient vehicles	1 / 1
SSc4.4	Alternative transportation - parking capacity	1 / 1
SSc5.1	Site development - protect or restore habitat	0 / 1
SSc5.2	Site development - maximize open space	1 / 1
SSc6.1	Stormwater design - quantity control	1 / 1
SSc6.2	Stormwater design - quality control	0 / 1
SSc7.1	Heat island effect - nonroof	1 / 1
SSc7.2	Heat island effect - roof	1 / 1
SSc8	Light pollution reduction	0 / 1
SSc9.1	Connection to the natural world - places of respite	0 / 1
SSc9.2	Connection to the natural world - direct exterior access for patients	0 / 1

WATER EFFICIENCY — AWARDED: 8 / 9

WEp1	Water use reduction	REQUIRED
WEp2	Minimize potable water use for medical equipment cooling	REQUIRED
WEc1	Water efficient landscaping - no potable water use or no irrigation	1 / 1
WEc2	Water use reduction - measurement and verification	2 / 2
WEc3	Water use reduction	3 / 3
WEc4.1	Water use reduction - building equipment	1 / 1
WEc4.2	Water use reduction - cooling towers	1 / 1
WEc4.3	Water use reduction - food waste systems	0 / 1

ENERGY & ATMOSPHERE — AWARDED: 13 / 39

EAp1	Fundamental commissioning of building energy systems	REQUIRED
EAp2	Minimum energy performance	REQUIRED
EAp3	Fundamental refrigerant Mgmt	REQUIRED
EAc1	Optimize energy performance	9 / 24
EAc2	On-site renewable energy	0 / 8
EAc3	Enhanced commissioning	1 / 2
EAc4	Enhanced refrigerant Mgmt	1 / 1
EAc5	Measurement and verification	2 / 2
EAc6	Green power	0 / 1
EAc7	Community contaminant prevention - airborne releases	0 / 1

MATERIAL & RESOURCES — AWARDED: 12 / 16

MRp1	Storage and collection of recyclables	REQUIRED
MRp2	PBT source reduction - mercury	REQUIRED
MRc1.1	Building reuse - maintain existing walls, floors and roof	0 / 3
MRc1.2	Building reuse - maintain interior nonstructural elements	0 / 1
MRc2	Construction waste Mgmt	2 / 2
MRc3	Sustainably sourced materials and products	4 / 4
MRc4.1	PBT source reduction - mercury in lamps	1 / 1
MRc4.2	PBT source reduction - lead, cadmium and copper	2 / 2
MRc5	Furniture and medical furnishings	2 / 2
MRc6	Resource use - design for flexibility	1 / 1

INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY — AWARDED: 9 / 18

EQp1	Minimum IAQ performance	REQUIRED
EQp2	Environmental Tobacco Smoke (ETS) control	REQUIRED
EQp3	Hazardous material removal or encapsulation (renovations only)	REQUIRED
EQc1	Outdoor air delivery monitoring	1 / 1
EQc2	Acoustic environment	0 / 2
EQc3.1	Construction IAQ Mgmt plan - during construction	1 / 1
EQc3.2	Construction IAQ Mgmt plan - before occupancy	0 / 1
EQc4	Low-emitting materials	4 / 4
EQc5	Indoor chemical and pollutant source control	0 / 1
EQc6.1	Controllability of systems - lighting	1 / 1
EQc6.2	Controllability of systems - thermal comfort	1 / 1
EQc7	Thermal comfort - design and verification	1 / 1
EQc8.1	Daylight and views - daylight	0 / 2
EQc8.2	Daylight and views - views	0 / 3

INNOVATION — AWARDED: 5 / 6

IDp1	Integrated project planning and design	REQUIRED
IDc1	Innovation in design	REQUIRED
IDc2	LEED Accredited Professional	REQUIRED
IDc3	Integrated project planning and design	REQUIRED

REGIONAL PRIORITY CREDITS — AWARDED: 4 / 4

EAc1	Optimize energy performance	0 / 1
EAc3	Enhanced commissioning	0 / 1
EAc5	Measurement and verification	1 / 1
SSc7.1	Heat island effect - nonroof	1 / 1
WEc2	Water use reduction - measurement and verification	1 / 1
WEc3	Water use reduction	1 / 1

TOTAL — 63 / 110

40-49 Points	50-59 Points	60-79 Points	80+ Points
CERTIFIED	SILVER	GOLD	PLATINUM

صورة 48 نقاط الاستدامة لمستشفى فقيه الجامعي وفق LEED (USGBC, 2021)

3-2-4 مستشفيات مستدامة أخرى في الوطن العربي:

مستشفى زليخة –الشارقة: يعد مستشفى زليخة أول مستشفى حصل على الشهادة البلاتينية من LEED في منطقة الشرق الأوسط، وتميز بحلوله المبتكرة في مختلف جوانب الاستدامة من إدخال عناصر طبيعية في البيئة الداخلية إلى الوصول لحلول مبتكرة في إدارة المخلفات بواسطة حاويات ذكية، تعمل هذه الحاويات على فصل النفايات وتتبع التخلص منها في الوقت الفعلي وتقدم مكافآت لموظفي المستشفى للممارسات المستدامة، مما يجعل إدارة النفايات ليس فقط أكثر كفاءة ولكن أيضًا أكثر تحفيزًا. (Renie, 2024)

المستشفى الأمريكي – دبي: يتضمن إطار ممارسات الاستدامة في المستشفى الأمريكي توفير الطاقة عن طريق استبدال الإضاءة التقليدية بصمام ثنائي باعث للضوء(LED) ، وزيادة المساحات الخضـــراء في مقراته، كذلك الحد من انبعاثات الوقود، وإدارة النفايات الطبية بطرق تعتني بالبيئة، واستخدام مواد البناء الصديقة للبيئة، وحلول التنظيف الصديقة للبيئة، وتحسين جودة الهواء الداخلي، وتقليل اســـتهلاك الطاقة عن طريق التحكم في تدفق الهواء، ونجح المســـتشـــفى في تخفيض كثافة اســـتخدام الطاقة (EUI) من 47.00 في عام 2020 إلى 34.00 في عام 2022، ما أدى إلى توفير نحو20,384 ميجاواط في الســـاعة (ميجاواط/ســـاعة) من الكهرباء، بجانب توفير 2,176 جالونًا من المياه يوميًا باســـتخدام صـــنابير بتقنية عدم اللمس، و21,900 لتر ســـنويًا باستخدام مراحيض ذات التدفق المزدوج. (المستشفى الأمريكي في دبي، 2024)

مستشفى شرم الشيخ الدولي –شرم الشيخ: يعد حجر الأساس في الاستدامة في قطاع الرعاية الصحية في القطر المصري الشقيق، وهو أول مستشفى مصري مستدام حاصل على اعتراف هيئات دولية في الاستدامة، وتظهر الصورة 49 لقطة خارجية للمشفى وذلك بعد حصوله على شهادة الاستدامة من GGHH شبكة المستشفيات العالمية الخضراء (الهيئة العامة للرعاية الصحية في مصر، 2024).

صورة 49 مستشفى شرم الشيخ الدولي(https://www.dostor.org/2112701)

3-3 مؤسسات نجحت في استخدام أسلوب التصميم الخوارزمي:

3-3-1 مقدمة:

استخدام الخوارزميات في الهندسة المعمارية ليس ظاهرة حديثة، بل يرجع إلى ما قبل وجود أجهزة الكمبيوتر بوقت طويل، حيث كانت الخوارزميات تُستخدم لوصف وتوضيح عمليات التصميم أو الأهداف من أجل تحقيق تصميمات ذات سمات معينة، ومع التطورات الأخيرة الحاصلة لبيئات البرامج وللغات تصميم البرامج التي تشجع المهندسين المعماريين على البدء في استخدام العمليات الخوارزمية كعوامل نشطة لتوليد النماذج في عملية التصميم (Feist, et al., 2016).

في الوقت الحاضر، أصبحت المعرفة الرقمية والبرمجية مهارات أساسية مطلوبة من المصممين الشباب. تمتلك معظم الجامعات بالفعل أدوات البرمجة والرقمية كجزء من مناهجها المعمارية وقد أنشأت العديد منها بالفعل درجات تخصص جديدة في البرمجة والحوسبة خصيصًا للمهندسين المعماريين، والنتيجة هي جيل جديد من المحترفين المتمرسين في المجال الرقمي، سواء من المهندسين المعماريين أو المبرمجين، والذي كان يشكل مجالًا جديدًا ومثيرًا للاهتمام من الخبرة بين المجالين، يوصف هذا المجال بأنه "يشغله خبراء لديهم المعرفة في التصميم والبرمجة والتحليل الثابت، والذين يمكنهم حل مشاكل التصميم الهيكلي والتصنيع الناشئة عن الهندسة المعقدة للتصميم المعماري ذي الشكل الحر" (Feist, et al., 2016). ومن أبرز الكيانات المعمارية والهندسية التي نجحت وأبدعت في استخدام هذا الأسلوب من التصميم في مشاريعها نستعرض الأمثلة التالية:

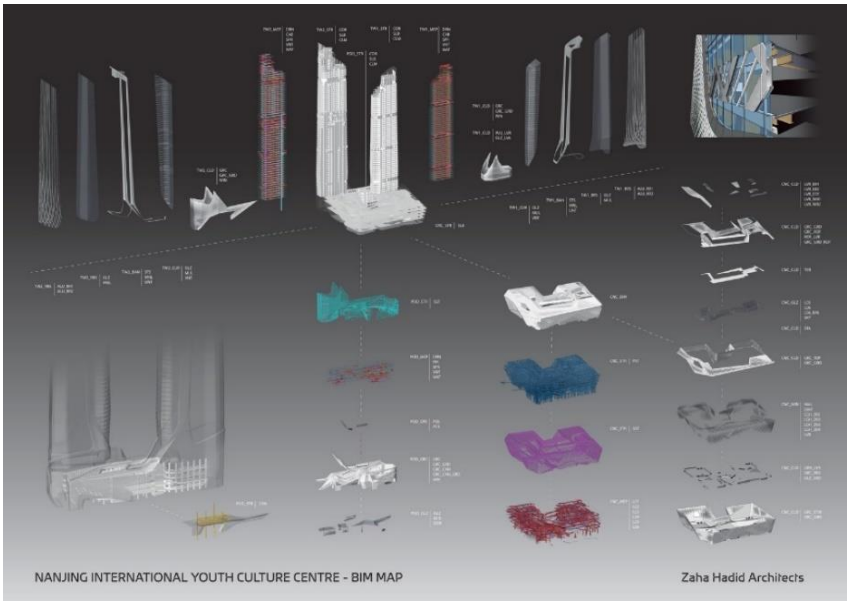
3-3-2 زها حديد للتصاميم المعمارية:

تأسست الشركة ومقرها لندن عام 1978 على يد المعمارية العراقية "زها محمد حديد" وحملت اسمها، عرفت المعمارية زها حديد بتصاميمها الخارجة عن المألوف والتي تتحدى الجاذبية، صممت ونفذت من خلال شركتها أكثر من 900 مشروع حول العالم. (Wikipedia، 2021)

حازت مشاريع شركة زها حديد للتصاميم المعمارية على العديد من الجوائز بمختلف أنواعها، وبرعت بتكريس فكرة التصميم الخوارزمي في مشاريعها واحتضنتها ضمن إطار عمل BIM، وتجلى هذا النجاح في مشروع مبنى: "المركز الثقافي الشبابي العالمي" في مدينة نانجينغ في الصين موضحا بالصورة50.

صورة 50 المركز الثقافي الشبابي العالمي- نانجينغ-الصين (Arch daily, 2019)

نجحت شركة زها حديد للتصاميم المعمارية باستخدام خبراتها ومهاراتها في التصميم الرقمي ثلاثي الأبعاد في BIM بتقليص مدة العمل على المشروع في الموقع إلى 18 شهراً فقط، توضح الصورة 51 عناصر نموذج BIM للمبنى، ويعد هذا المبنى أول مبنى في الصين يتم إنشاءه بالاتجاهين معاً، حيث بدأ العمل بالبرج عند مستوى الشارع باتجاه الأعلى نحو القمة وفي نفس الوقع نحو الأسفل باتجاه الأقبية.(Archdaily, 2019) .



صورة 51 خريطة عناصر BIM لمبنى المركز الثقافي الشبابي العالمي(Archdaily, 2019)

تعاونت زها حديد مع المهندس Buro Happold لتصميم غلاف المبنى المميز الذي نجح بإبراز جمالية الأنماط الخوارزمية في العمارة، تتضح الأنماط الخوارزمية في المبنى صورة 56.

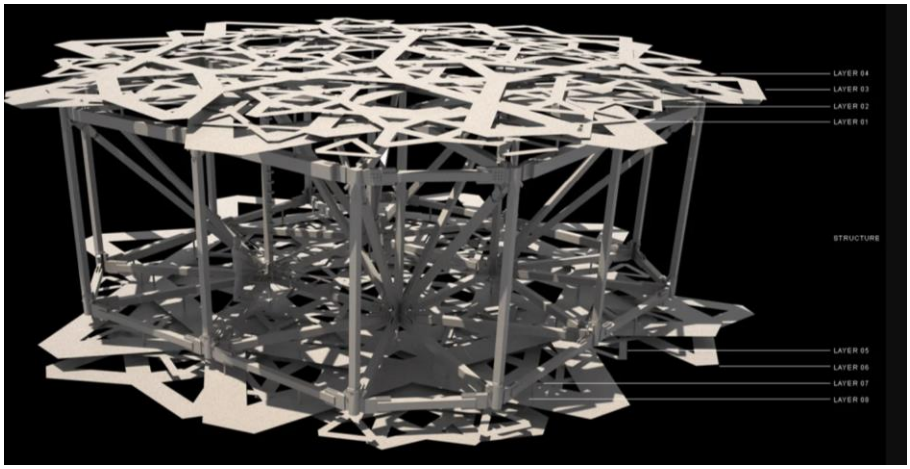
صورة 52 الغلاف الخارجي لمبنى المركز الثقافي الشبابي العالمي (Archdaily, 2019)

3-3-3 جان نوفيل:

يعد الفرنسي جان نوفيل أحد أشهر المعماريين والحائز على العديد من الجوائز، أسس مكتبة في نهاية السبعينات في باريس، وعلى مر العقود الخمسة الماضية أنجز نوفيل أكثر من 200 مشروع منها: مشروع قصر لوسرن للثقافة والفنون في سويسرا، برج الدوحة في قطر، ومتحف اللوفر أبو ظبي موضحاً بالصورة 53 (Wikipedia، 2021).

صورة 53 متحف اللوفر أبو ظبي(Novatr, 2024)

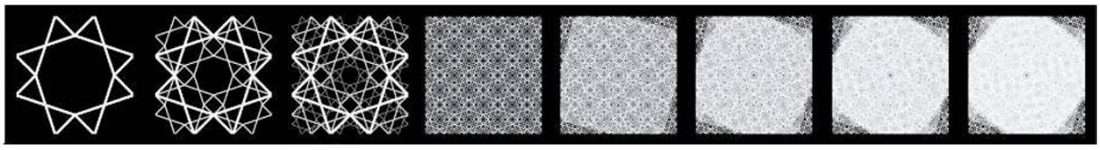
وضـع نوفيل تصـوراً لمبنى رائع لمتحف اللوفر أبو ظبي في جزيرة السـعديات مسـتمداً الإلهام من فن العمارة العربية والتقاليد المحلية، فاسـتخدم للسـقف أنماطاً مسـتمدة من المشـربيات العربية، وصـمم المسقط الأفقي بشكل يحاكي الأسواق العربية، وتُعد قبة المتحف، المستوحاة من الهندسة المعمارية العربية، بنية مُعقّدة مُكونة من 7,850 نجمة، مُكرّرة بمختلف الأحجام والزوايا في ثماني طبقات مختلفة كما في الصورة 54، وعند مرور الشمس فوقها، تنساب أشعتها من خلال نجوم القبة لرسم تأثير مُلهم داخل المتحف، يُعرف باسم "شعاع النور". هذا التصميم مستوحى من الطبيعة وأشجار النخيل في أبو ظبي، فأوراقها تلتقط أشعة الشمس الساطعة من أعلى بحيث تنساب بقعاً من الضوء على أرض المتحف. (Louvre AbuDhabi، 2013).



صورة 54 صورة توضح طبقات سقف متحف اللوفر أبو ظبي(Novatr, 2024)

استخدم في تصميم متحف اللوفر أبو ظبي التصميم الخوارزمي في عدة محاور:

1- إنشاء التصاميم معقدة: مثل طبقات النجوم في سقف المتحف تظهر بوضوح في الصورة 55.

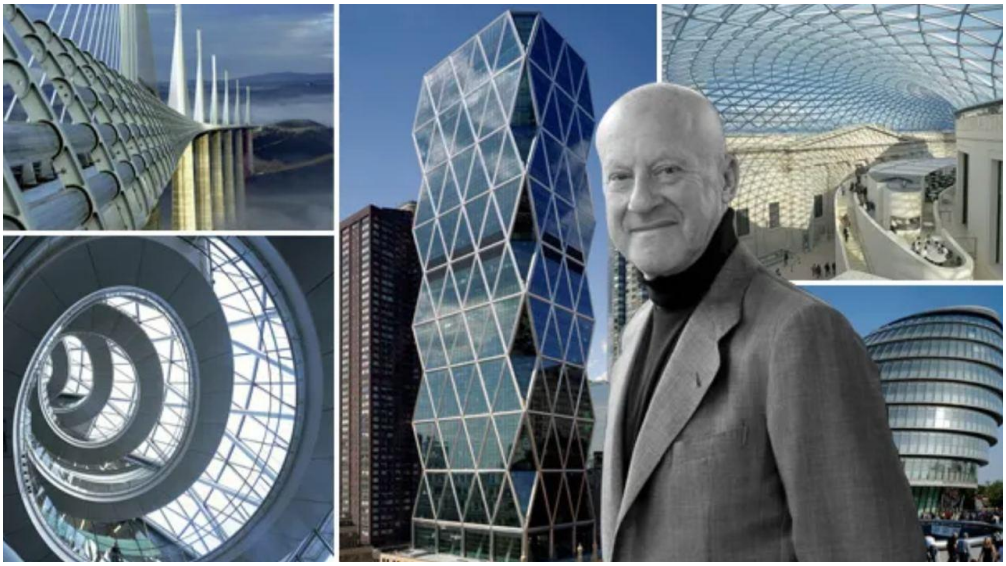


صورة 55 التصاميم المعقدة لسقف قبة اللوفر (Novatr, 2024)

2- تحسين الاستدامة: مكنت أدوات التصميم الخوارزمي المهندسين من جعل المبنى أكثر استدامة من خلال مساعدتهم على إجراء عمليات محاكاة مختلفة لتحليل الطاقة وحساب بيانات الكربون للمواد المختلفة. وتشمل البرامج المختلفة المستخدمة لهذا الغرض Climate Studio وTool. cove وLadybug.

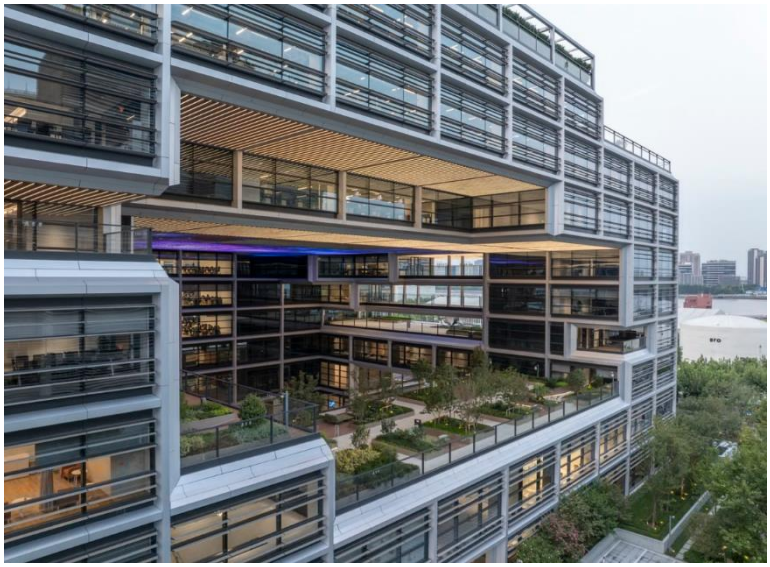
4-3-3 فوستر وشركاءه:

هو استديو هندسي بريطاني أسسه ويرأسه المهندس نورمان فوستر منذ عام 1967 ومقره لندن، اشتهر استديو فوستر وشركاءه بتصاميمه الأنيقة للمباني من المعدن والزجاج، من أشهر المباني التي صممها فوستر: مبنى بلدية لندن، استاد لوسيل في قطر، مطار الملكة علياء الدولي في الأردن، ونشر الحساب الرسمي لاستديو فوستر الصورة التالية –صورة رقم 60– فيها يظهر المعماري فوستر وخلفه مجموعة صور لأبنية ساهم بتصميمها (Wikipedia، 2023).



صورة 56 نورمان فوستر مع مجموعة من مشاريعه (منصة X)

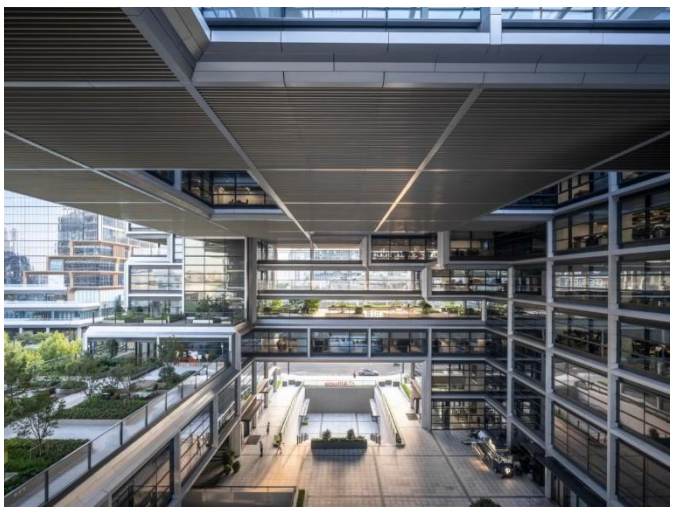
في واحد من أحدث مشاريعه –مشروع المقر الرئيسي لشركة علي بابا في شانغهاي الصينية– استخدم استديو فوستر الخوارزمية الجينية لتوليد التكوين الحجمي للمباني، كان الهدف من استخدام الخوارزمية الجينية هو إنشاء كتل مثالية تعطي الأولوية لإنشاء ساحة عامة مركزية وتعظيم الإطلالات لشاغلي المبنى، وأعطت الخوارزمية آلاف الخيارات، ليقوم الفريق بإنشاء قائمة مختصرة تم تقييمها بعد ذلك وفقًا لمعايير أخرى، مثل الاتصالات المرئية عبر الطوابق المختلفة، وضوء النهار، والتهوية الطبيعية – وكلها مرتبطة بالمقياس البشري، بالإضافة إلى استخدام المعرفة العامة بالتصميم والبناء في المشروع، مما دفعهم إلى المنتج النهائي. (Han, 2024)



صورة57 المقر الرئيسي لشركة علي بابا(Han, 2024)

صـــرح لوك فوكس – شـــريك رئيســـي في اســـتديو فوســـتر– قائلاً: "يتطلب مشـروع مثل هذا جهدًا جماعيًا كاملاً مع تواصـل ممتـاز بين العميـل والمقـاولين وفريق التصـــميم، كلف العميل شـــركة Shimizu، المعروفة بـالبنـاء عـالي الجودة، بتولي الإشـــراف وإدارة البنـاء ودور متخصـــص في BIM أثنـاء مراحل البناء، ساعدنا هذا في تحديد المشكلات الهندسية المعقدة باستخدام تقنية BIM، مما أدى إلى جودة بناء أفضل." توضح الصورة 57 شكل المبنى النهائي لمقر الشركة (Han, 2024).

استخدم الفريق الداخلي للاستديو تقنيات الواقع الافتراضي وطائرات دون طيار مزودة بكاميرا حرارية لقياس درجات حرارة الأسطح، مما سمح لهم بتقييم الخيارات وإجراء محاكاة في الوقت الحقيقي وبدقة عالية للإضاءة الطبيعية، كما نراها في الصورة 58، ولأساليب التبريد الكامن، فكان التصميم النهائي يتفوق حتى على اشتراطات LEED و Green Star للاستدامة. (Han, 2024)



صورة 58 الإطلالة من أحد فراغات مقر شركة علي بابا (Han, 2024)

4- الفصل الرابع: دراسة حالة عملية

4-1 مدخل إلى دراسة الحالة:

4-1-1 مقدمة:

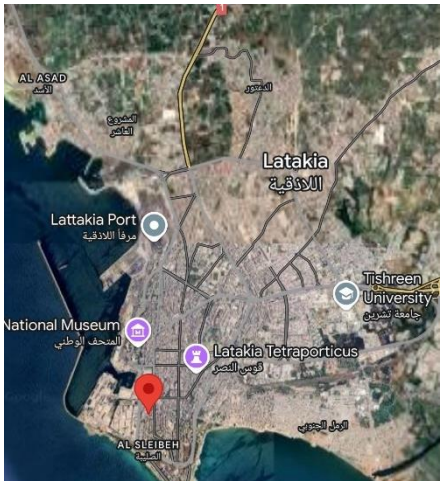
يتبع الباحث في هذا الفصل منهج دراسة الحالة، إذ يدرس مبنى التوسع لمستشفى أمراض القلب في محافظة اللاذقية السورية باستخدام مجموعة من البرمجيات ضمن إطار عمل متكامل بين تقنيات BIM وأدوات التصميم والتحليل الخوارزمي، بهدف ملامسة حقيقة هذا الإطار من العمل وتوضيح ميزاته ومعرفة مساوئه، وذلك من خلال مقارنة البيانات الناتجة من استخدام هذا النهج بالبيانات الناتجة عن استخدام المناهج التقليدية في التصميم والتحليل على عدة أصعدة؛ سواء على صعيد الزمن أو الكلفة أو التوفير في كلفة البناء أو التوفير في كلفة التشغيل.

وللمتابعة في هذا السياق لابد من التعرف على كل من: 1-المنشأة المدروسة، 2- البرمجيات المستخدمة.

4-1-2 المنشأة المدروسة:

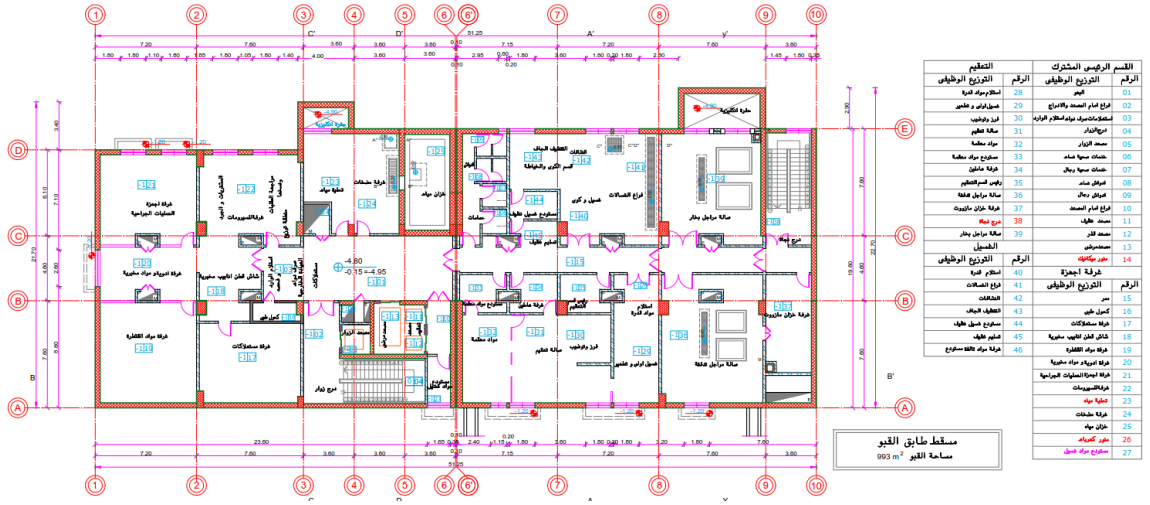
محور الدراسة هو مبنى توسع مستشفى اللاذقية لأمراض القلب، في مدينة اللاذقية غربي الجمهورية العربية السورية، ويعد مستشفى أمراض القلب في اللاذقية من المستشفيات النوعية ذات الأهمية على المستوى الإقليمي لما يتوفر فيه من خبرات وموارد طبية هامة، ويقع المستشفى جنوب غرب مدينة اللاذقية موضح بالنقطة الحمراء في الصورة 64، ويكون توضع مبنى التوسع إلى الجنوب من الكتلة الأساسية للمشفى كما هو موضح بالمستطيل الأخضر في الصورة 63.

صورة59 موقع مبنى التوسع بالنسبة للكتلة الأساسية للمستشفى (خرائط غوغل)

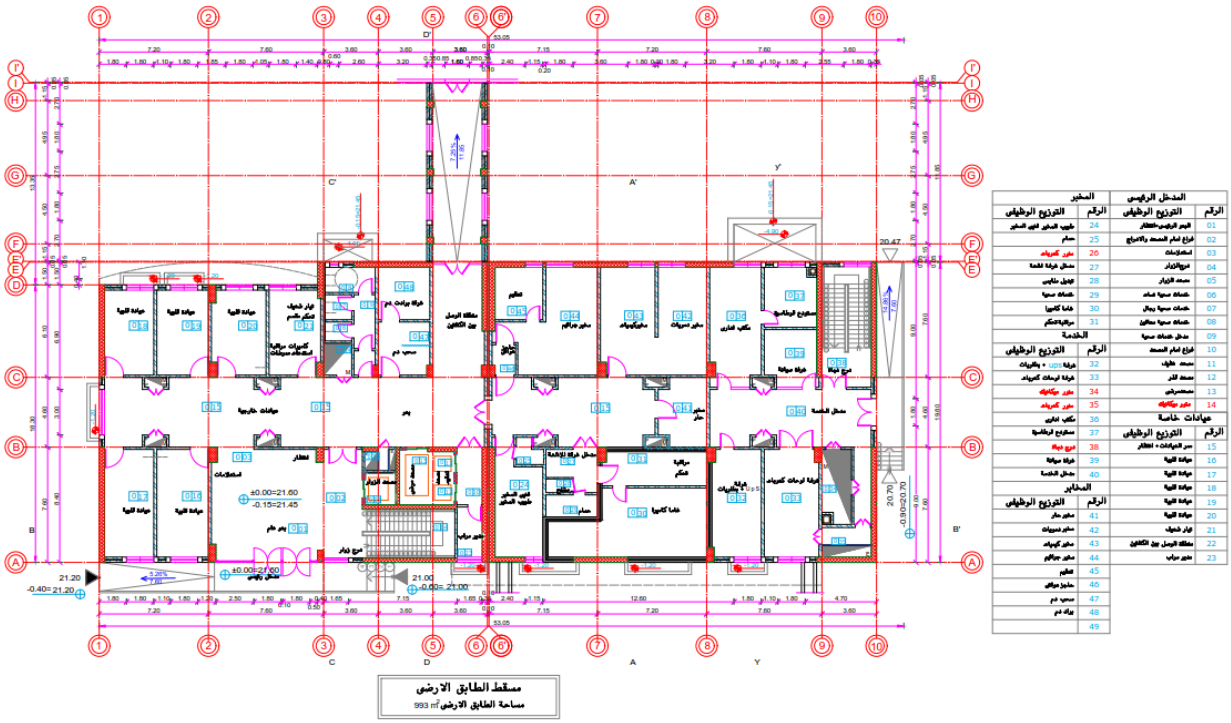


صورة60 موقع المشفى بالنسبة لمدينة اللاذقية (خرائط غوغل)

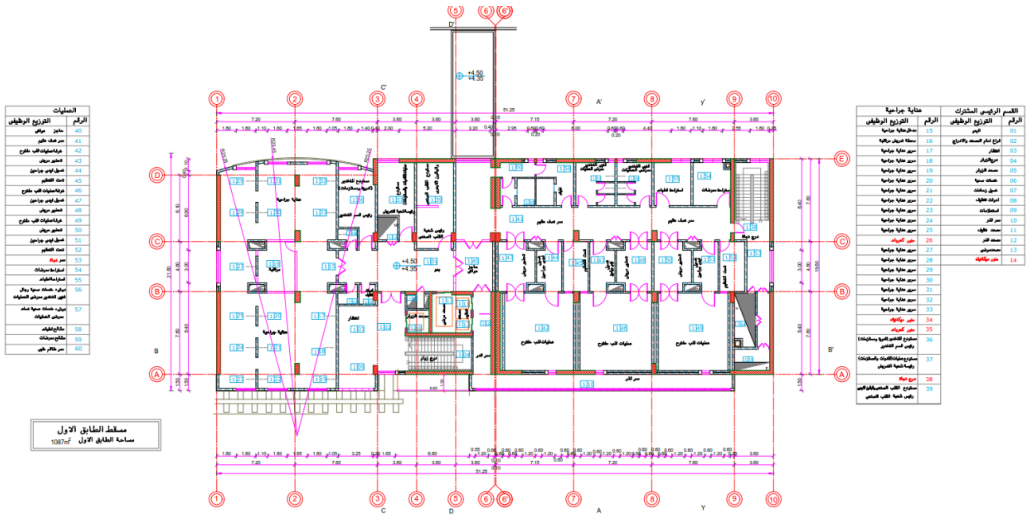
ويتألف المبنى من ستة طوابق، واحد منها تحت الأرض –خدمي– والباقي فوقها، كما هو موضح في المخططات المرفقة ومصدرها مجلس مدينة اللاذقية، مخطط 1 إلى 5.



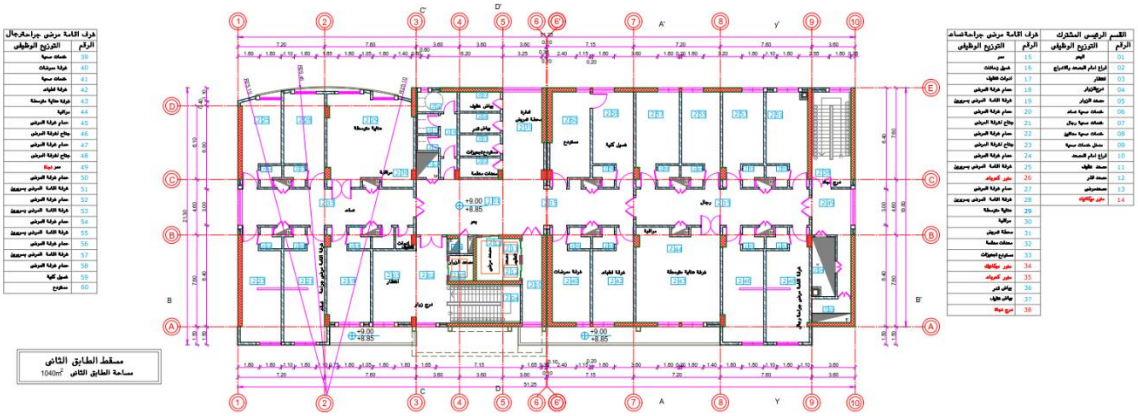
مخطط 2 مسقط القبو



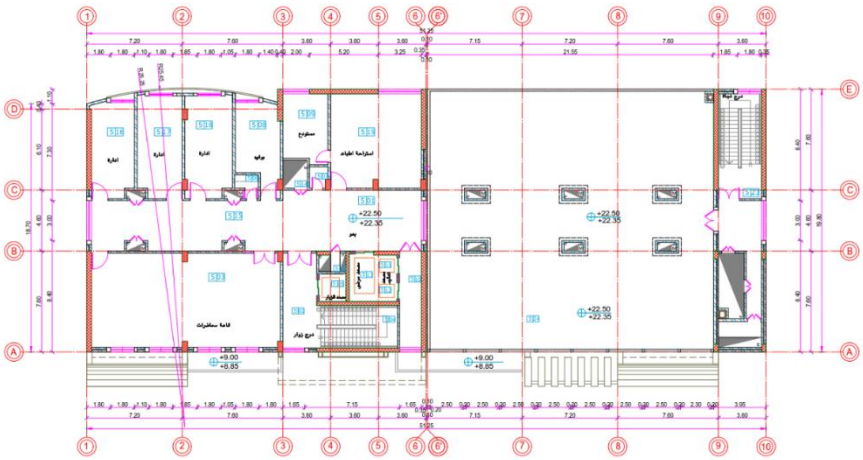
مخطط3 مسقط الطابق الأرضي



مخطط4 مسقط الطابق الأول

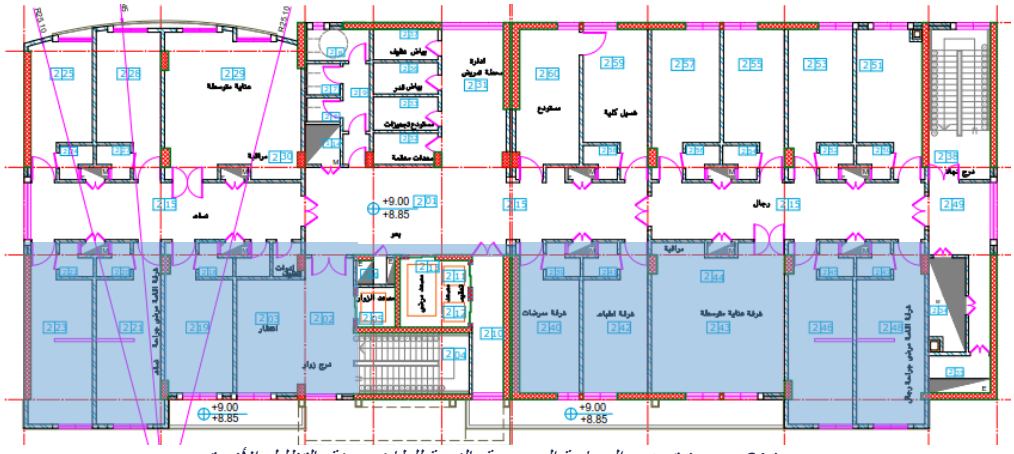


مخطط5 الطابق المتكرر 2و3و4



مخطط6 مسقط الطابق الخامس

ويضم الطابق الأرضي بعض النشاطات الطبية مثل الإسعاف، وأخرى عامة مثل الاستقبال والإدارة والمحاسبة، أما الطابق الأول يضم غرف الجراحات والعناية المركزة بالإضافة لبعض غرف الإقامة، فيما تكون الأدوار من 2 و 3 و4 أدوار متكررة تحوي غرف إقامة وغرف أطباء مناوبين وممرضات، أما الطابق الأخير فهو ذو وظيفة تعليمية إذ يحوي قاعة محاضرات وغرف إدارية، وستتركز الدراسة على الأدوار المتكررة؛ إذ لا جدوى من دراسة الدور -1 حيث أنه طابق خدمي واشتراطات تشغيله لا تعتبر معقدة أو صارمة فيما يخص ظروف البيئة الداخلية، أما الدور الأرضي فيحوي نشاطات متنوعة ومختلفة بالاشتراطات وبشدة صرامتها فنتائج دراستها ستكون مبهمة ولا يعتد بها، أما الدور الأول فيحوي على غرف الجراحات والعمليات ، وهي غرف معزولة عن الوسط الخارجي بالممر وتعتمد في بيئتها الداخلية على التكييف والتهوية والإنارة الاصطناعيين وذلك للضرورة، بالإضافة لغرف الخدمة الخاصة بها وعليه فإن لا جدوى تذكر يمكن أن تأتي من دراسته، والطابق الأخير يعتبر أصغر الطوابق من حيث المساحة والواجهة، والوظيفة التي يؤديها تقع خارج نطاق الدراسة (وظيفة تعليمية)، مما يدع لنا الطوابق المتكررة لتكون حالة الدراسة المثلى، فالوظائف التي تتضمنها هذه الطوابق ذات اشتراطات متقاربة وتقع في صلب المرافق الصحية المدروسة، وسيتم دراسة الواجهة الجنوبية تحديداً، إذ أن معظم الغرف موجهة عليها، أما الواجهة الشمالية فهي محمية من عوامل الجو بنسبة كبيرة بسبب بوجود الكتلة الأساسية للمستشفى، فيما لا تحوي الواجهتين الشرقية أو الغربية على فتحات مطلة على وظائف صحية؛ وإنما تحوي كل منهما على نافذة واحدة فقط تطل على بطارية الحركة (نافذة الواجهة الشرقية) وعلى محور الحركة وممر الغرف (نافذة الواجهة الغربية) وبذلك تكون المنطقة الفعالة من الدراسة كما هو موضح في الصورة رقم 65.



صورة 61 صورة توضح المساحة المدروسة بالنسبة للطابق مبينة بالتظليل الأزرق

4-1-3 البرمجيات المستخدمة:

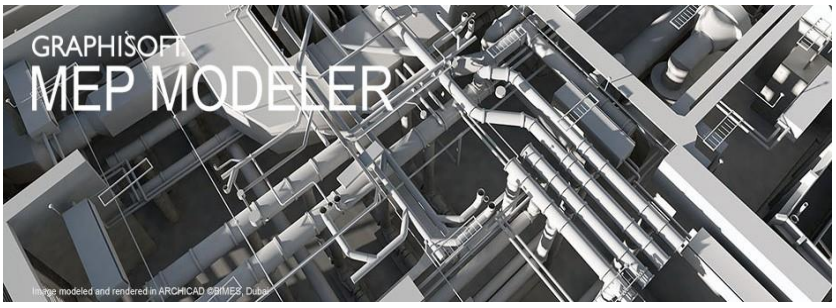
4-1-3-1 برنامج *ArchiCAD*:

ويعد أول برنامج BIM حيث تم تطويره لأول مرة لأجهزة شركة آبل عام 1982م موضح في الصورة 62، قامت بتطويره شركة Graphisoft وهي شركة أوروبية متعددة الجنسيات، وأطلق البرنامج بشكل تجاري عام 1987م (wikipedia, 2021)، ليكون البرنامج قد سبق ظهور مصطلح BIM بحد ذاته الذي لم يظهر حتى عام 1992م في البحث الذي أعده van Nederveen و F. P. Tolman بعنوان Modelling multiple views on buildings.

صورة 62 الإصدار الأول من برنامج ArchiCAD نشرتها شركة Graphisoft على حسابها الرسمي على تويتر

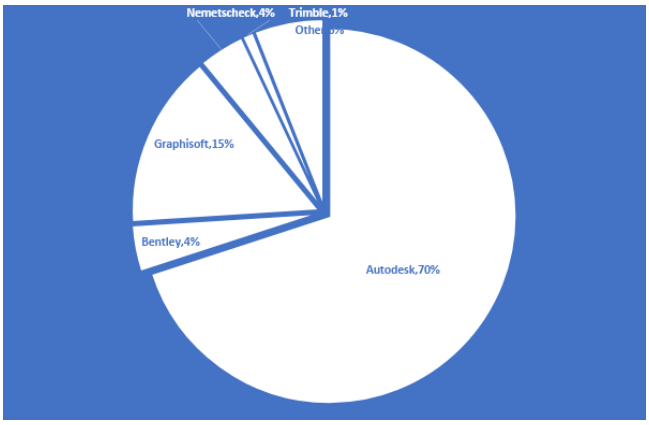
ومع أن بدايات ظهور البرنامج كانت مخصصة للمعماريين ومهندسي العمارة، إلا أنه وبعد ازدياد المنافسة التي فرضها دخول Autodesk على السوق في عام 2000م من خلال برنامجها Revit والذي كان قد أعد ليناسب مختلف الاختصاصات المتعلقة بالتشييد (wikipedia, 2019)، بدأت شركة Graphisoft بتوسيع آفاق برنامجها من خلال تقديم مقابس "Plug-ins" لمختلف المجالات المتعلقة بالهندسة والتشييد، فظهر في عام 2012م مقبس MEP Modeler المعني بدراسات اختصاصات الكهرباء والميكانيك ، ليتبعه مقبس Eptar في 2013 والذي يستخدم لدراسة وتوزيع عناصر تسليح الخرسانة ضمن برنامج ArchiCAD (Eptar, 2020)، مرفق الصور 63 و 64 توضح إعلانات هذه الإضافات.

صورة 63 الصورة الرسمية لمنتج مقبس Eptar من موقع Graphisoft



صورة 64 البانر الرسمي لمقبس MEP Modeler من موقع Graphisoft

كما قامت شركة Graphisoft بتعزيز عمل الفريق من خلال BIM Cloud و Teamwork ضمن برنامجها، وأيضاً من خلال منصات استعراض النماذج مثل BIMX.



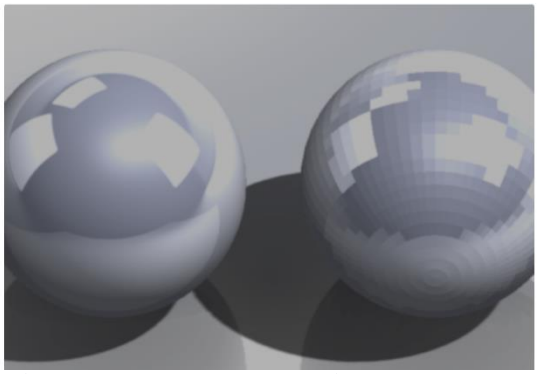
صورة65 حصص سوق برمجيات BIM (Unifi, 2019)

لكن ورغم أفضلية ظهوره في وقت مبكر من سوق البرمجيات وكونه أول برنامج BIM ليرى النور، إلا أن تأخر شركة Graphisoft بالاستجابة لمتغيرات السوق أدى إلى تراجع برنامج ArchiCAD إلى المرتبة الثانية بنسبة 15% فقط من السوق ليحتل Revit المرتبة الأولى بين برامج BIM الأكثر انتشاراً حول العالم بنسبة 70% من السوق (Unifi, 2019)، توضح الصورة 65 حصص سوق شركات برمجيات BIM.

قام الباحث باختيار برنامجِ ArchiCAD بسبب تمكنه من استخدام هذا البرنامج أكثر من Revit.

4-1-3-2 برنامج Rhinoceros 3D:

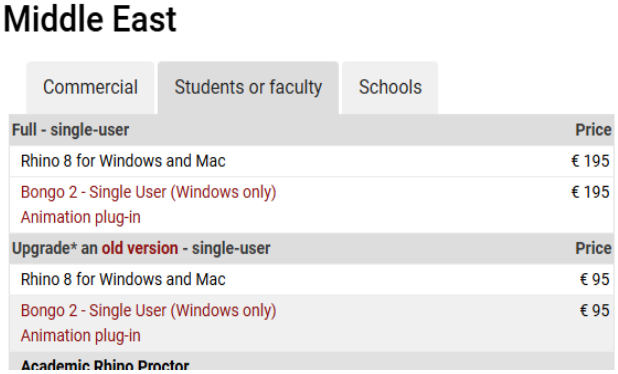
برنامج رسم ثلاثي الأبعاد باستخدام الحاسب 3D CAD مطور من قبل شركة Robert McNeel الأمريكية الخاصة شعاره كما في الصورة 67، ويتميز برنامج Rhino عن غيره من برامج التصميم ثلاثي الأبعاد بأنه يستخدم أسلوب NURBS الذي يعني استخدام نموذج رياضي يعمل من خلال تعريف خطوط منحنية لتمثيل وتكوين الأسطح المنحنية بدلاً من استخدام طريقة نقاط الشبكة Mesh points لتعريف الأسطح والتي عادة ما تنتج ملفات ذات حجم كبير ويصعب التعامل معها عند رسم الأسطح المنحنية (wikipedia, 2018)، توضح الصورة 66 مثالاً لذلك.



صورة66 صورة توضح الفرق بين كرة رسمت باستخدام Mesh على اليمين وأخرى باستخدام Nurbs على اليسار (موقع McNeel)

صورة67 الشعار الرسمي لبرنامج Rhinoceros من موقع McNeel

اتبعت شركة McNeel نهجاً مميزاً في توجيه برنامجها، فبدلاً من توجيه البرنامج بأكمله نحو مجال معين (مثل النمذجة المعمارية أو الدراسة التحليلية للأبنية أو نمذجة المنتجات)، فقد لجأت إلى ترك البرنامج الأساسي بسيطاً يمكن توجيهه بحسب الحاجة، وذلك من خلال مجموعة من المقابس بمختلف المجالات (مثل المذكورة أعلاه وغيرها الكثير)، وقد ساعدها ذلك على إبقاء كلفة ترخيص البرنامج منخفضة للغاية (بضع مئات الدولارات عادة) مقارنة بمنتجات شركات أخرى مثل Autodesk (والتي تكون كلفة تراخيص برامجها بالآلاف الدولارات) (McNeel & Associates, 2024). الصورة 68 توضح قائمة الأسعار.


Middle East

Commercial | Students or faculty | Schools

Full - single-user	Price
Rhino 8 for Windows and Mac	€ 195
Bongo 2 - Single User (Windows only) Animation plug-in	€ 195
Upgrade* an old version - single-user	**Price**
Rhino 8 for Windows and Mac	€ 95
Bongo 2 - Single User (Windows only) Animation plug-in	€ 95
Academic Rhino Proctor	

صورة68 لائحة اسعار رخصة تعليمية لمستخدم واحد لبرنامج Rhino 3D (موقع McNeel)

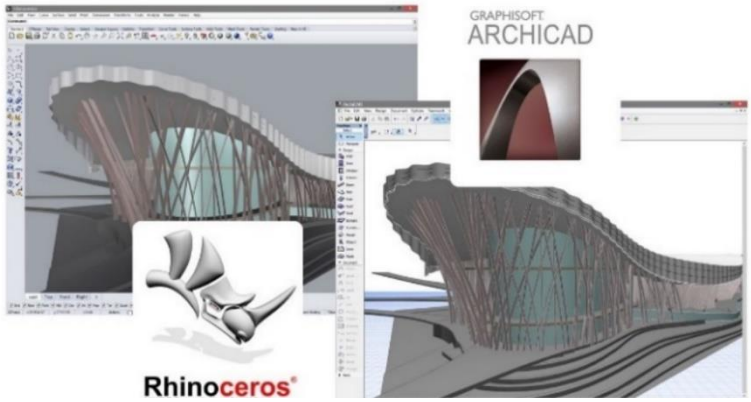
ساعد ذلك الشركة والمستخدمين على حد سواء، فبات المستخدم يدفع ثمن معتدل للبرنامج، ويختار بعدها أي الميزات يريدها فيشتري مقابسها، بما يوفر عليه دفع ثمن ميزات لا يحتاجها (في حال لو كان البرنامج يأتي بميزات كاملة).

وكذلك استفاد المبرمجون من هذا النهج فقد أتاح لهم ذلك إمكانية تطوير مقابسهم الخاصة بحسب طلبات المستخدمين وبيعها، معززين بذلك إمكانيات البرنامج، بالإضافة لجعل مجتمع مستخدمي برنامج Rhino مجتمع حيوي مليء بالاختصاصات الهندسية والبرمجية وحتى الرياضية، وسريع الاستجابة إذ يمكن الحصول على دعم فني من مقدمي المقابس خلال بضع ساعات على أكثر تقدير، إذ بلغ عدد المستخدمين النشطين أكثر من 770 ألف مستخدم خلال شهر ديسمبر 2024 حسب موقع Food4rhino.com.

ولضمان قدرة المستخدمين على استيعاب كل هذه المقابس يقوم كل من المبرمجين والشركة على حد سواء بتوفير دورات واضحة للمقابس التي يتم إضافتها من خلال موقع Food4Rhino ويتم فهرسة المقابس واستخداماتها بحيث يمكن للمستخدم تعلم المهارة التي يحتاجها عند الحاجة من خلال مقطع فيديو لا تتجاوز مدته 20 دقيقة في معظم الأحيان ويقوم بإيصال المعلومة التي يطلبها المستخدم بشكل مباشر ودون الحاجة لتعلم

كـل المقـابس فـي آن معـاً، وبلـغ عـدد المقـابس و الإضـافات ADD-ONs حتـى تـاريخ إجـراء هذه الدراسة 974 مقبساً مجانياً و175 مقبس مدفوع أو تجريبي (food4rhino, 2024).

يقع برنامج Rhino 3D موقعاً مهماً في هذه الدراسة فمن مقابسه يوجد مقابس مخصصة لربطه مع برامج BIM مثل Revit وArchiCAD في الوقت الحقيقي، أي أن كل تعديل يجري في برنامج BIM يتم تمثيله مباشرة على برنامج Rhino وبالعكس، ويمكّن Rhino 3D الباحث من الاستفادة من مقابس التحليل والتصميم الخوارزمي في دراسة نموذج BIM، ثم استيراد نموذج BIM من إنتاج أدوات التصميم الخوارزمي نفسها بعد تطبيق النتائج على النموذج القديم موضحة بالصورة 69. (BIMcorner, 2022)



صورة69 توضيح الربط بين ArchiCAD وRhino3D (BIMcorner, 2022)

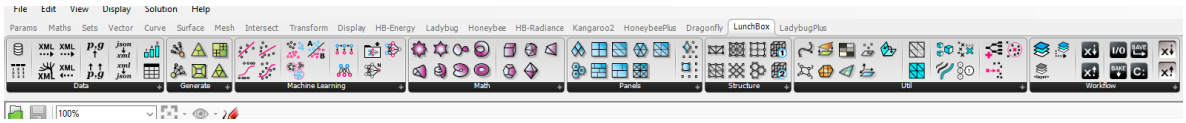
4-1-3-3 مقبس Grasshopper:

ويعرف اختصاراً بـــ GH، وهو مقبس برمجي للتصميم الخوارزمي خاص ببرنامج Rhino 3D تم إطلاقه عام 2007 لأول مرة على يد David Rutten أحد المبرمجين في شـــركة McNeel ومنذ الإصـــدار الســـادس لبرنامج Rhino 3D أصـــبح مقبس GH يأتي مع حزمة التثبيت مســـبقاً (wikipedia, 2021)

تم التعريف ببرمجية GH مسـبقاً في هذا البحث في الباب الثاني الفصـل 6 الفقرة 2، ولكن ما يجب توضـــيحه في هذه الفقرة هو الإضـــافات Add-ons التي يمكن إضـــافتها لهذا المقبس، إذ تتنوع الإضـافات بحسـب وظيفتها من إضـافات تصـميمية إلى إضـافات تحليلية أو حسـابية وحتى إضـافات المحاكاة والإظهار.

والإضافات المستخدمة في هذا البحث هي:

إضـــافة Lunchbox: وتحوي العديد من المكونات Components التي تقوم بأوامر لها علاقة بالشكل، مثل تقطيع سطح معرّف إلى أشكال هندسية معروفة، كالمسدس المنتظم والشكل السداسي، وتقطيعات البلوك المتناوبة والمثلثات والمستطيلات والدوائر وغيرها وتظهر مكوناتها في الصورة 70.



صورة 70 قائمة المكونات لإضافة LunchBox (إعداد الباحث)

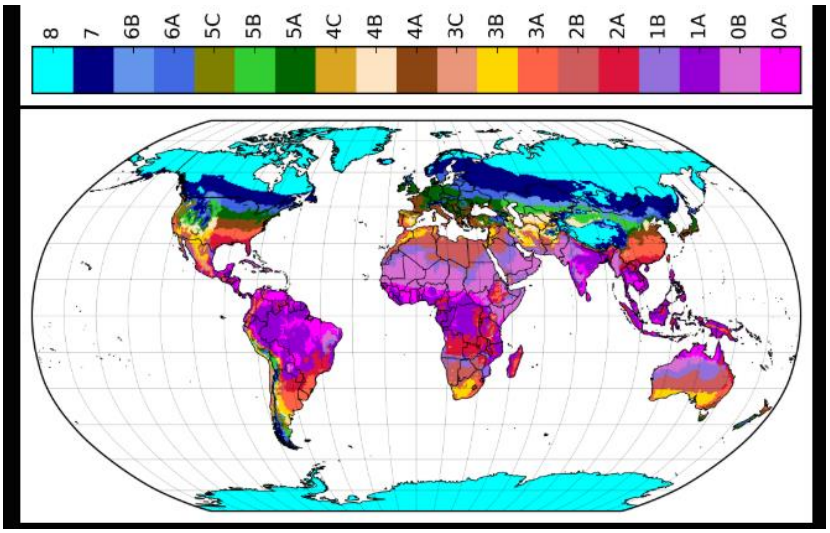
إضافة Ladybug: وهي إضافة تعنى بالدراسات البيئية والحرارية للمنشآت والمواقع، ولها مجالات كثيرة ومكونات عديدة تتراوح من تحليلات عامة مثل دراسة الإضاءة الطبيعية والإشعاع الحراري على المبنى أو الموقع، وصولاً إلى دراسات تخصصية مثل دراسة جدوى ألواح الطاقة الضوئية واستخدام الطاقة الشمسية لتسخين المياه أو إعادة تدوير الماء الساخن وغيرها، من ميزات هذه الإضافة قدرتها على إجراء محاكاة على مدار الساعة للمبنى المدروس وتظهر مكوناتها في الصورة 71.

صورة 71 قائمة مكونات إضافة Ladybug (إعداد الباحث)

إضافة Honeybee: وهي إضافة تحوي مجموعة من المكونات التي تعنى بدراسة البيئة الداخلية للمباني من راحة حرارية وإنارة داخلية وإبهار بصري وعازلية المواد المستخدمة ورطوبة داخل المبنى وتوفير الطاقة في التكييف والتدفئة وغيرها، وتتميز بقدرتها على إجراء محاكاة كاملة لاستهلاك الطاقة في المبنى على مختلف مصادرها وأنواعها (الحرارية والكهربائية) ظاهرة في الصورة 72.

صورة 72 قائمة مكونات HoneyBee (إعداد الباحث)

كما تمت الاستعانة بملفات EPW لبيانات الطقس، وهي صيغة معتمدة لبيانات الطقس تم تطويرها من قبل وزارة الطاقة الأمريكية لتكون الناظم في ملفات الطقس المستخدمة للأبحاث والدراسات المتعلقة بالبيئة والطاقة، ويتم تنزيل هذه الملفات من الخريطة الموجودة على موقع **energyplus.net** بحسب موقع المنشأة المراد دراستها كما في الصورة 73، وتحوي ملفات EPW على كافة بيانات الطقس على مدار العام ساعة بساعة من إشعاع شمسي وسرعة رياح ودرجات حرارة ونسبة الغطاء السحابي والرطوبة النسبية والهطولات المطرية وإنارة قبة السماء، هذه البيانات وتقاطعاتها تسمح بإجراء جميع تحليلات كفاءة المباني المعروفة.



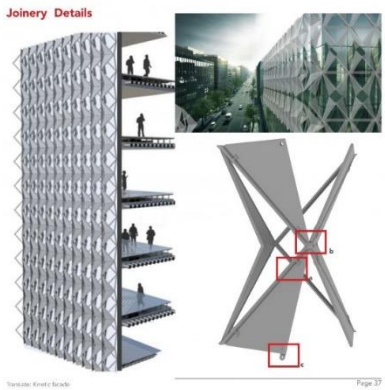
صورة 73 خريطة ملفات الطقس من EPW

4-2 طريقة سير العمل WORKFLOW:

يمكن استخدام التصميم الخوارزمي في مختلف مجالات تصميم المنشآت، بل ويمكن استخدامه في مجالات التخطيط العمراني أيضاً، لذلك لابد أولاً من تحديد المهمة التي سيتم توظيف التصميم الخوارزمي فيها قبل البدء بإجراء الدراسة.

ولذلك قام الباحث بتحديد مهمة التصميم الخوارزمي في هذه الدراسة بإنشاء خوارزمية تصميم لواجهة حركية تتفاعل مع الظروف المحيطة بالمبنى Kinetic Façade كما هو موضح بالصورة 74 و75.

صورة74 صورة واقعية لواجهة حركية (Shakeri، 2025)



صورة75 صورة توضيحية لواجهة حركية (Shakeri, 2025)

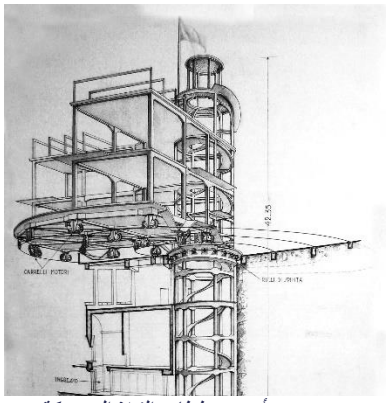
4-2-1 الواجهة الحركية Kinetic Façade:

والمصطلح يتألف من قسمين؛ الأول Kinetic ويعني حركي أو متحرك، والثاني Façade وتعرّف في قاموس أوكسفورد بأنها ظهور الشيء بشكل يخالف طبيعته، وفي سياق العمارة فهي تعني واجهة "مزيفة" ويقصد بها واجهة مستعارة، استخدمت الواجهة المستعارة في العمارة العربية والإسلامية بكثرة، حيث أن المشربيات البارز استخدامها في العمارة العربية ما هي إلا أحد أشكال الواجهات المستعارة كما هو واضح في الصورة رقم 78.

صورة78 واجهة مستعارة لمئذنة مسجد الحسن الثاني في الدار البيضاء (Pinterest)

لكن يصعب تحديد نقطة معينة في التاريخ ونسب ظهور الواجهات المستعارة لها؛ إذ يعتمد ذلك بما يمكن تصنيفه كواجهات مستعارة، فأحد الأسئلة المطروحة: "هل يمكن أن نعتبر الأعمدة التزيينية واجهة مستعارة لأنها لا تحمل وظيفة معمارية أو إنشائية؟" (Simmons, 2022)، وكانت الخلاصة أن مفهوم الواجهة المستعارة تغير عبر التاريخ ليصل إلى ما هو عليه اليوم: "**عنصر معماري يغطي واجهة المبنى أو جزء منها، بهدف إعطاء شكل جمالي معين، ويمكن أن يكون هذا العنصر مؤقتاً أو دائماً، متحركاً أو ثابتاً**" (Simmons, 2022)، أما بالنسبة للواجهات المستعارة المتحركة فمرجعها إلى ثلاثينيات القرن العشرين، إذ نشأ توجه لدى بعض المعماريين نحو ما عرف بالعمارة المتحركة، ولم تقتصر على الواجهات آنذاك وإنما شملت أبنية بحالها كما هو الحال في **Villa Girasole** من تصميم **Agelo Invernizzi** والموضحة بالصور رقم 76 و 77 (Verma, 2023).

صورة76 الفيلا المتحركة (Verma, 2023)



صورة77 أحد مخططات الفيلا المتحركة (Verma, 2023)

وتصـاعد الاهتمام بالعمارة الحركية وتمايزت أنواعها مع التطور الحاسـوبي في سـبعينيات وثمانينيات القرن العشـرين، وتبلور مفهوم الواجهة الحركية، ومن أبرز الأمثلة الحديثة للواجهات الحركية معرض إرنست وشركاءه Ernst Giselbrecht + Partner الموضـح بالصـورة رقم ، وكما نرى فإن واجهة المبنى الحقيقية كانت زجاجية بالكامل تخفي وراءها الأعمدة والعناصـــر الحاملة، ويغطي الواجهة الحقيقية واجهة حركية تتألف من هيكل معدني من الألمونيوم تحمل ألواح مدعمة من مواد العزل ذات الأســـاس الإكريليكي acrylic ، يمكن لهذه الألواح أن تتحرك على ســـكك مثبتة على الإطار المعدني الحامل لها بحيث تفتح أو تغلق بهدف تحســـين الظروف الحرارية والبصـــرية داخل المبنى (Vinnitskaya, 2010)، كما توضح الصور رقم 80 و 81.

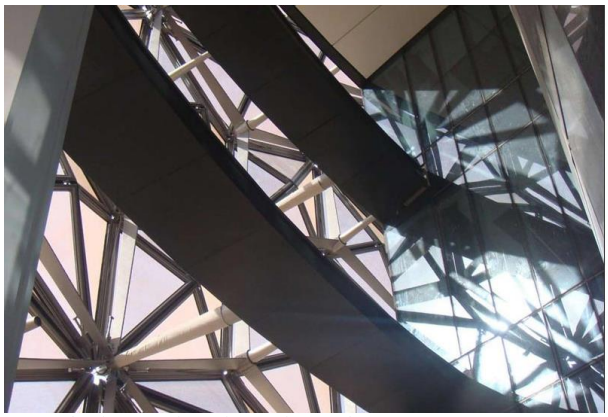
صورة80 صورة معرض إرنست (Vinnitskaya, 2010)

صورة79 إغلاق واجهة معرض إرنست لتحسين الظروف داخل المبنى (Vinnitskaya, 2010)

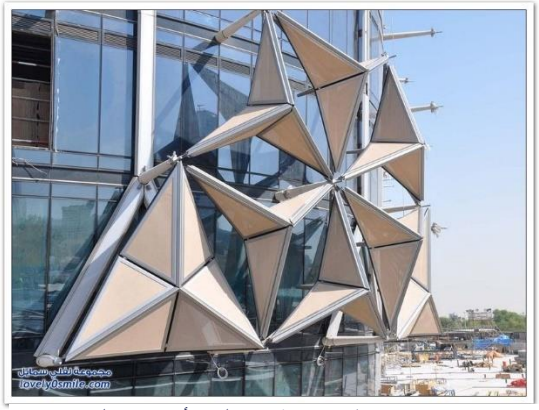
وفي العالم العربي نجد مثالاً بارزاً على الواجهات الحركية يتجسـد في أبراج البحر في إمارة أبو ظبي العربية، موضـح في الصـورة رقم 81، حيث تتكون الواجهة الحركية للمبنى من 2000 عنصـر مظلة تفتح وتغلق تلقائياً اعتماداً على موضـــع الشـــمس وراحة الأشـــخاص داخل المبنى، ســـاعدت هذه المظلات في حصـــول المبنى على الشـــهادة الفضـــية من LEED، (Wikipedia, 2022)، ويتم التحكم بالواجهات الحركية في ثلاث مراحل: الأولى هي جمع البيانات وذلك من خلال حساسات يتم تركيبها خارج المبنى، وهذه الحســاســات تقوم بقياس درجة الحرارة وسرعة الرياح والطوبة النسبية وغيرها، المرحلة الثانية معالجة البيانات إذ يتم جمع قراءات الحســاســات من قبل حاسـوب مركزي عادة ما يكون حاســـوب مصـــغر مثل جهاز أردوينو Arduino، ويمكن أن يكون الحاســـوب المركزي حاســـوب

صورة81 صورة أبراج البحر يظهر فيها واجهتها الحركية باللون البيج (Verma, 2023)

متكامل، يقوم الحاسوب بمعالجة هذه البيانات ومقاطعتها مع بعضها البعض لمعرفة النسبة الصحيحة لفتح أو إغلاق الواجهة، المرحلة الثالثة يقوم فيها الحاســـوب المركزي بإعطاء الأمر للمحركات المسؤولة عن فتح وإغلاق الواجهة لتقوم بتحريك الألواح بالمقدار المناسب للظروف، إذ أن كل خلية أو عنصـــر من الواجهة الحركية يتم التحكم به من خلال محرك كهربائي صـــغير الحجم كما هو موضح في الصورة رقم 82 و 83، بالإضافة للتحكم بالواجهة المتحركة من خلال الحساسات؛ غالباً ما يضـاف التحكم حسـب رغبة المسـتخدم، إذ يمكن لمسـتخدم المبنى تحديد درجة الفتح والإغلاق حسب حاجته وراحته (Verma, 2023).



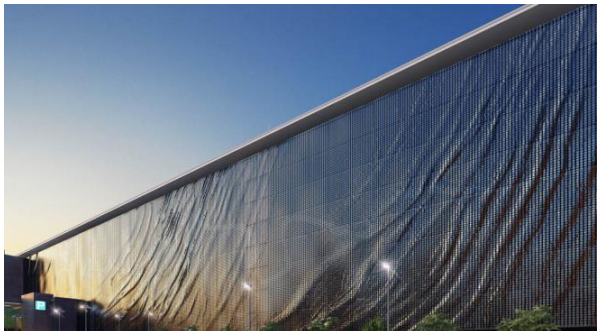
صورة83 صورة تظهر الواجهة الحركية لبرج البحر من الداخل
(Lovelysmile, 2015)



صورة82 صورة تظهر واجهة برج البحر أثناء فترة التركيب
(Lovelysmile, 2015)

ومن المهم التنويه أن الواجهات المتحركة ليست مخصصة فقط لمعالجة الإنارة أو الإشعاع، فقد تم استخدام الواجهات الحركية لحل مشكلة الرياح الغير مرغوب بها بشكل جمالي ملفت للنظر كما في مطار Brisbane في أستراليا، إذ تتماوج الواجهة عند هبوب رياح سرعتها فوق الحد المطلوب وتقوم بتخفيف أثرها دون المساومة على التهوية الطبيعية للمبنى، توضح الصورة رقم 84 85 شكل الواجهة المتحركة في المطار المذكور (Simmons, 2022).

صورة84 صورة قريبة للواجهة المتحركة في مطار Brisbane
(Simmons, 2022)



صورة85 صورة الواجهة المتحركة في مطار Brisbane (Simmons, 2022)

4-2-2 طريقة الدراسة وأسس تقييم النتائج:

يقوم الباحث أولاً بتقييم التصميم الحالي للمبنى المدروس من ناحية تأثير المناخ المحلي على الراحة داخل المبنى، وذلك باستخدام خوارزمية التحليل والتي تعتمد بشكل كبير على مكوّن معروف باسم Thermal comfort وهو أحد مكونات إضافة Ladybug، وتكون النتائج مكونة من: 1- مخطط توزع الإشعاع الشمسي على كامل المساحة المدروسة الموضحة في الصورة 65، 2- متوسط إجمالي الإشعاع الشمسي الوارد على أرضية المسقط للمنطقة المدروسة مقدرة بالكيلو واط.

وللتوضيح فإن مكون thermal comfort يبني نتائجه بناء على أربع معطيات:

درجة الحرارة في الظل: وتم ضبط هذا المتغير بحيث يعتبر درجة الحرارة في الخارج 18 مئوية هي درجة راحة شتاءً، أما صيفاً فتكون 24 درجة مئوية هي درجة الراحة، ومرجع ذلك إلى المتغير الثاني.

كمية الملابس التي يرتديها مستخدمو المبنى: إذ يضبط هذا المتغير على ثلاث مستويات، ملابس سميكة شتاء مما يساهم في تحمل درجات حرارة أقل بقليل من المتوسط، وملابس متوسطة في حالة درجات الحرارة المعتدلة، وملابس رقيقة في حال ارتفاع الحرارة.

الرطوبة النسبة: إذ تعد الرطوبة المرتفعة صيفاً عاملاً يحد من الراحة في فصل الصيف، بينما تكون ذات تأثير أفضل في فصل الشتاء إذ تحد من ظاهرة الصقيع، وتؤخذ قيم الرطوبة النسبية المريحة من 40% إلى 60%.

سرعة الرياح: وتلعب سرعة الرياح دوراً هاماً يتكامل مع دور الرطوبة النسبية في تخفيف أثار ارتفاع درجات الحرارة، بينما لا تكون الرياح ذات السرعة العالية مريحة في فصل الشتاء، وتعتبر رياح بسرعة 5 متراثانية حداً وسطياً لسرعة الرياح.

ويلاحظ أن العوامل السابقة تعمل بشكل متكامل عموماً، إذ لا يمكن القول بأن قيمة عامل معين بحد ذاتها إيجابية أو سلبية دون النظر إلى قيم باق العوامل، مما يجعل نتائج الدراسة أكثر دقة ومحاكاة للواقع.

ويجب أن تأخذ الدراسة بعين الاعتبار التغيرات المناخية قصيرة المدى (إذ يمكن أن يمر يوم مشمس خلال أيام الشتاء مما قد يشوش على النتائج ويعطيها نسبة خطأ)، وذلك من خلال دراسة يومي 7

و15 من كل شهر، تكون نتيجة الدراسة هي 24 صورة لتوزع الإشعاع الشمسي بالإضافة ل 24 قيمة لمتوسط الإشعاع.

من خلال دراسة طريقة توزع الإشعاع الشمسي وأخذ الفائض في الأيام المشمسة والنقص في الأيام الغائمة بعين الاعتبار بالإضافة لدراسة أنماط الرياح المفيدة والضارة، يضع الباحث مجموعة من التصاميم المقترحة للواجهة المتحركة والمولدة باستخدام مكونات وخوارزميات التصميم، وباعتبار أن الواجهة حركية وستؤدي وظيفة التحكم بالإشعاع الشمسي وحركة الرياح على واجهة المبنى بغض النظر شكلها، فسوف يتم اختيار الواجهة ذات الشكل الأجمل، وتطبيقها على الواجهة الجنوبية للأدوار المتكررة، ثم يعاد استخدام خوارزمية تحليل الراحة الحرارية.

تتم مقارنة النتائج وتعطى الأفضلية بينها وفق ما يلي:

متوسط إشعاع مناسب: إذ تعد القيم المرتفعة لمتوسط الإشعاع أمراً إيجابياً في الشتاء ولكن سلبياً في الصيف، وتكون القيم المعتدلة هي المفضلة في أشهر الخريف والربيع، ويتم التقييم من 0 إلى 200 واط بالساعة على المتر المربع.

الانتشار المتوازن للإشعاع الشمسي: فمن الأفضل أن تكون الأشعة موزعة بشكل منتظم قدر الإمكان على مساحة الفراغ بدلاً من الحصول على بؤر ذات إشعاع عال وبؤر بإشعاع منخفض، حتى وإن تحققت شروط متوسط قيمة الإشعاع، ويتم التقييم على مقياس من 1 إلى 5 حيث يمثل الرقم 1 انعدام التوزع (الإشعاع على شكل بؤر مركزة) والرقم 5 يمثل توزع متجانس على كامل المسقط.

التخلص من الرياح الضارة: وتعني قدرة الواجهة الحركية على الإغلاق في حال وجود رياح باردة شتاء، بالإضافة لفتح الواجهة في حالة غياب الشمس في الأيام الحارة، وتقيم على مقياس من 1 إلى 5، حيث يكون 1 رياح ضارة والواجهة مفتوحة بالكامل و5 رياح ضارة والواجهة مغلقة بالكامل، وفي حال عدم وجود رياح ضارة تؤخذ القيمة 3 بشكل افتراضي (قيمة محايدة).

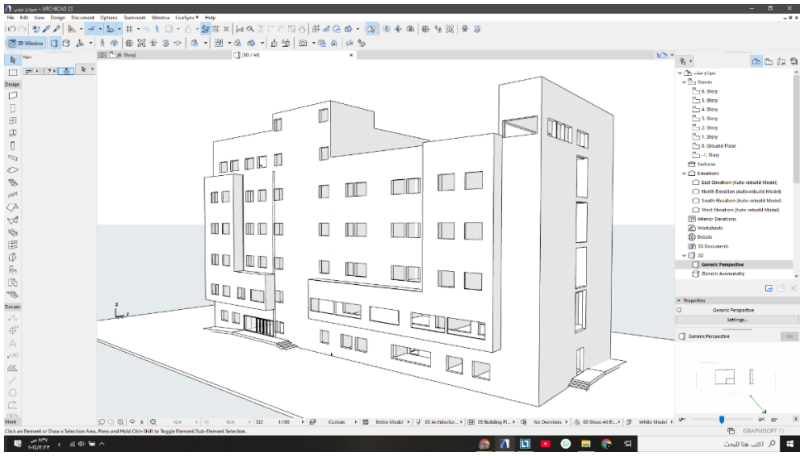
4-2-3 خطوات الدراسة:

وضع الباحث خطته لإجراء الدراسة على النحو التالي:

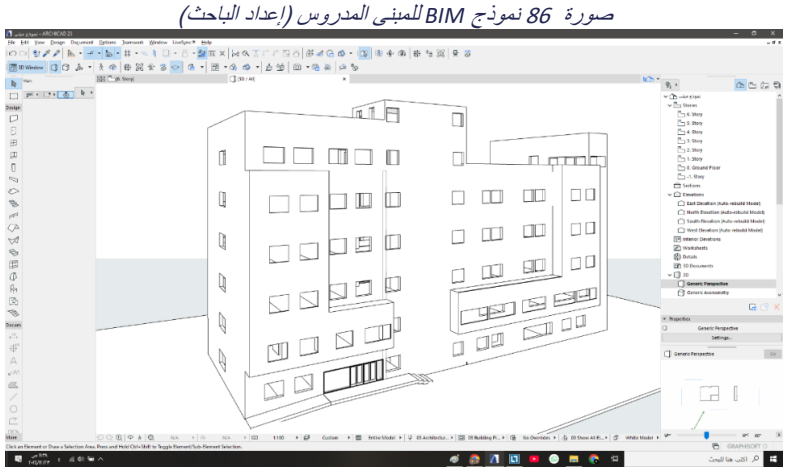
4-2-3-1 نقل المخططات من CAD إلى نموذج معلومات بناء BIM Model:

من خلال إدخال ملفات المخططات إلى برنامج ArchiCAD وإنشاء نموذج يحوي العناصر الضرورية للدراسة من جدران ونوافذ وأبواب ومظلات واجهة.

ولابد من التأكد من ارتفاعات الطوابق لتكون موافقة للمناسيب المسجلة على المخططات، كما حرص الباحث على عدم إضافة عناصر الفرش أو أي عناصر لا تؤثر في الدراسة من العناصر الداخلية في المسقط وذلك لإبقاء حجم الملف وعدد الأسطح المدروسة مضبوطاً، موضحاً في الصور 86 و87.



صورة 86 نموذج BIM للمبنى المدروس (إعداد الباحث)

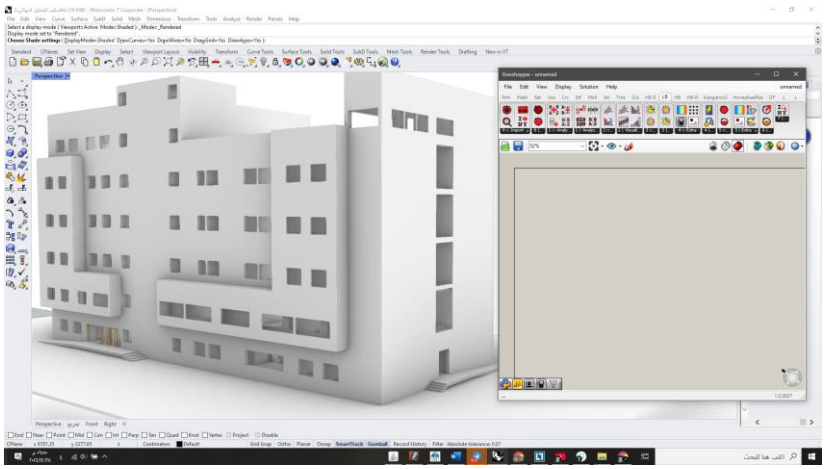


صورة 87 نموذج BIM للمبنى المدروس (إعداد الباحث)

تنتهي هذه الخطوة بتصدير النموذج إلى برنامج Rhino 3D، بإحدى طريقتين: الربط المباشر LiveLink أو التصدير العادي Export.

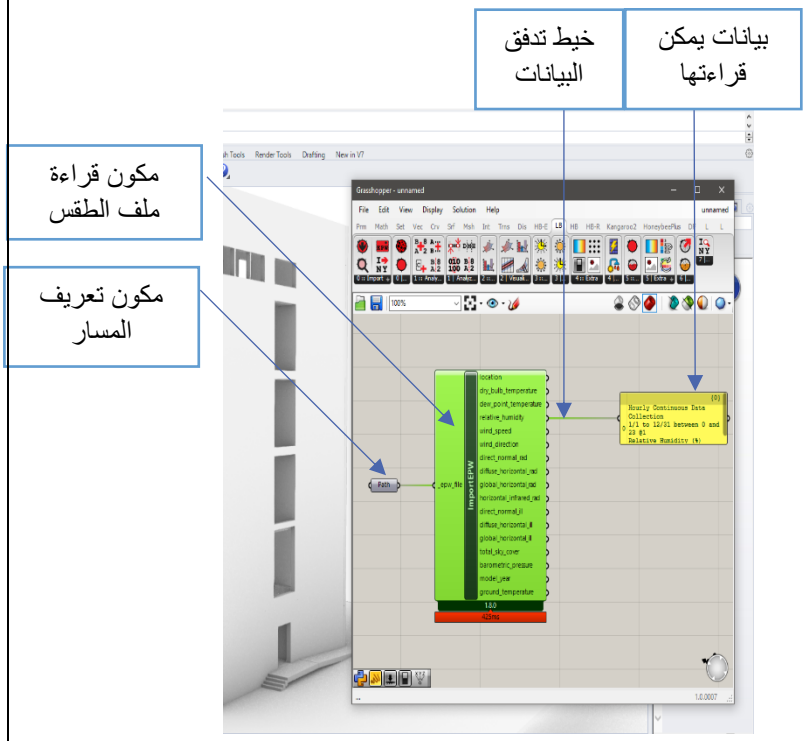
4-2-3-2 خوارزمية تحليل الراحة الحرارية:

وتكون الخطوة الأولى فيها هو الحصول على ملف الطقس لمدينة اللاذقية من موقع EPW map والمعرف باسم SYR_LA_Lattakia.400220، ومن ثم فتح ملف النموذج الثلاثي الأبعاد في برنامج Rhino وتشغيل مقبس GH كما في الصورة رقم 88.



صورة 88 فتح ملف BIM في برنامج Rhino (إعداد الباحث)

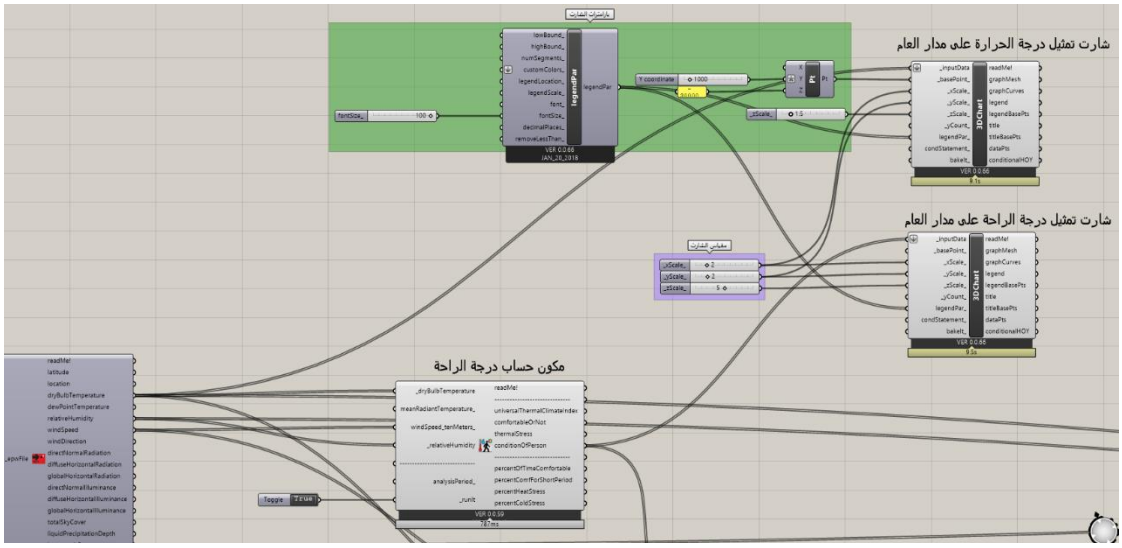
ليأتي بعدها إضافة مكون مسار ملف بيانات الطقس path ومكون قراءة بيانات الطقس ImportEPW والذي يحول ملف EPW إلى مجموعة من خيوط تدفق البيانات والتي يمكن قراءتها واستعمالها في مكونات التصميم الخوارزمي، كما هو موضح في الصورة رقم 89.



صورة89 لقطة توضح العناصر الأساسية للخوارزميات التصميمية (إعداد الباحث)

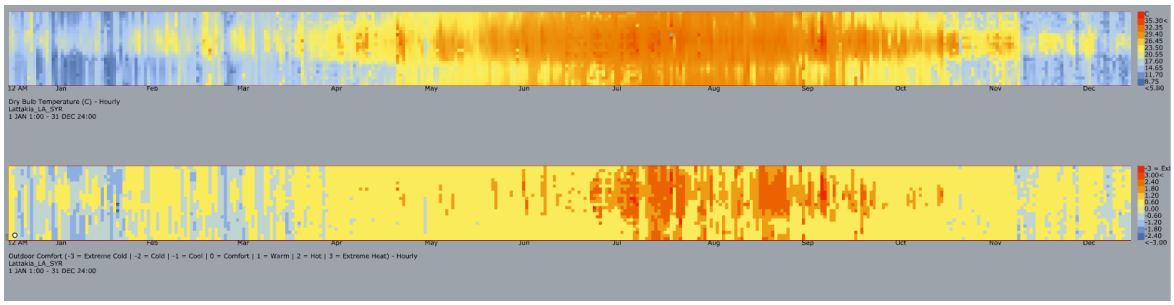
نضيف مكون حساب درجة الراحة ونقوم بتغذيته بالبيانات الخارجة من قراءة ملف EPW كل وفق مكانه (درجة حرارة – سرعة رياح – رطوبة نسبية إلخ)، وفي موضع إدخال المسمى runit يجب إدخال قيمة 1 لتشغيل المكون، وبعد تشغيله يمكن استخدام البيانات الخارجة من خانة حالة الشخص condition of person إما في إنشاء مخطط

بياني (شارت Chart) يمثل حالة الراحة للشخص على مدار العام فيصبح شكل الخوارزمية كما في الصورة رقم 90، أو في إعطاء القيمة على شكل Input parameter لمكون آخر (وهو ما سيتم لاحقاً).

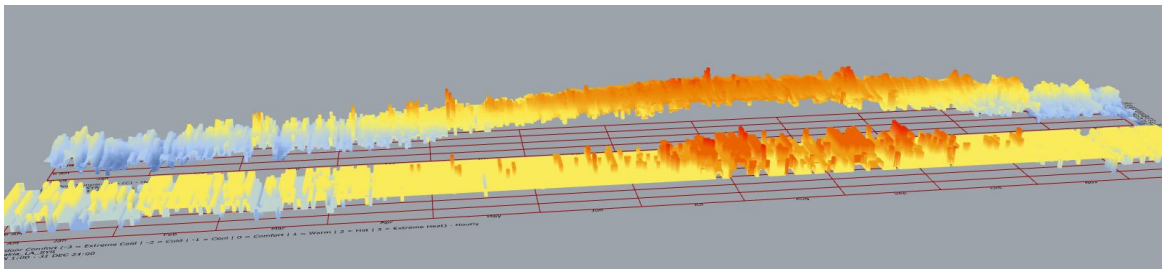


صورة 90خوارزمية قراءة بيانات الطقس (إعداد الباحث)

ونلاحظ أيضــاً إمكانية إنشــاء مخطط بياني لدرجات الحرارة لمدينة اللاذقية على مدار العام، ويكون محور X في هذه المخططات هو للأشــهر والأيام، أما محور Y فيمثل الســاعات من كل يوم، فيما يمثل محور Z القيمة الموافق لذلك اليوم وتلك الساعة، كما هو موضح في الصور رقم 19و 92.



صورة 91 المسقط العلوي لمخططات بيانات الطقس والراحة الحرارية (إعداد الباحث)

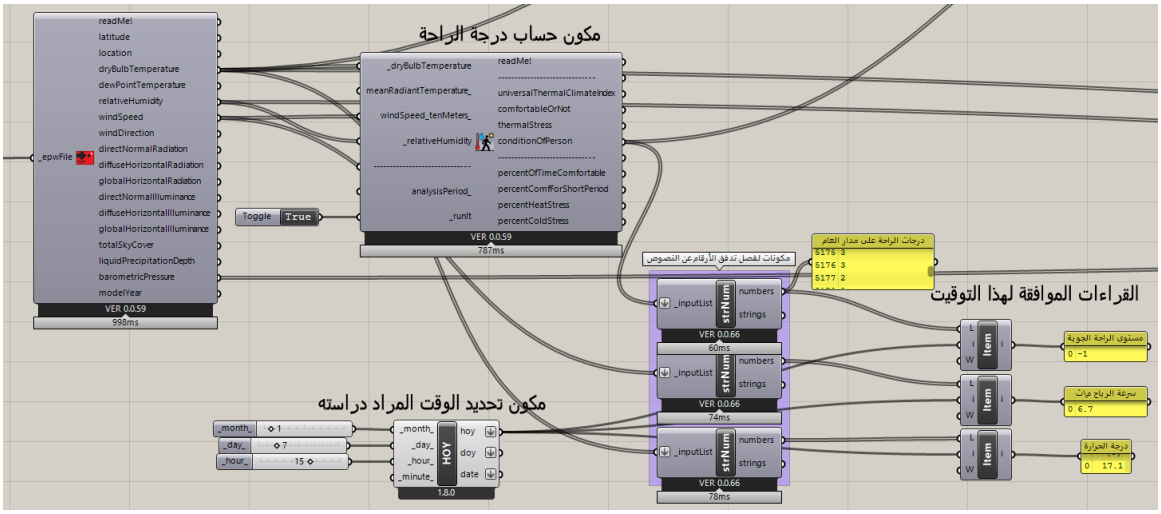


صورة 92 لقطة ثلاثية الأبعاد لمخططات بيانات الطقس والراحة الحرارية (إعداد الباحث)

تســـاعدنا هذه المخططات في فهم مناخ المنطقة المدروســـة وتقديره بشـــكل أفضـــل، ونلاحظ أن المخططين يتشـــابهان ولكنهما لا يتطابقان! ومرجع ذلك إلى أن الراحة لا تعتمد فقط على درجة الحرارة وحدها ولكنها تتأثر بسرعة الرياح والرطوبة النسبية.

كما يوضح فهرس المخطط على الجهة اليمين فإن مخطط الراحة يتم قراءته وفق 7 درجات هي كالتالي من الأدنى للأعلى (شديد البرودة–بارد–بارد قليلاً– مريح–دافئ– حار–شديد الحرارة) وتأخذ هذه الدرجات قيم من –3 إلى 3 مروراً بدرجة 0 وهي درجة التوازن، ومن قراءة المخطط نرى بوضوح أن كلاً من شهر نيسان وأيار وحزيران بالإضافة لتشرين الأول والثاني هي أشهر تتميز بأن الجو فيها يكون مريحاً بدرجة كبيرة (مائل إلى الحرارة في بعض الأيام)، أما أشهر تموز وآب وأيلول فيغلب عليها الحرارة الشديدة، فيما يغلب على أشهر كانون الأول والثاني وشباط وآذار صفات البارد والبارد قليلاً.

إن البيانات الخارجة من مكون درجة الراحة هي مزيج من نصـــوص وأرقام، لذلك نقوم بفصـــلها من خلال مكون مخصـــص لهذه المهمة، كما يمكن فصـــل البيانات الصـــادرة من حقل درجات الحرارة وســـرعة الرياح أيضـــاً إلى نصـــوص وأرقام، ومن خلال مكون اختيار توقيت الدراســـة ومكون اختيار العنصـــر نستطيع معرفة قراءات درجة الحرارة وسـرعة الرياح ومستوى الراحة الحرارة الموافقة لساعة معينة نختارها، والغاية من هذا الفصـــل والاختيار هو الحصـــول على مخرج بيانات Data output ليتم اســـتخدامه لاحقاً للتحكم بدرجة فتح وإغلاق الواجهة المتحركة التي يراد تصـــميمها، وتوضـــح الصورة 93 شكل الخوارزمية بعد إضافة أدوات تخريج البيانات.



صورة 93 شكل الخوارزمية بعد إضافة أدوات تخريج البيانات (إعداد الباحث)

لمتابعة التحليل نقوم بتوسيع نطاق عمل الخوارزمية من خلال إضافة المكونات التالية:

1- مكون تحليل الإشعاع الشمسي: ومدخلاته هي: السطح المراد دراسة الإشعاع عليه، والأسطح التي يمكن أن تحجب الإشعاع عن السطح المدروس 'context'، بيانات قبة السماء، ودرجة دقة الدراسة "أبعاد الشبكة المدروسة وتقاس بالسنتيمتر"، ومعرف مفتاح المسقط 'legend par'.

2- مكون العنصر الهندسي: ويمكن من خلاله تعريف سطح أو مجسم أو مجموعة منها موجودة في برنامج Rhino 3D سواء تم إنشاؤه في البرنامج مباشرة أو تم استيراده مع نموذج المبنى، يستخدم لتعريف البرنامج على الأسطح المدروسة، والأجسام التي تحجب الشمس عن هذه الأسطح 'context'.

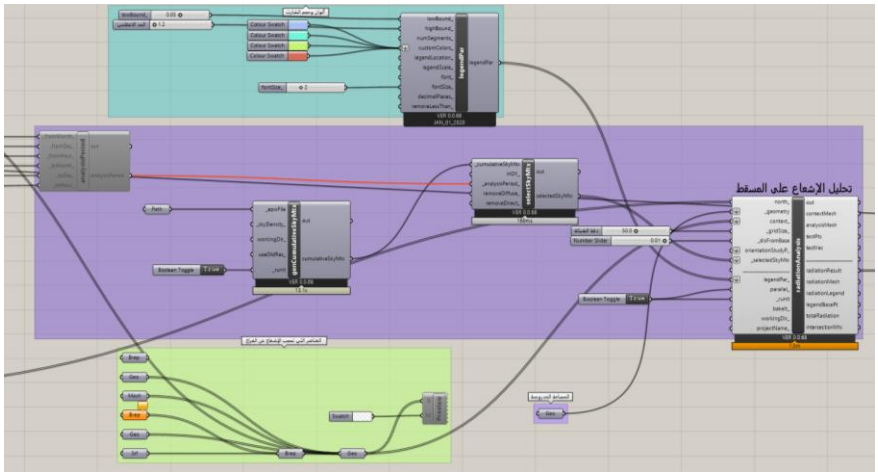
3- مكون معطيات قبة السماء: ومدخلاته هي ملف EPW بأكمله ومخرجاته هو تمثيل لقبة السماء على مدار العام كاملاً بما فيها من اشعاع شمسي مباشر وإشعاع غير مباشر مصدره قبة السماء، بالإضافة لموضع الشمس بالنسبة للسماء وزاوية ورودها على المبنى المدروس، جميع هذه البيانات تخرج في خيط تدفق بيانات واحد لذلك لابد من مكونات تساعد بفصلها للاستفادة منها.

4- مكون اختيار قبة السماء: ويستقبل هذا المكون البيانات من مصدرين، الأول هو البيانات الخارجة من مكون معطيات قبة السماء، والثاني من مكون اختيار الفترة المدروسة.

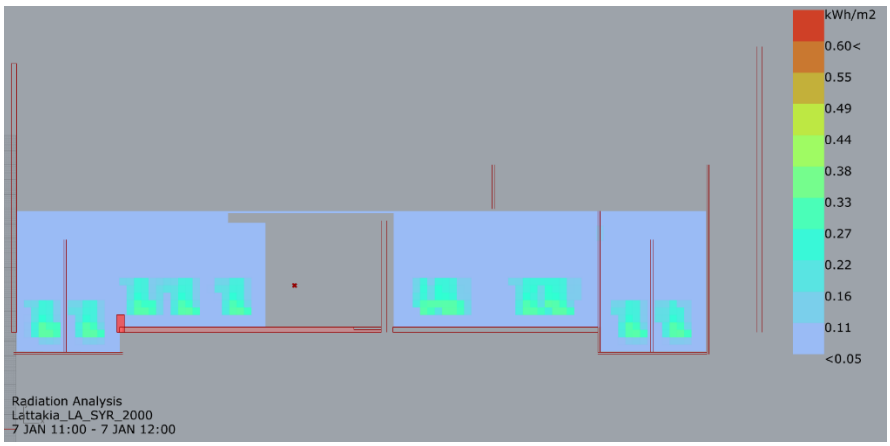
5- مكون حساب المتوسط: ويقوم بجمع قيم معطاة وتحديد المتوسط الحسابي لها، ونقوم بتغذيته من البيانات الخارجة من مكون تحليل الإشعاع الشمسي وذلك لمعرفة متوسط الطاقة الشمسية الواردة لكل متر مربع من المساحة المدروسة مقدرة بالكيلو واط الساعي

ويجب التنويه أن المكونات السابقة لها مدخلات ومخرجات، فبعضها يأخذ جزء من البيانات المطلوبة لعمله من مخرجات مكونات أخرى، فيما يؤخذ الجزء الآخر من البيانات اللازمة لتشغيل هذه المكونات من أرقام يضيفها الباحث حسب الحاجة مثل مدخل "دقة الشبكة" ويتحكم به الباحث بالدقة المرغوب فيها وبناء على حجم العنصر المدروس فكلما زادت مساحة هذا العنصر قلت الحاجة والإمكانية لزيادة دقة الدراسة.

وباختيار بارامترات قيم الشهر واليوم والساعة بالمناسبة "كما في الصورة رقم 97 أعلاه" نحدد توقيت الدراسة ليكون الساعة الحادية عشر من يوم 7 من الشهر الأول من السنة، ونقوم بضبط ألوان وحجم الشارت ومفتاح قراءته باستخدام المكون المخصص لهذا الغرض، بذلك تصبح الخوارزمية كما في الصورة رقم 94، وفي نافذة برنامج Rhino يظهر في المسقط العلوي كما في الصورة رقم 95.

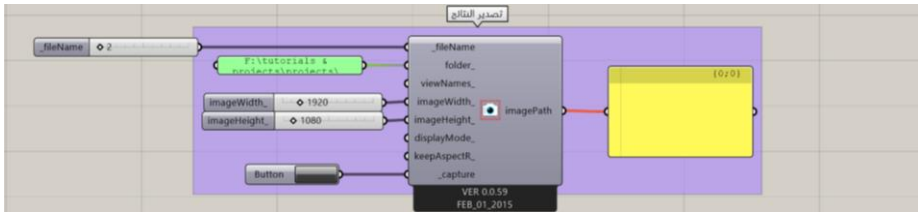


صورة 94شكل الخوارزمية بعد تعديل حركة تدفق البيانات (إعداد الباحث)



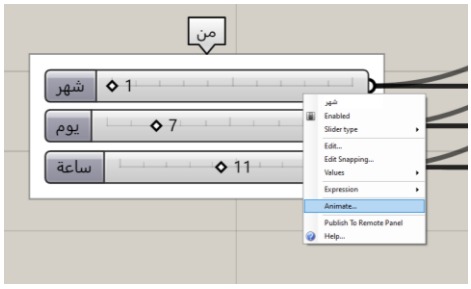
صورة 95 المسقط العلوي الظاهر في برنامج Rhino نتيجة الخوارزمية (إعداد الباحث)

كما تم إضافة عناصر خوارزمية بسيطة مهمتها تقتصر على تصدير النتائج على شكل صور، تتألف هذه الخوارزمية المصغرة من مكون التصدير بالإضافة لمدخلاته الأساسية من مسار وصيغة واسم ملف وأبعاد الصورة كما هو واضح في الصورة رقم 96.



صورة 96 خوارزمية تصدير النتائج (إعداد الباحث)

ولإجراء الدراسة على مدار العام كل ما علينا هو تغذية مدخل اسم الملف في مكون التصدر بنفس مصدر البيانات الذي يغذي مكون توقيت الدراسة، وبذلك يتم التقاط الصور للدراسة على مدار الأشهر وتسميتها وفق الشهر الموافق لها تلقائياً في كل مرة يتم تغيير الشهر المدروس، كما يمكن جعل تغيير الشهر المدروس من خلال خيار Animate الذي يوفره مقبس GH كما في الصورة رقم 97.



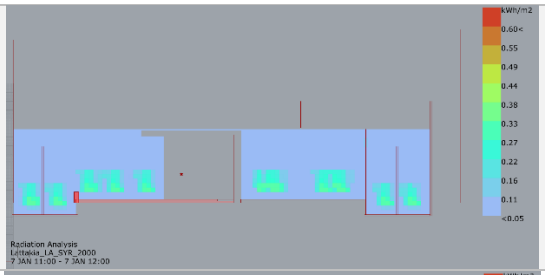
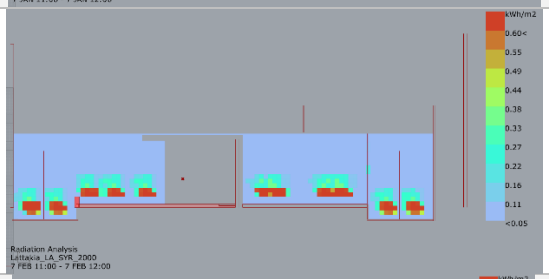
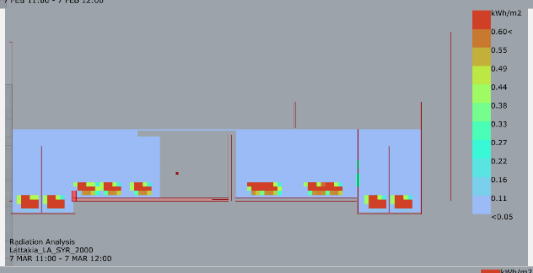
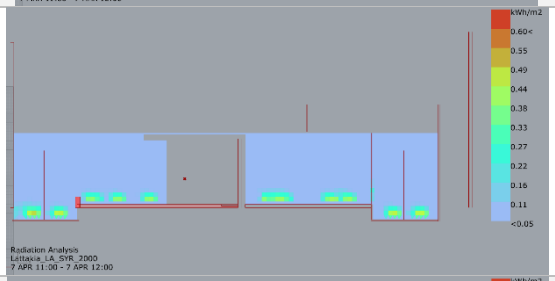
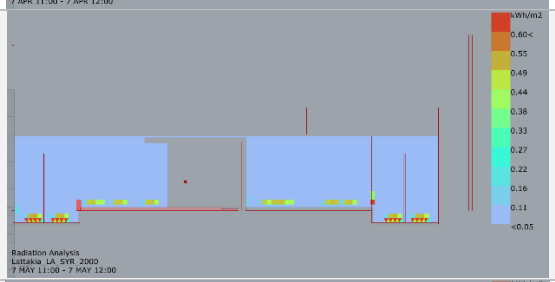
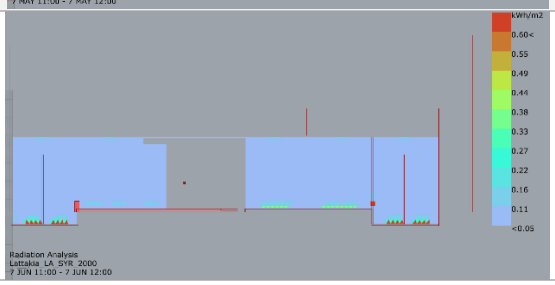
صورة 97 تفعيل خيار Animate (إعداد الباحث)

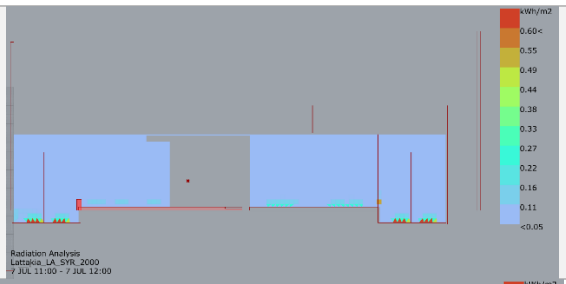
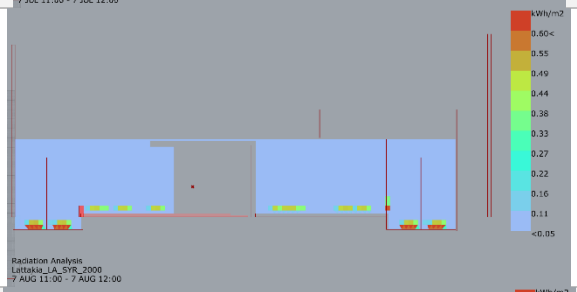
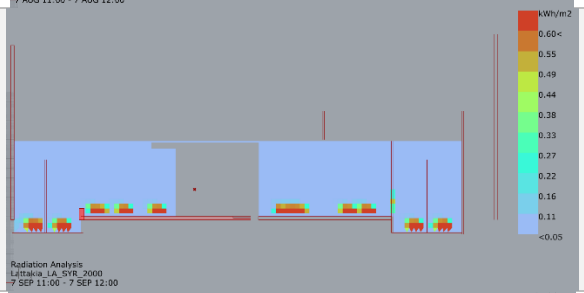
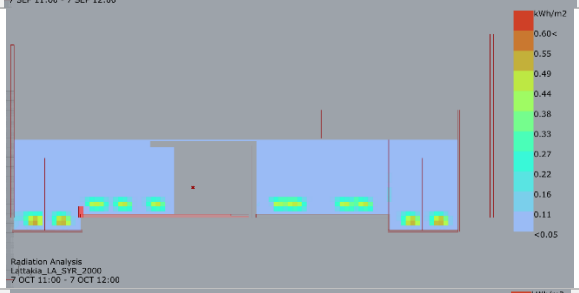
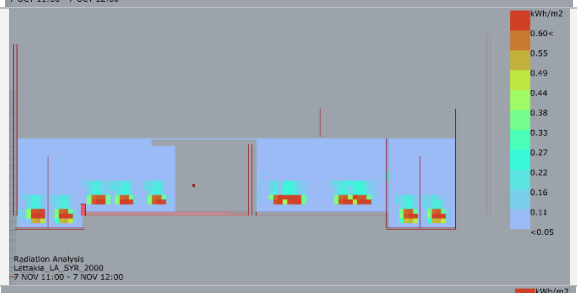
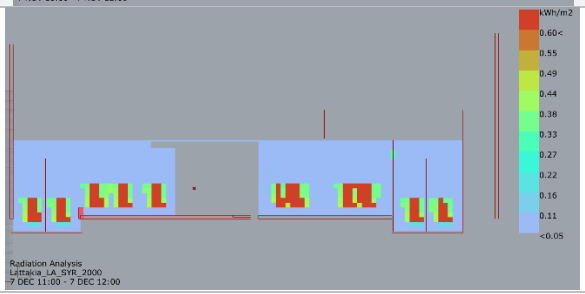
4-2-3-3 تصدير نتائج دراسة الوضع الراهن وقراءتها:

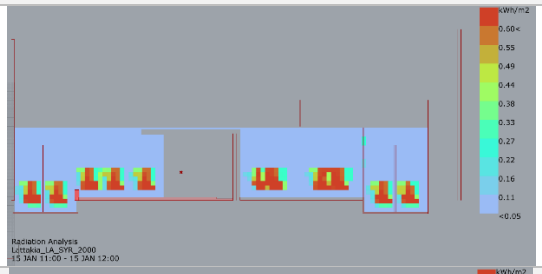
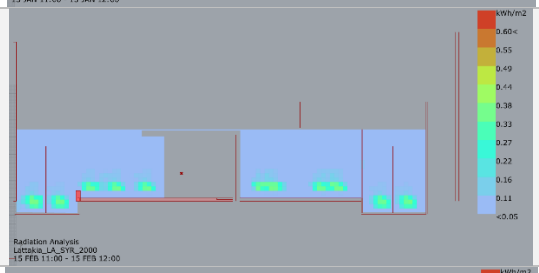
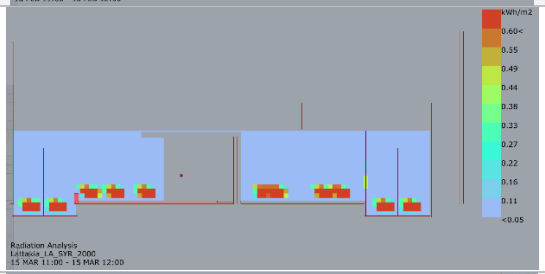
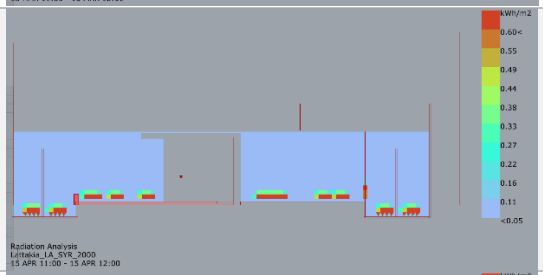
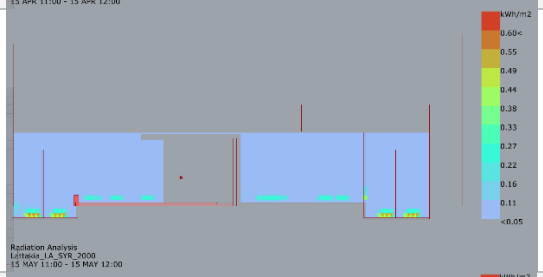
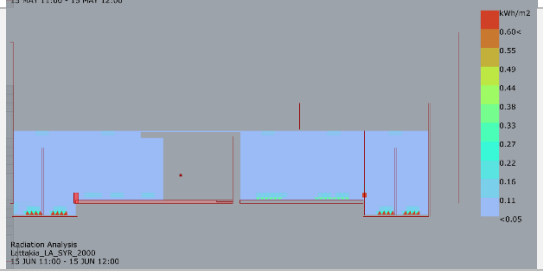
قام الباحث بضبط مجال المتغير المسمى "شهر" ليكون من 1 إلى 12 فقط، ثم قام بتفعيل خيار Animate وحصل على 12 صورة مرفقة في الجدول رقم 14، ثم قام بتغيير اليوم المدروس إلى 15 وقام بتكرار العملية وحصل على 12 صورة أخرى، تم إرفاق جميع هذه الصور في جدول رقم 14، كما تم تسجيل قيم متوسط الإشعاع الشمسي على المسقط لكل الحالات السابقة وتم ترتيبها في الجدول ذاته.

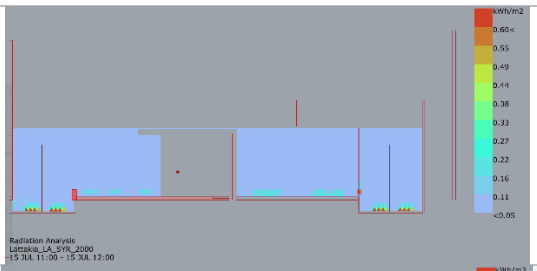
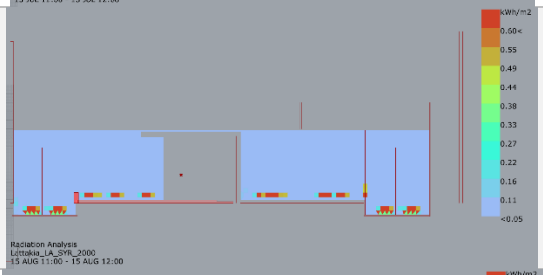
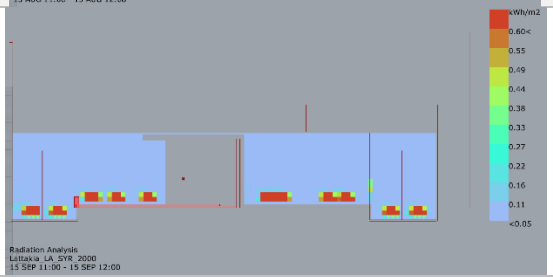
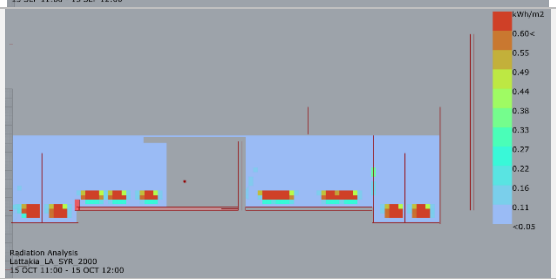
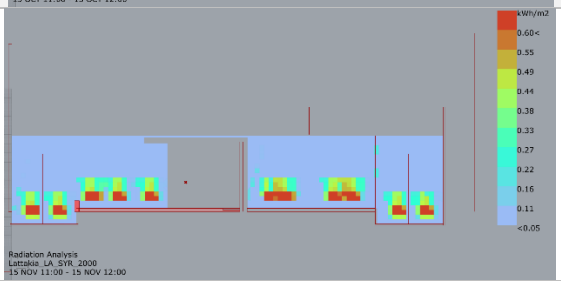
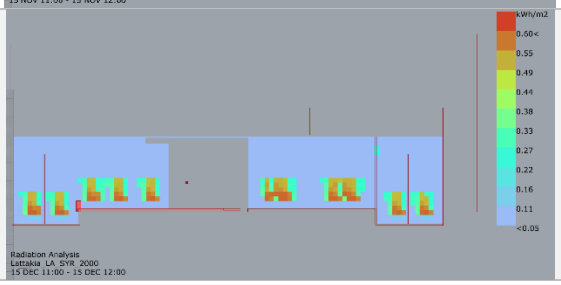
كما استخدم الباحث أداة لتوليد مخطط بياني من نوع Line Chart يمثل متوسطات الإشعاع الشمسي على مدار أشهر السنة.

جدول 14 نتائج دراسة الوضع الراهن (إعداد الباحث)

الشهر	الصورة يوم 7	المتوسط يوم 7 "واطامتر مربع"
1		39
2		75
3		78
4		33
5		37
6		27

25		7
35		8
55		9
37		10
62		11
98		12

الشهر	الصورة يوم 15	المتوسط يوم 15 "واطامتر مربع"
1		100
2		35
3		82
4		55
5		25
6		27

27		7
40		8
60		9
72		10
88		11
77		12

ويظهر المخطط البياني المبين بالشكل التوضيحي رقم 5 متوسط قراءات الإشعاع الشمسي على مدار العام:

رسم توضيحي 5المخطط البياني لقيم متوسط الإشعاع الشمسي الداخل إلى المسقط (إعداد الباحث)

من خلال معاينة توزع الإشعاع الشمسي وقيمة المتوسط بالصور والأرقام التي أنتجتها خوارزميات التحليل والتصدير، نخلص إلى ما يلي:

إن كمية الإشعاع الشمسي الداخل إلى الفراغات المدروسة على مدار أشهر الشتاء تتراوح بين متوسط إلى فوق المتوسط " ما بين 55 إلى 88 واط " وهو أمر جيد نوعاً ما، إلا أن طريقة توزع هذا الإشعاع تشكل مشكلة، فالإشعاع يتركز على شكل بؤر تقع أمام فتحات النوافذ وعلى بعد حوالي 1 متر، مما يشكل انعكاسات غير مرغوب فيها وإنارة غير متوازنة للفراغ.

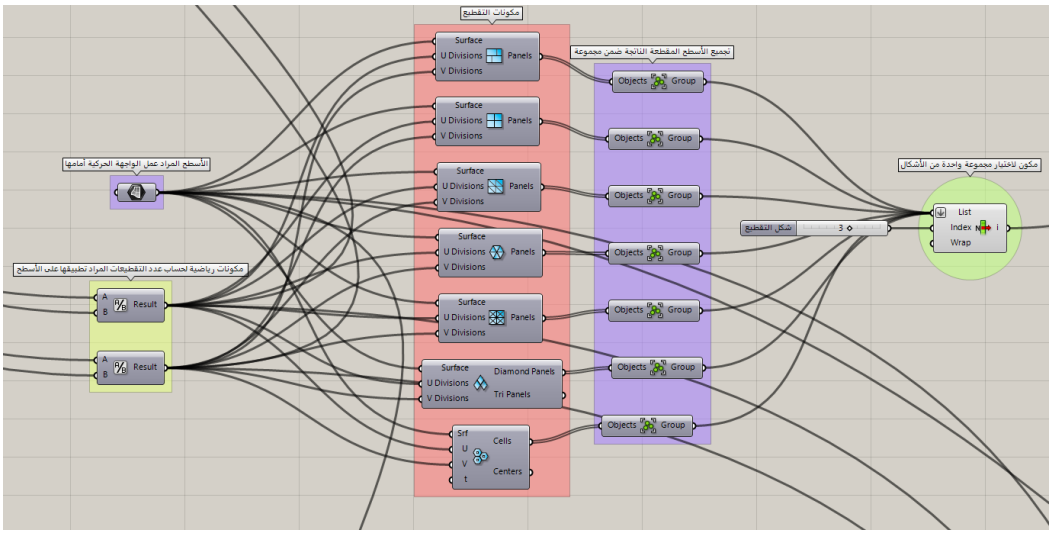
أما في أشهر الصيف نجد تركز الإشعاع الشمسي تحت النوافذ مباشرة وبقيم مرتفعة، وانعدام الإشعاع على باقي الفراغ، مما يشير إلى وجود بؤر حرارية مرتفعة، ويشكل تباين كبير في إنارة الفراغ أيضاً، فيما كانت قيم متوسط الإشعاع بين المتوسطة إلى المنخفضة وهو أمر إيجابي.

وعليه فإن عملية تصميم حل بديل يجب أن تركز على نوعية وتوزع الإشعاع بدلاً من كميته، وذلك من خلال تحويل الواجهة إلى ما يعرف بالبشرة الزجاجية، وتعني إزالة جدران الواجهة بالكامل واستبدالها بألواح زجاج، وتغطيتها بعنصر الواجهة الحركية، بحيث تعمل الواجهة الزجاجية على إدخال الإنارة والإشعاع لعمق أكبر إلى داخل الفراغ، أما الواجهة الحركية فتعمل على عملية العزل الحراري والإشعاعي في حالة الظروف غير المرغوب بها.

4-2-2-4 خوارزمية تصميم الواجهة الحركية:

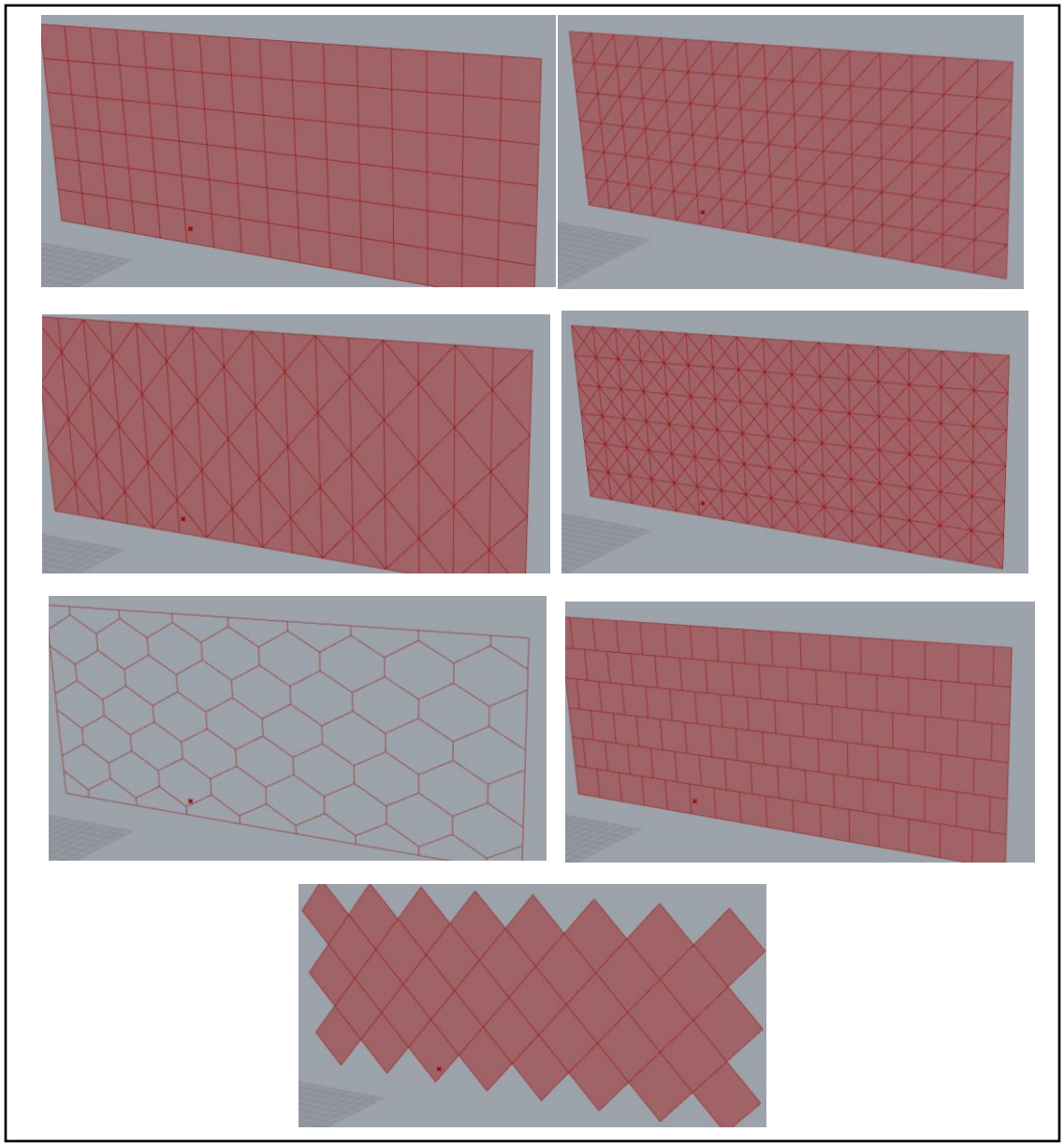
بداية قام الباحث برسم أسطح في برنامج Rhino في الأماكن التي يرغب بعمل الواجهة الحركية أمامها، ومن ثم تعريف تلك الأسطح في مقبس GH للبدء بعملية التصميم للواجهة الجديدة، كما قام بإخفاء الجدران المقابلة للواجهة وأزال تأثيرها من مكون دراسة الإشعاع، وعند تصميم الواجهة يكون لدينا مجموعة خيارات تتمايز بينها الواجهات، أهمها وأولها شكل الوحدة (العنصر المتحرك)، بالإضافة لطريقة الفتح والإغلاق فإما أن يكون الفتح والإغلاق عن طريق دوران هذه الوحدات حول محور مار من أحد أضلاعها، كما هو الحال في واجهة أبراج البحر التي درسناها في فقرات سابقة، أو عن طريق الطيّ وذلك من خلال استخدام أنسجة من الفينيل المقاوم للعوامل الجوية مثبت على عناصر متحركة –يشبه مبدأ الأسقف المتحركة المتداول كثيراً ولكن على الواجهات–، وعليه تكون الخطوة الأولى هي تحديد شكل الخلية "طريقة التقطيع للواجهة المدروسة"، ولهذا الغرض نستخدم مجموعة من مكونات التصميم التي تقوم بتقطيع الأسطح إلى أشكال هندسية معروفة كالتالي: مربعات، مثلثات متساوية الأضلاع، مثلثات متساوية الساقين قائمة الزاوية، مستطيلات سابق ولاحق "نفس شكل تناوب البلوك الاسمنتي في الجدران"، المعينات، والسداسيات المنتظمة، ونغذي هذه المكونات من السطح المدروس بالإضافة لبيانات من مكونات رياضية تم استخدامها لحساب عدد التقطيعات الأنسب بحسب أبعاد السطح فتصبح الخوارزمية كما في الصورة رقم 98.

كما تم استخدام مكون اختيار عنصر وذلك من أجل التعامل مع نوع واحد من التقطيعات لاحقاً، ويتم اختيار النوع من خلال بارامتر شكل التقطيع الذي تمت إضافته من أجل سهولة التعامل.



صورة 98العناصر الخوارزمية لعملية التقطيع ومدخلاتها (إعداد الباحث)

وكانت نتائج التقطيع كما في الصورة المرفقة برقم 99.

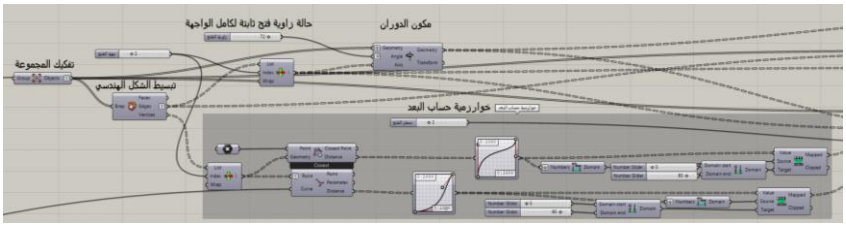


صورة 99 نتائج مكونات التقطيع (إعداد الباحث)

الخطوة التالية ستكون بتحديد طريقة حركة الواجهة، وهناك عدة طرق لحركة الواجهة منها: الدوران– الانزلاق– الطيّ، وسيتطرق الباحث إلى طريقتين هما الدوران والطيّ:

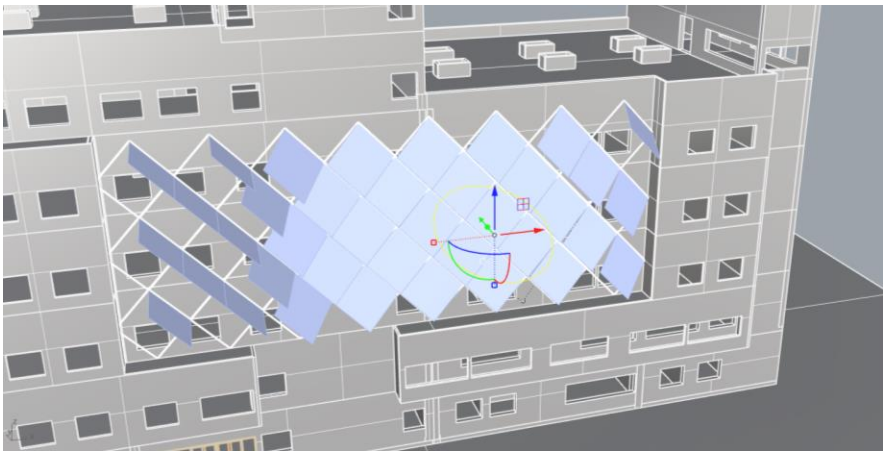
حالة الفتح بالدوران: يتم أخذ البيانات الصادرة من مكون اختيار العنصر والتي هي المجموعة التي تم اختيارها ثم نقوم بتفكيكها من خلال مكون تفكيك المجموعة لنحصل على مجموعة أسطح يمكن التعامل معها بشكل إفرادي من نقل أو تعديل لكل سطح لوحده وفق سلسلة من القيم، وسنبدأ باختبار الواجهة الحركية المبنية على الدوران، فلذلك تمت إضافة مكون التدوير، ولتحديد المحور الذي سيدور

حوله كل عنصر تمت إضافة مكون تبسيط الشكل ومكون اختيار العنصر، ومكون تبسيط الشكل يقوم بإرجاع السطح أو المجسم إلى عناصره الأساسية من حواف ورؤوس –أي زوايا– وأوجه، ومن مكون اختيار العنصر نقوم باختيار الحافة التي نرغب بأن تكون المحور الذي سيدور حوله كل وجه، ولتحديد درجة الفتح يكون لدينا خيارين رئيسيين، الأول هو تطبيق نفس زاوية الفتح على كل الأسطح كل منها حول محوره، الثاني هو تطبيق قيم فتح مختلفة من سطح إلى آخر وفق تغير عامل خارجي، والمقصد من وراء الخيار الثاني هو إمكانية فتح الواجهة عند مرور غيوم في الصيف مثلاً فتفتح الواجهة في منقطة الظل للسماح بالإنارة الطبيعية بالدخول بعد أن غابت أشعة الشمس المباشرة، أو أن تفتح الواجهة في الشتاء عند ما تظهر أشعة الشمس من بين الغيوم فتأتي على جزء من الواجهة فنرغب بإدخالها للاستفادة من دفئها، ولهذا الغرض نقوم بإضافة مجموعة مكونات مهمتها حساب البعد؛ أي حساب بعد منطقة الظل عن مركز النافذة المراد فتحها، فإن وقعت النافذة ضمن منطقة الظل فتحت مثلاً، ومن هذه المكونات يجب أن يتم تعريف شكل هندسي –دائرة أو مربع مثلاً– ليلعب دور المساحة المظللة، لتقوم بعدها مكونات خوارزمية حساب البعد بقراءة بعد الأسطح عن هذا الظل وتحويلها إلى زوايا فتح وإغلاق، ونشاهد في الصورة رقم 100 شكل الخوارزميات الجديدة موضحة عليها أسماءها، وفي الصورة رقم و نشاهد كيف تغيرت زوايا فتح وإغلاق الواجهة عند تغير مكان المنطقة المظللة، كما نرى في الصورة 101 و102 كيفية تغير جهة الفتح وكيفية تطبيق زاوية فتح موحدة لكل النوافذ.



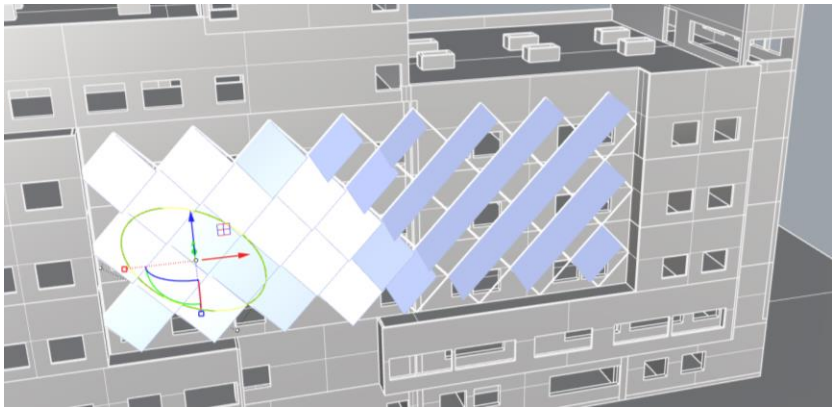
صورة 100شكل الخوارزميات المعنية بفتح الواجهة بالدوران (إعداد الباحث)

صورة 101 صورة نتائج الخوارزمية بعد إضافة عناصر الفتح بالدوران (إعداد الباحث)

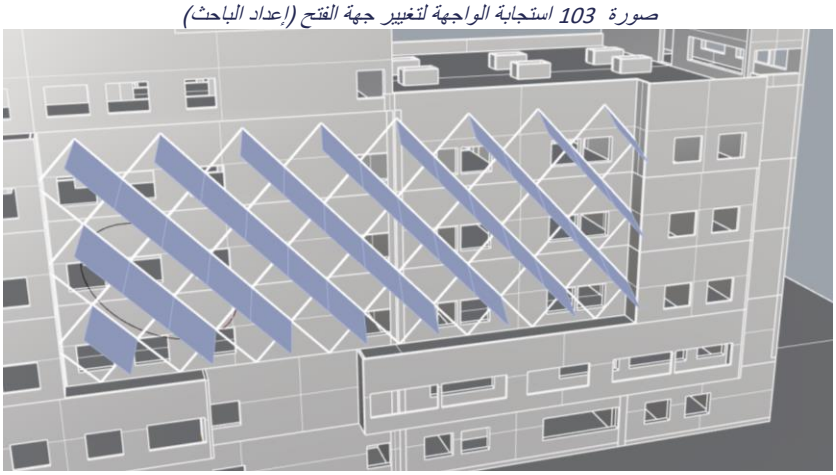


صورة 102 استجابة الخوارزمية لحركة الظل (إعداد الباحث)

نلاحظ استجابة الخوارزمية لحركة الظل بشكل صحيح مما يعني جاهزيتها لتلقي البيانات من الحساسات في حال اعتمادها، كما نلاحظ استجابة الخوارزمية لتغيير جهة الفتح واستجابتها لحالة إعطاء زاوية فتح موحدة لكامل الواجهة في الصورتين 103 و104، مما يدل على سلامة كتابة الخوارزمية وسلامة توصيل خيوط تدفق البيانات.



صورة 103 استجابة الواجهة لتغيير جهة الفتح (إعداد الباحث)

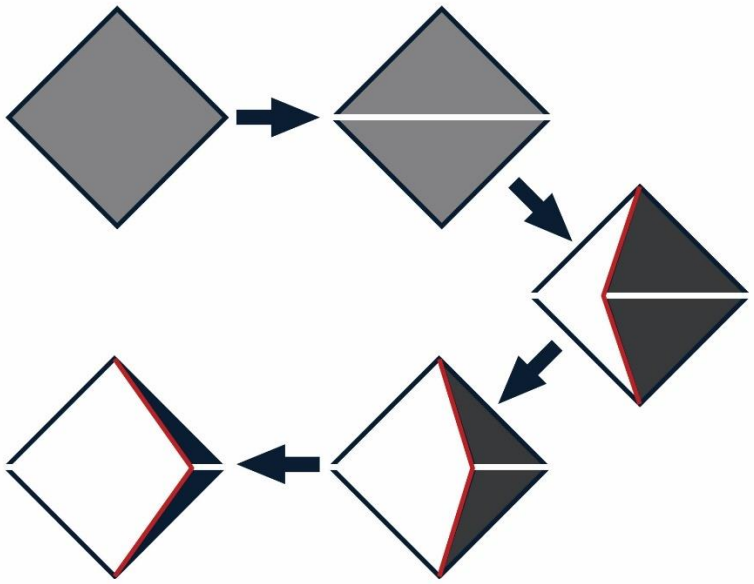


صورة 104 استجابة الواجهة لفتح جميع النوافذ بزاوية موحدة (إعداد الباحث)

وجب التنويه إلى أن الجدران والنوافذ القديمة خلف الواجهة الحركية سيتم استبدالها لاحقاً ببشرة زجاجية على كامل الواجهة من خلال برنامج ArchiCAD.

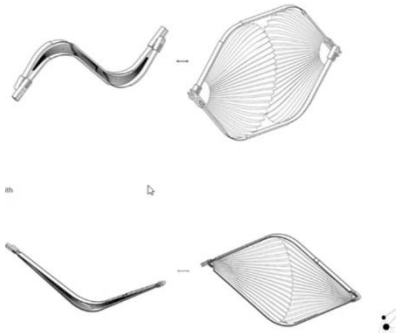
وعند التقييم يلحظ الباحث أن فتح النوافذ بزاوية ينتج عنه تحولها إلى مظلات، وبالتالي قد تحجب هذه النوافذ أشعة الشمس المفيدة في الشتاء، وهو أمر سلبي يستوجب إعادة النظر بطريقة الفتح والتحول إلى دراسة حالة الفتح بالطيّ.

حالة الفتح بالطيّ: تستوجب أولاً فهم كيفية وآلية عمل الواجهات التي تفتح بالطي، ففي هذه الحالة تكون كل خلية "نافذة" مكونة من إطار خارجي بالإضافة لسطح مظلة يغطي كامل النافذة، هذا السطح يكون من مادة الفينيل وهي مادة ذات مقاومة عالية وكلفة منخفضة ومخصصة للاستخدامات الخارجية ويمكن استبدالها بسهولة في حالة تلف أحد هذه الأسطح، بالإضافة للإطار الخارجي وستار الفينيل يوجد أيضاً جزء متحرك يتمثل بضلعين من الشكل يربط بينهما مفصل، حيث يتم تثبيت الفينيل من جهة على الإطار الخارجي للنافذة ومن الجهة الأخرى على الجزء المتحرك، يوضح الشكل رقم 6 الإطار الخارجي باللون الأسود، فيما يمثل اللون الرمادي ستارة الفينيل، أما اللون الأحمر يوضح الجزء المتحرك، وكما نلاحظ في الشكل فإن ستار الفينيل يتكون من قسمين منفصلين عن بعضهما، ولكن يتم التحكم بهما معاً، ولا يمكن التحكم بأحد السطحين دون الآخر في نفس النافذة.

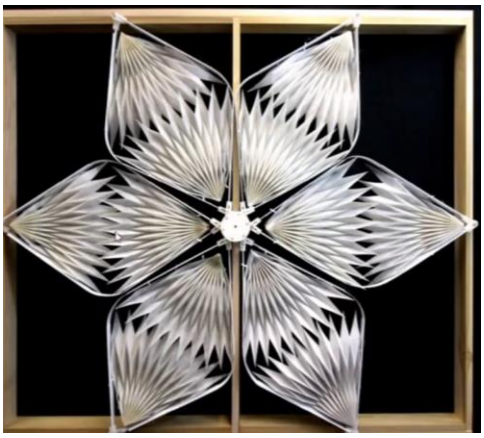


رسم توضيحي 6 شكل مبسط يوضح فكرة طي الواجهة (إعداد الباحث)

توضح الصورة رقم 105 مثالاً مفصلاً عن فكرة الستار المتحرك بشكلين مختلفين، المضلع الرباعي في أسفل الصورة والمضلع السداسي أعلاها، ونرى في الصورة رقم 106 مثالاً مطبقاً على أرض الواقع لفكرة الستار المتحرك.

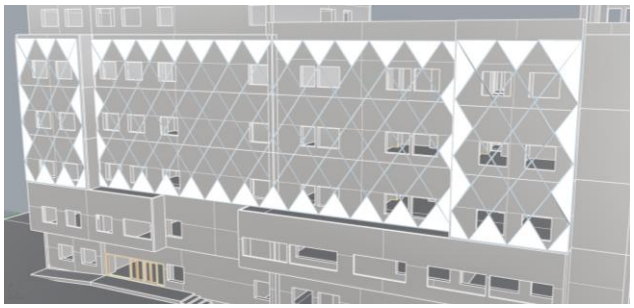


صورة 105 مخطط يوضح فكرة الستار المتحرك (نادي، 2019)



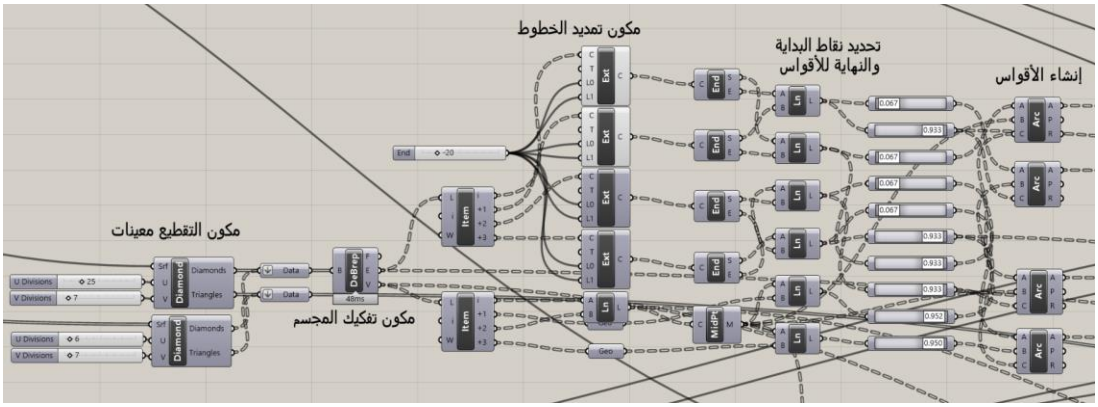
صورة 106 مثال واقعي -ماكيت- يوضح تطبيق الواجهات المطوية على أرض الواقع (نادي، 2019)

كما نرى في الصورة رقم 106فإن كل 6خلايا "نوافذ" يمكن التحكم بها من الرأس المشترك بينها، وذلك بوضع المحرك المخصص لتحريك المفصل الذي يتحكم بفتح وإغلاق الستار الفينيلي في نقطة الالتقاء، بعد فهم وبيان الهدف المراد الوصول إليه يمكن للباحث المباشرة بالعمل على الخوارزمية الخاصة بالواجهة الحركية التي تعمل من خلال ميزة الطيّ، بدأً باستخدام مكون تقطيع السطح إلى معينات، وضبط البارامترات التي تناسب طول الواجهة وعرضها، ثم استخلاص البيانات من خلال المخرجين التي يوفرهما مكون التقطيع، المخرج الأول للمعينات، والمخرج الثاني للمثلثات التي تنتج على أطراف السطح والتي لا يمكن أن يتم تحويلها لمعينات (توضح الصورة رقم المثلثات المشار إليها في هذه الفقرة باللون الأخضر)، هذه المثلثات تم تحويلها إلى أسطح ثابتة نظراً لشذوذها عن بقية الأسطح وعدم إمكانية تطبيق حل التحريك فيها، وتم وتحويلها إلى أسطح تعمل كمظلة ثابتة وفق خوارزمية مبسطة مخصصة لهذا الغرض، ونرى في الصورة رقم 107 شكل المثلثات المذكورة بعد الحل.



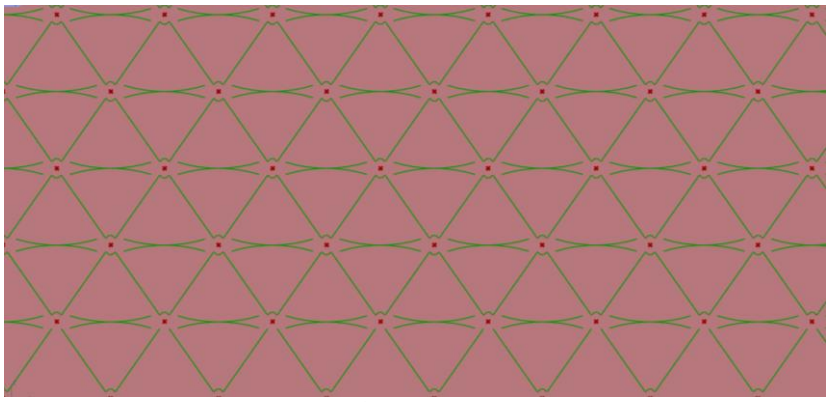
صورة 107 طريقة معالجة الخلايا التي لا يصح أن تتحرك (إعداد الباحث)

أما المعينات فتم تطبيق عدة عمليات عليها بدأً بتفكيكها إلى عناصرها الأساسية من رؤوس وأضلاع، ثم تحديد الأضلاع بهدف معها كل على حدى وإنشاء سطح ستار الفينيل، وذلك من خلال تحديد الجزء الذي سيتم تثبيت الستار الفينيلي عليه والذي لابد أن يكون أقصر من الطول الكلي للضلع، حيث أن رأس المعين يحتوى كما وضحنا سابقاً على المحرك المسؤول عن فتح وإغلاق الستار، ولذلك طبق على جميع الأضلاع مكون تمديد العنصر وتم إعطاء التمديد بقيمة سالبة ليكون الضلع الناتج أقصر من الضلع الأساسي بـ 20 سم من الطرفين، وبما أن ستار الفينيل سيفتح بطريقة مشابهة للمراوح اليابانية، فإن كل معين سيحوي على ستارين يكون شكل كل واحدٍ منهما قطاع حلقي مركزه عند أحد رؤوس المعين (وفي هذه الدراسة تم اعتماد الرأسين في أسفل وأعلى النافذة ليكونا مراكز القطاعات الحلقية)، ولذا لابد من رسم قوسين لكل ستار فينيلي أيضاً وذلك باستخدام مكون رسم قوس وتوضح الصورة رقم 108 المكونات المذكورة أعلاه ببعضها البعض.



صورة 108 المكونات الخوارزمية لتحديد شكل الستار (إعداد الباحث)

وفي الصورة رقم 109 لدينا العناصر التي وصلنا إليها، باللون الأحمر لدينا السطح الذي تم إجراء هذه العمليات عليه، وبالأخضر نرى الأقواس والخطوط التي حصلنا عليها، ويمثل رمز × رؤوس المعينات التي يتم تثبيت المحركات فيها.



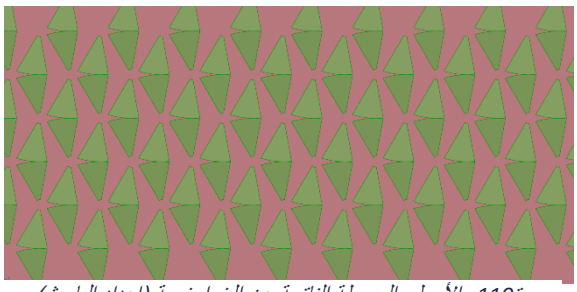
صورة 109 العناصر التي أنتجتها الخوارزمية وصولاً إلى تحديد شكل الستار (إعداد الباحث)

تحديد نسبة الانفتاح على الخارج حسب حالة الراحة: بعد الحصول على العناصر الهندسية الأساسية لإنشاء الواجهة الحركية، يأتي في هذه المرحلة دور إدخال بيانات تحليل الراحة الحرارية قبل المتابعة في كتابة الخوارزمية، وكما مر معنا في الفقرة 4-2-2-2 فإن خوارزمية الراحة الحرارية تعطي عدة قيم أهمها بالنسبة لنا في المرحلة الحالية هي قيمة الراحة الحرارية والتي تتراوح بين -3 وحتى +3، حيث تكون قيمة 0 هي القيمة الوسطية التي تعبر عن الجو المريح وأن الطقس في الخارج مناسب للاستفادة منه في إنارة وتدفئة أو تهوية الوسط الداخلي، وعليه فأن القيم -3 و +3 هي قيم سلبية سواء كانت ببرودتها أو حرارتها الزائدة ويجب إغلاق الواجهة الحركية عندما تكون قيمة الراحة الحرارية غير مناسبة، أما القيم الوسطية +1 و +2 و -1 و-2 فتستوجب إغلاق الواجهة بشكل جزئي يتوافق مع درجة انعدام الراحة، وإن الخطوة التالية هي استخدام القيمة المطلقة على البيانات المعبرة عن الراحة الحرارية، فالمهم هنا هو درجة الراحة أو انعدامها بغض النظر هل هي أقرب للبرودة أم الحر، وبذلك نختصر القيم فتصبح بين 0 و+3، من خلال استخدام مكونات تعرف باسم Remap أي إعادة الترقيم، تمكننا من تقسيم الأقواس التي قمنا برسمها إلى أربع مستويات، وبضبط البارامترات لمكونات خوارزمية Remap تصبح التقسيمات الموافقة للراحة الحرارية كالتالي:

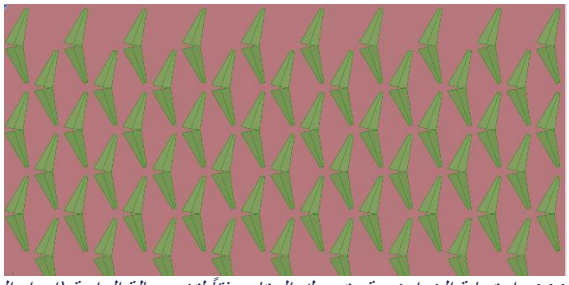
- عند قيمة 0 تعمل الخوارزمية على تحديد نقطة على بعد 5% من طول القوس عن بدايته (آخذين بعين الاعتبار أن الستار حتى لو تم طويه قدر الإمكان لا يمكن أن يتم فتح النافذة بالكامل وإنما سيبقى جزء صغير جداً مغطى بسبب وجود الستار المطوي أمامه).
- عند قيمة 1 تعمل الخوارزمية على تحديد نقطة على بعد 33% من طول القوس عن بدايته.
- عند قيمة 2 تعمل الخوارزمية على تحديد نقطة على بعد 66% من طول القوس عن بدايته.
- عند قيمة 3 تعمل الخوارزمية على تحديد نقطة على بعد 100% من طول القوس عن بدايته.

يمكننا بعدها تكوين سطح بالاعتماد على النقاط التي توفرت لدينا، أضلاع هذا السطح هي: الضلع الأول هو الخط الواصل بين بداية القوسين العلوي والسفلي، الضلع الثاني هو جزء القوس المتشكل بين بداية القوس والنقطة المحددة على نفس القوس بواسطة خوارزمية Remap، الضلع الثالث هو الخط الواصل بين النقطة المحددة على القوس العلوي والنقطة المحددة على القوس السفلي بواسطة خوارزمية Remap، والضلع الرابع هو جزء القوس السفلي المتشكل بين النقطة المحددة عليه بواسطة الخوارزمية ونقطة بداية القوس، فيتشكل لدينا الأسطح المبينة بالصورة رقم 110، ونتذكر أنه وبحسب

طبيعة التصميم الخوارزمية فإننا عندما نعمل على خليه وحدة فكأنما نعمل على جميع الخلايا ويتم تطبيق الخوارزمية على كل العناصر الموافقة للعنصر المدروس بشكل تلقائي، وعندما نغير اليوم المدروس والساعة المدروسة نلاحظ تجاوب الخوارزميات جميعها لحالة الراحة الجديدة الموافقة للتوقيت الجديد كما نرى في الصورة رقم 111.

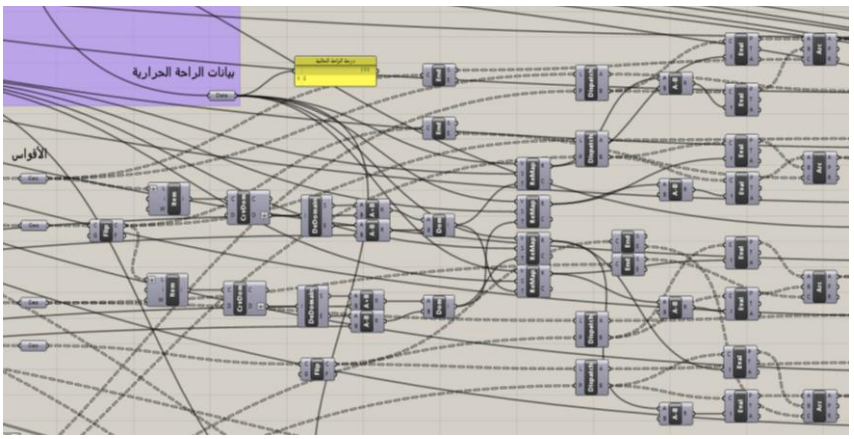


صورة110 الأسطح المبسطة الناتجة عن الخوارزمية (إعداد الباحث)



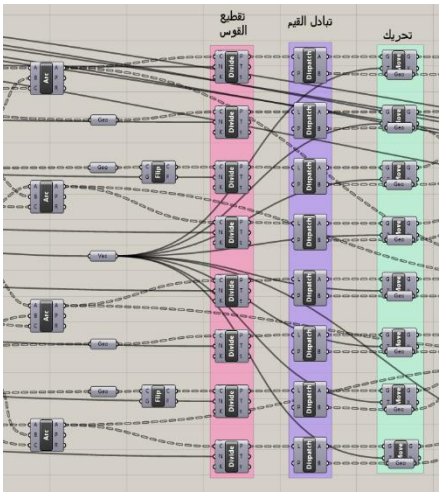
صورة111 استجابة الخوارزمية وتحريك الستار وفقاً لتغير حالة الراحة (إعداد الباحث)

وعند النظر إلى شكل الخوارزمية الجديدة في الصورة رقم 112، قد نشعر بأن هناك الكثير من العناصر المعقدة، ولكن عند التدقيق فيها سنرى أن معظم المكونات المستخدمة هي مكونات رياضية (ضرب وجمع وطرح وما إلى ذلك) وهدفها إعادة تعيين قيمة الفتح الموافقة والمناسبة للراحة الحرارية.



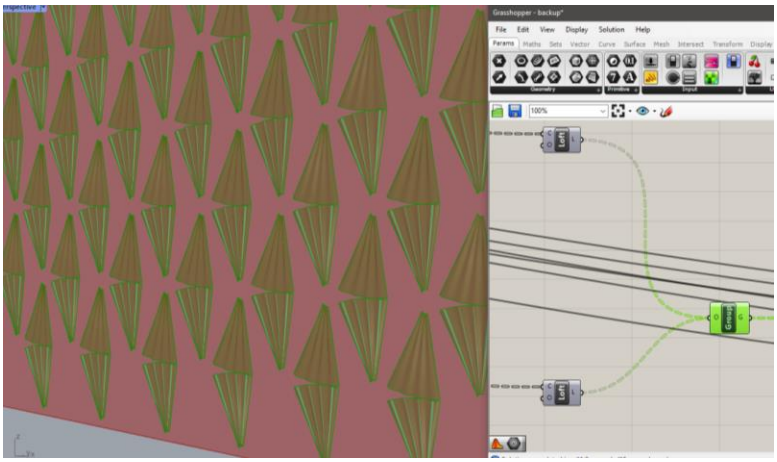
صورة 112 المكونات الرياضية المحددة لنسبة الفتح وفقاً لحالة الراحة (إعداد الباحث)

وبهدف إعطاء الواجهة المدروسة دقة أكبر وواقعية أفضل تم إضافة جزء خوارزمية يهدف إلى تمثل طيّات الستار عندما يطوى وذلك من خلال مكونات تقطيع المنحني، حيث تم تقطيع الأقواس إلى 10 طيّات، وإعطاء قيم تحريك على محور معامد للسطح المدروس بشكل متناوب، مرة موجبة ومرة سالبة، ولأسباب تتعلق بطبيعة تدفق البيانات وهرميتها، كان لابد من تطبيق هذه المكونات مرتين لكل قوس من الأقواس (مرة للموجب ومرة للسالب) ولأن كل معين يحتوي أربع أقوس فتم تطبيق هذه تكرار المكونات المستخدمة في هذه الخطوة لثمانية نسخ، كما نرى في الصورة رقم 113.



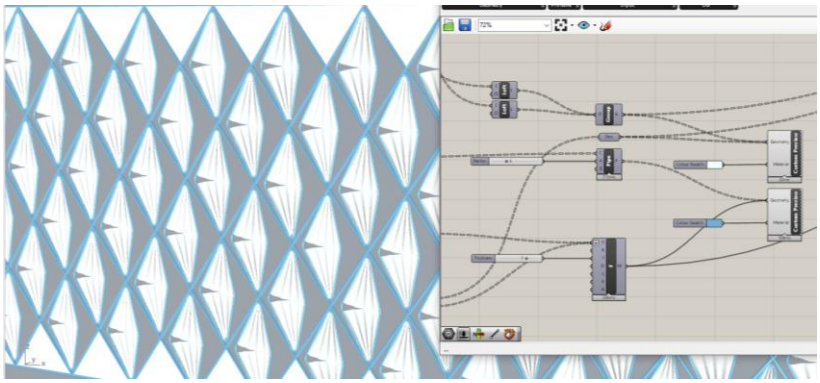
صورة113 تطبيق قيم تحريك على طيّات الستار (الباحث)

ونتاج الخطوات السابقة يصبح لدينا في كل خلية 5 نقاط تم تحريكها بقيمة موجبة و5 نقاط أخرى تم تحريكها بقيمة سالبة، وسنقوم برسم خطوط تصل تلك النقاط وفق تسلسلها بشكل تلقائي (أي النقطة الأولى التي تحركت بشكل موجب من القوس الأعلى بالنقطة الأولى التي تحركت بشكل موجب من القوس الأسفل وهلم جراً، والأمر نفسه بالنسبة للنقط التي تم تحريكها بقيم سالبة، والناتج سيكون لدينا عبارة عن مجموعة من الخطوط يمكننا استخدامها في المكون التالي وهو مكون Loft ويقوم بإنشاء سطح يصل بين مجموعة من الخطوط، وهذا السطح الناتج كما نراه في الصورة رقم 114 وبجانب الخوارزمية نرى الأسطح الناتجة عنه.



صورة 114 مكون Loft والأسطح الناتجة عنه (إعداد الباحث)

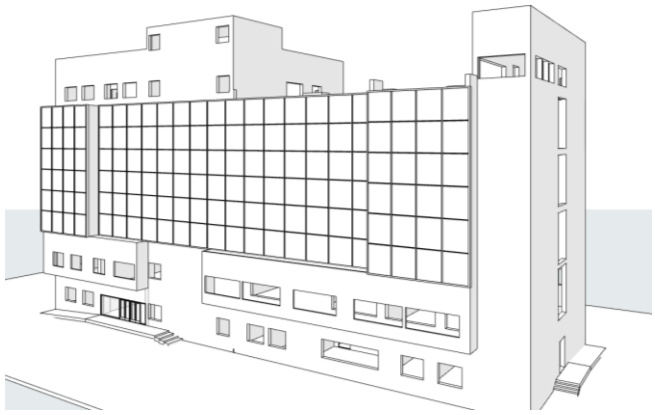
ولإنهاء هذه المرحلة من الدراسة قام الباحث بإنشاء شبكة من العناصر المعدنية لتحمل الواجهة الحركية معتمداً على أضلاع الخلايا وباستخدام مكون Fattener الذي يعطي سماكة ومقطع للعناصر الخطية، كما قام بتمثيل العناصر التي يتم تثبيت الستار الفينيلي عليها بالاعتماد على الخطوط المستخدمة في إنشاء الستار بالمقام الأول وإعطاءها مقطع دائري باستخدام مكون pipe وبقطر يبلغ 4 سم، ومن ثم إضافة مكون preview لإظهار النتائج بلون ومادة مخصصة وتم تغذيته بالبيانات الصادرة عن pipe و fattener وأيضاً البيانات الصادرة عن الخلايا المثلثية الشكل المذكورة في وقت سابق من هذه الفقرة، وكما نرى في الصورة رقم 115 يتضح لدينا المكونات الجديدة جنباً إلى جنب مع المنتج النهائي للخوارزمية.



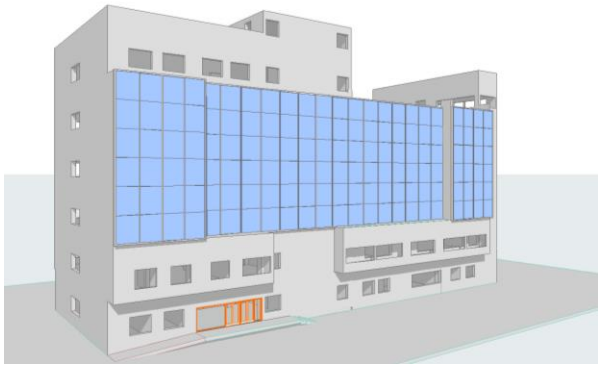
صورة 115مكونات الإظهار والنتائج الصادرة عنها (إعداد الباحث)

4-2-3-5 تعديل المبنى باستخدام برنامج ArchiCAD:

قبل المتابعة بتحليل المبنى مع واجهته الجديدة باستخدام الأدوات الخوارزمية لابد أولاً من إزالة النوافذ والجدران القديمة واستبدالها ببشرة زجاجية تغطي واجهة الجزء المدروس كاملاً، وفي سبيل ذلك تم استخدام أداة Curtain wall في برنامج ArchiCAD وتم تعديل واجهة الجزء المدروس من المبنى لتصبح كما هو واضح في الصورة 116 و117.

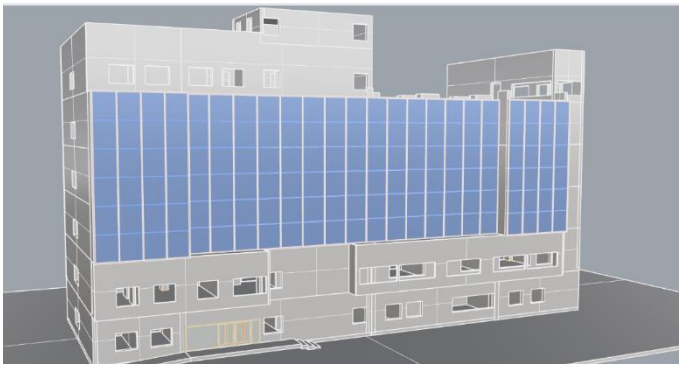


صورة 116 صورة المبنى في برنامج ArchiCAD بعد التعديل (إعداد الباحث)

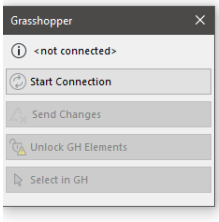


صورة 117 صورة المبنى في برنامج ArchiCAD بعد التعديل بالألوان (إعداد الباحث)

نقوم بعدها بنقل التعديلات التي أجريناها على النموذج إلى برنامج Rhino وذلك من خلال تفعيل خيار Start connection ثم النقر على Send Changes الموضحين في الصورة رقم 122 فنحصل على النموذج الجديد للمبنى بشكل مباشر في بيئة Rhino–Grasshopper كما هو موضح في الصورة رقم 119.



صورة118 شكل المبنى بعد نقل التعديلات من ArchiCAD إلى Rhino باستخدام ميزة الربط (إعداد الباحث)

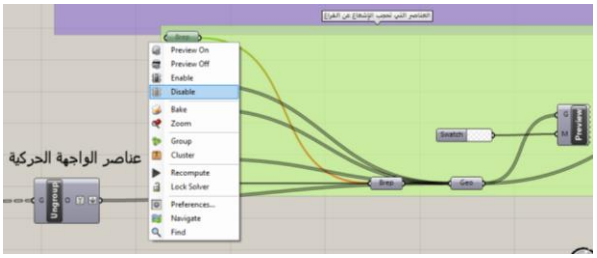


صورة119 نافذة الربط بين ArchiCAD و Rhino وخياراتها (إعداد الباحث)

وبعد هذا الإجراء يصبح الملف جاهزاً لمتابعة العمل عليه باستخدام الأدوات الخوارزمية.

4-2-2-6 تحليل الراحة الحرارية بعد تطبيق الواجهة الحركية وتصدير نتائج التحليل:

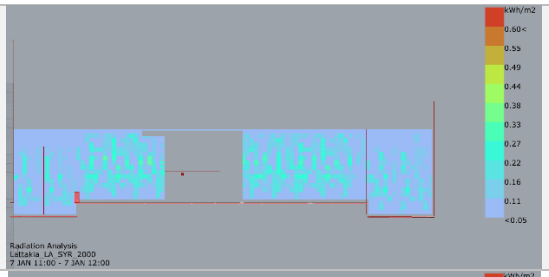
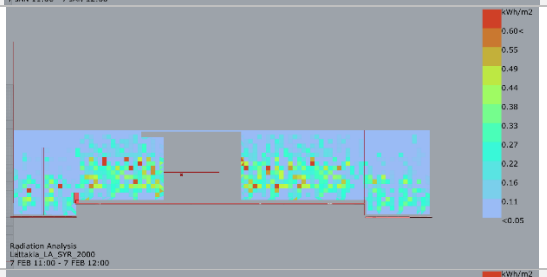
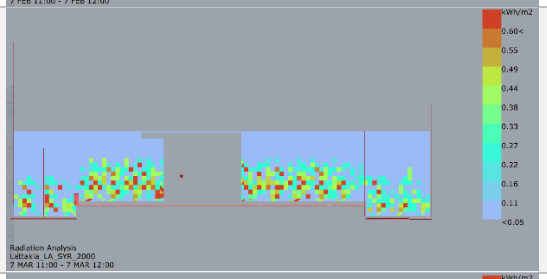
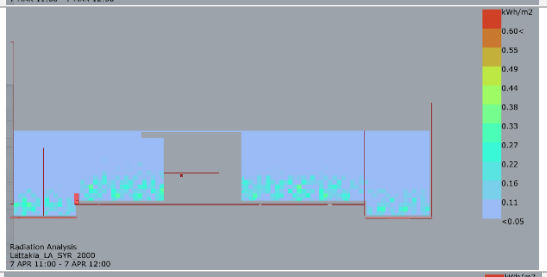
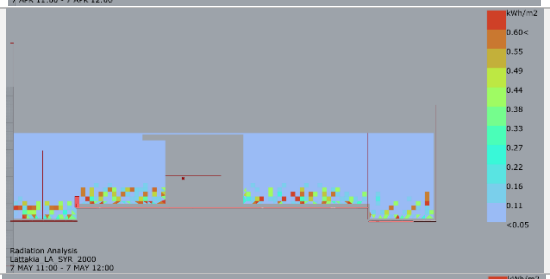
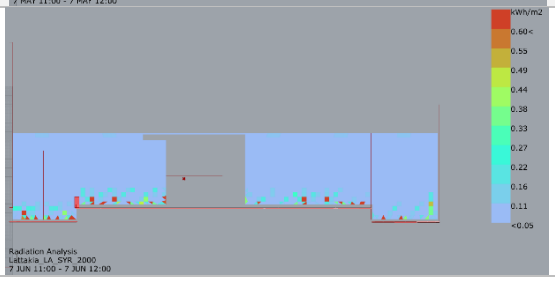
لإجراء تحليل الراحة الحرارية الجديد نقوم أولاً بتعطيل عمل مكون الواجهة التقليدية من خلال خيار Disable فيصبح خيط تدفق البيانات الصادر عنه بلون برتقالي وهو دليل على عدم تدفق البيانات أو تدفقها بشكل غير صحيح كما هو موضح في الصورة رقم 120، وندخل عوضاً عنه مكوناً يحوي البيانات الصادرة عن الواجهة الحركية.

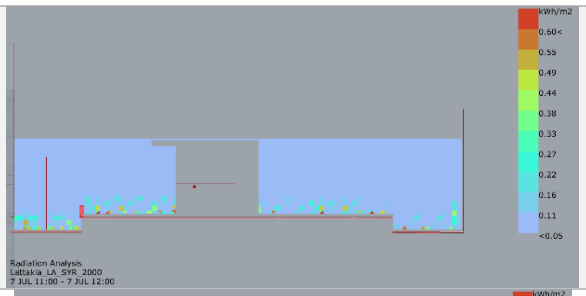
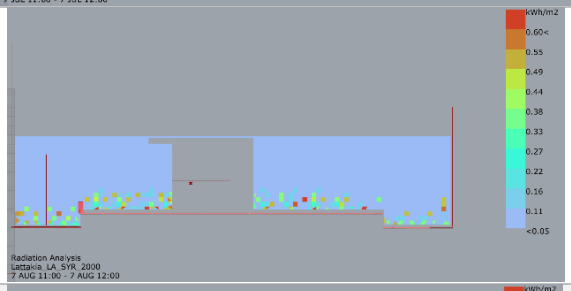
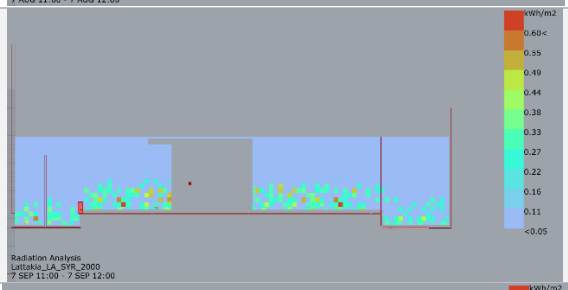
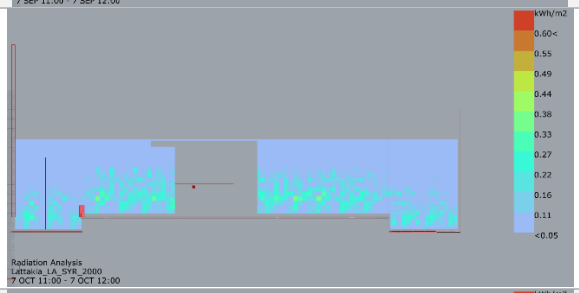
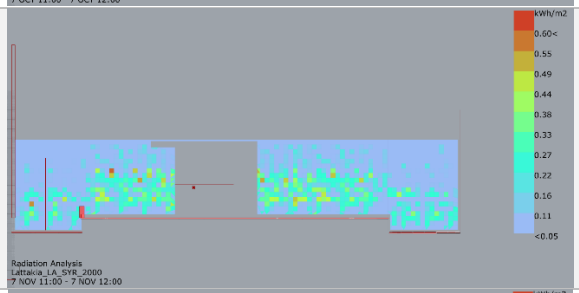
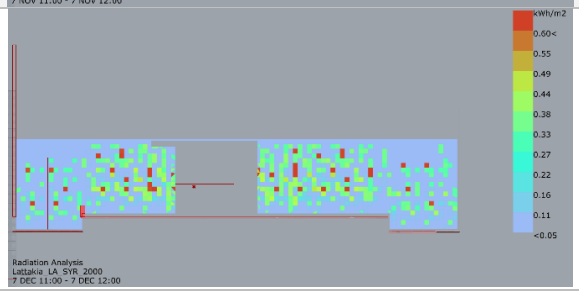


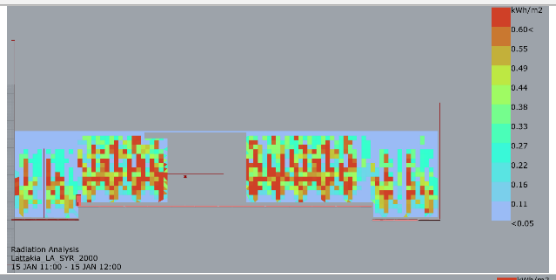
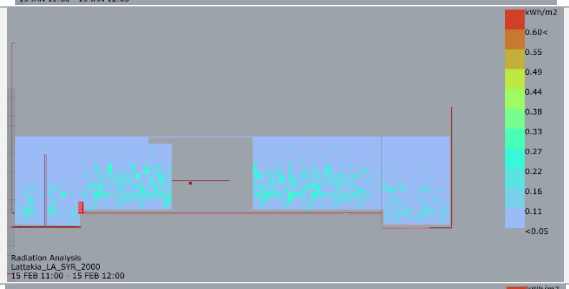
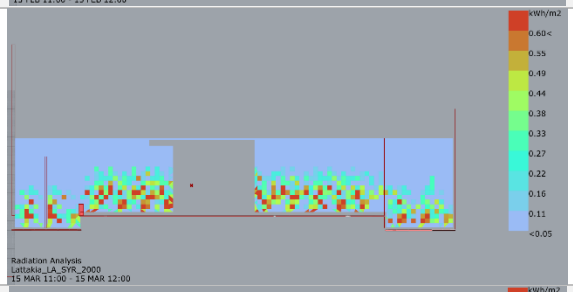
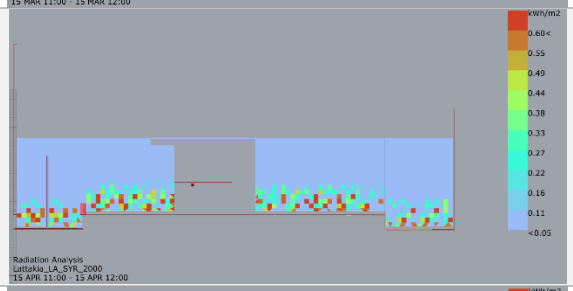
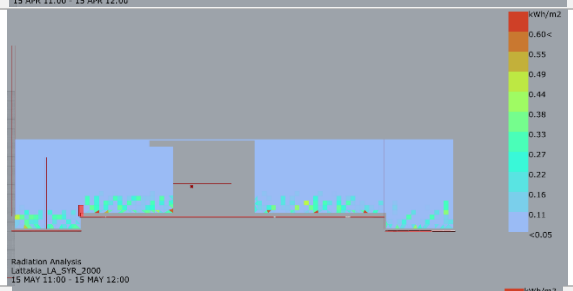
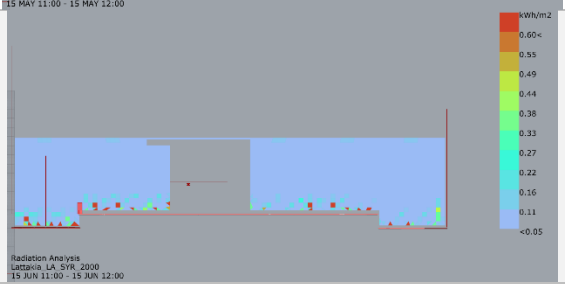
صورة 120 الإجراء المتبع لتحويل تدفق بيانات الدراسة من الحل التقليدي إلى الحل الخوارزمي (إعداد الباحث)

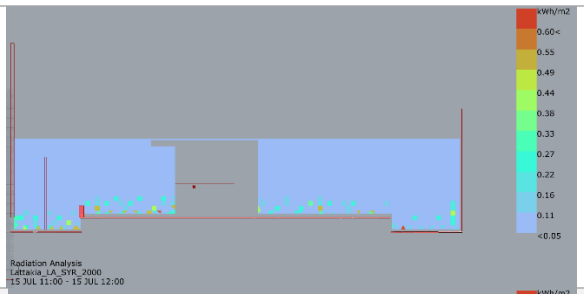
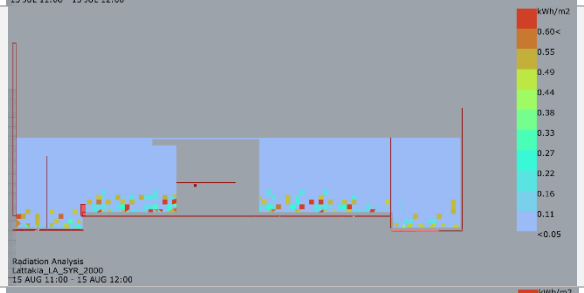
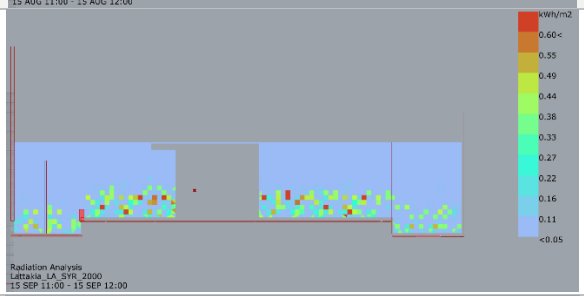
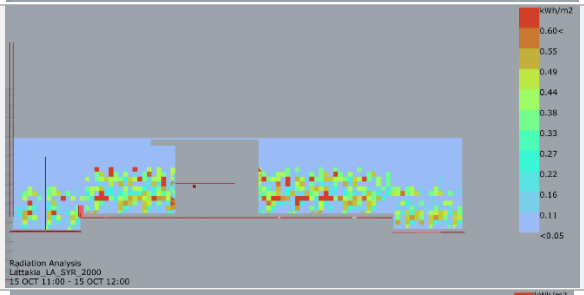
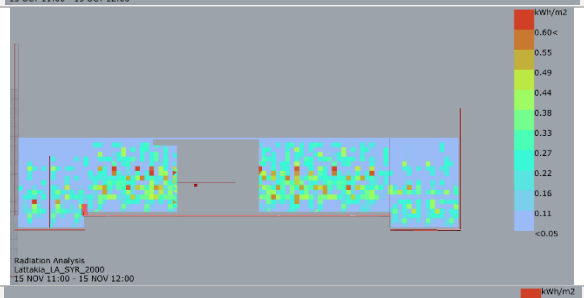
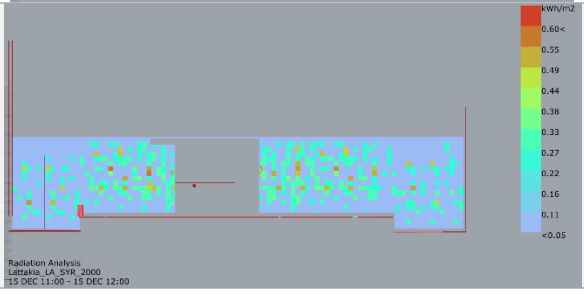
وبهذا التعديل البسيط نكون قد أعددنا الخوارزمية لتصبح قادرة على القيام بالتحليل وفق الحل الجديد، ويتبقى فقط إعطاء أمر Animate لمتغير الأشهر مثل ما مر معنا في الفقرة 4-2-3-2 وتصدير النتائج، فكانت النتائج كما في الجدول رقم 15 المرفق:

جدول 15 نتائج تحليل الواجهة الحركية المقترحة (إعداد الباحث)

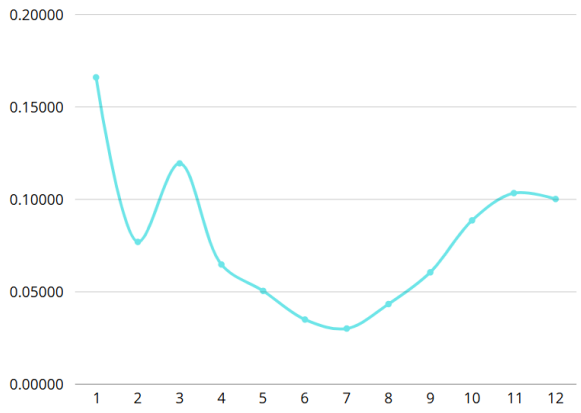
الشهر	الصورة يوم 7	المتوسط يوم 7 "كيلوواطامتر مربع"
1		0.065
2		0.106
3		0.119
4		0.0458
5		0.061
6		0.035

0.034		7
0.04		8
0.058		9
0.0549		10
0.0888		11
0.113		12

الشهر	الصورة يوم 15	المتوسط يوم 15 "كيلوواطامتر مربع"
1		0.267
2		0.048
3		0.12
4		0.0838
5		0.04
6		0.035

0.0263		7
0.0468		8
0.0631		9
0.1224		10
0.118		11
0.0874		12

ويظهر المخطط البياني المبين بالشكل التوضيحي رقم 7 متوسط قراءات الإشعاع الشمسي على مدار العام:



رسم توضيحي 7 المخطط البياني لمتوسط قيم الإشعاع الشمسي على مدار العام بعد تطبيق الواجهة الحركية (إعداد الباحث)

عند مراجعة صور توزع الإشعاع الشمسي على المساحة المدروسة بعد تطبيق الواجهة الحركية نلاحظ تحسن انتشار الأشعة الشمسية ضمن المسقط المدروس، إذ نلاحظ زوال بؤر تركز الإشعاع كما نلاحظ حدوث تجانس في قيم الإشعاع على كامل المساحة المدروسة على مدار العام.

ويوضح الجدول رقم 16متوسط درجات الحرارة وسرعة الرياح في الأوقات المدروسة بالإضافة لحالة الواجهة وذلك لأخذها بعين الاعتبار عند إجراء تقييم للنتائج.

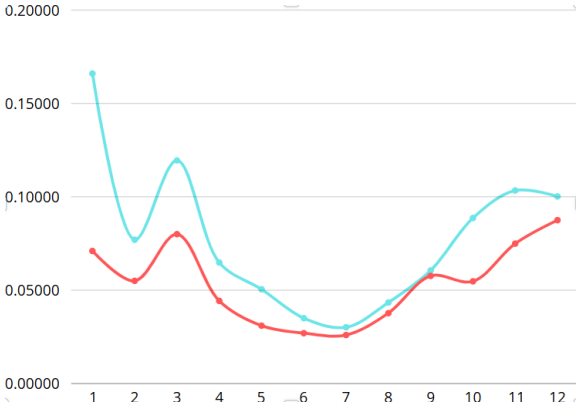
جدول 16 متوسط قراءات الطقس في الأوقات المدروسة من كل شهر (إعداد الباحث)

الشهر	متوسط درجة الحرارة في الأوقات المدروسة°	متوسط سرعة الرياح في الأوقات المدروسة م/ث	متوسط الراحة الحرارية في الأوقات المدروسة
1	12.2	7	-1.5
2	13.6	1.5	-0.5
3	21.6	4	0
4	18	3	0
5	23.9	4.7	0
6	24	4.3	0
7	27.7	6	0.5
8	29	4.1	1.5
9	28	1.5	2
10	25	3.6	0
11	20	3	0
12	18	1.5	0

4-2-4 دراسة النتائج:

تمت دراسة النتائج باستخدام أسلوب المقارنة:

للمقارنة يوضح الشكل رقم 8 لمخططين البيانيين لقيم متوسط الإشعاع الشمسي قبل تطبيق حل الواجهة الحركية المصممة خوارزمياً موضحاً باللون البرتقالي وبعد تطبيقه موضحاً باللون الأزرق السماوي:



رسم توضيحي 8 المخططين البيانيين لمتوسط قيم الإشعاع الشمسي قبل وبعد تطبيق الواجهة (إعداد الباحث)

من حيث القيمة نلاحظ ما يلي:

- في الأشـــهر الباردة ما بين تشـــرين الثاني وحتى آذار: نلاحظ ارتفاعاً ملحوظاً في كمية الإشـعاع الشـمسـي الداخل إلى المسـقط بنسـبة 57.6% عند تطبيق حل الواجهة الحركية وتراوحت الزيادة من حيث القيمة ما بين 85 واطام^{2}إلى 15 واطام^2، مما يخفف نســـبة الاعتماد على التدفئة والإنارة الاصـطناعية وبالتالي تحسين كفاءة الطاقة في المبنى، وجدير بالذكر وجود انخفاض حاد في قيمة الإشعاع الشمسي في شهر شباط، ومرجع ذلك إلى حالة الطقس في الأوقات المدروســـة إذ صـــادف أن يكون الطقس غائماً في كلتا الحالتين المدروستين يوم 7 و15.
- في الأشهر المعتدلة نيسان وأيار وأيلول وتشرين الأول: يلاحظ بعد تطبيق حل الواجهة الحركية ارتفاع بنسبة 41% في متوسط كمية الإشعاع الشمسي الداخل إلى المسقط بقيم تراوحت بين 33 واطام^2 إلى 3 واطام^2 فقط، يشير ذلك إلى زيادة نوعية في كمية الإشعاع الوارد تسهم في تخفيف الاعتماد على الإنارة الاصطناعية دون المساومة على الراحة الحرارية.
- في الأشهر الحارة من حزيران وحتى آب: بلغت نسبة الزيادة في الإشعاع الشمسي بعد تطبيق الحل 19% ومن حيث الكم كانت تتراوح بين 8 واطام^2 و4 واطام^2 ومع أن النسبة قد تبدو عالية، إلا أنها ضئيلة من حيث قيمتها بالواط وبالتالي فإن تأثيرها السلبي محدود للغاية.

أما من أجل تقييم شامل لكافة النواحي يرجع الباحث إلى المنهجية التي كان قد اقترحها في الفقرة ذات الرقم 4-2-1، والتي تم إعطاء كل جانب من جوانب الدراسة مقياساً من 1 "سيء جداً" إلى 5 "ممتاز"

جدول 17 تقييم أداء الواجهة التقليدية وفق متوسط الإشعاع (إعداد الباحث)

الشهر	متوسط الإشعاع ك. واطام^2	درجة الحرارة	التقييم
1	0.071	12.2	1.5
2	0.055	13.6	1
3	0.08	21.6	2
4	0.04425	18	3
5	0.031	23.9	3.5
6	0.027	24	4
7	0.026	27.7	4
8	0.0377	29	3.5
9	0.05765	28	3
10	0.05475	25	1.5
11	0.07495	20	2
12	0.0875	18	2.5

جدول 18 تقييم أداء الواجهة التقليدية وفق انتشار الإشعاع (إعداد الباحث)

الشهر	انتشار الإشعاع	درجة الحرارة	التقييم
1	شريطي مركز	12.2	2.5
2	شريطي مركز	13.6	2
3	شريطي مركز	21.6	2
4	بؤري – حارق	18	1.5
5	بؤري – حارق	23.9	1
6	بؤري – حارق	24	1
7	بؤري – حارق	27.7	1
8	بؤري – حارق	29	1
9	بؤري – حارق	28	1.5
10	شريطي مركز	25	2
11	شريطي مركز	20	2
12	شريطي مركز	18	2.5

جدول 19 تقييم أداء الواجهة التقليدية وفق استجابتها للرياح الضارة (إعداد الباحث)

الشهر	سرعة الرياح	التخلص من الرياح الضارة	التقييم
1	7	لا يوجد	1
2	1.5	لا يوجد	3
3	4	لا يوجد	2
4	3	لا يوجد	3
5	4.7	لا يوجد	3
6	4.3	لا يوجد	3
7	6	لا يوجد	4
8	4.1	لا يوجد	3
9	1.5	لا يوجد	3
10	3.6	لا يوجد	2
11	3	لا يوجد	2
12	1.5	لا يوجد	3

وتتناول الجداول 20 إلى 22 الأداء في كل مجال بعد تطبيق الحل:

جدول 20 تقييم أداء الواجهة الحركية وفق متوسط الإشعاع (إعداد الباحث)

الشهر	متوسط الإشعاع ك. واط/م^2	درجة الحرارة	التقييم
1	**0.166**	12.2	4.5
2	**0.077**	13.6	2.5
3	**0.1195**	21.6	3.5
4	**0.0648**	18	4
5	**0.0505**	23.9	3
6	**0.035**	24	3.5
7	**0.03015**	27.7	4
8	**0.0434**	29	3.5
9	**0.06055**	28	3
10	**0.08865**	25	3
11	**0.1034**	20	3.5
12	**0.1002**	18	3.5

جدول 21 تقييم أداء الواجهة الحركية وفق انتشار الإشعاع (إعداد الباحث)

الشهر	انتشار الإشعاع	درجة الحرارة	التقييم
1	موزع على كامل المساحة	12.2	5
2	موزع على كامل المساحة	13.6	5
3	موزع على كامل المساحة	21.6	5
4	شريط عريض على طول الواجهة	18	4.5
5	شريط عريض على طول الواجهة	23.9	4
6	شريط عريض على طول الواجهة	24	4
7	شريطي بمحاذاة الواجهة	27.7	2.5
8	شريطي بمحاذاة الواجهة	29	2.5
9	شريط عريض على طول الواجهة	28	3.5
10	موزع على كامل المساحة	25	4.5
11	موزع على كامل المساحة	20	5
12	موزع على كامل المساحة	18	5

جدول 22 تقييم أداء الواجهة الحرارية وفق استجابتها للرياح الضارة (إعداد الباحث)

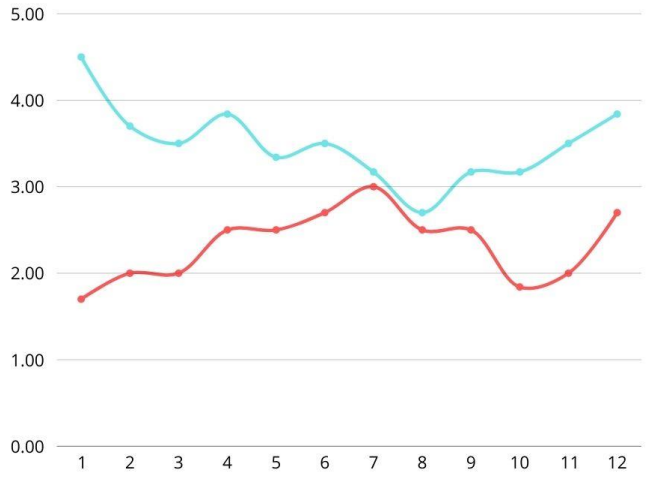
الشهر	سرعة الرياح	التخلص من الرياح الضارة	التقييم
1	7	إغلاق 50%	4
2	1.5	إغلاق 17%	3.5
3	4	مفتوح بالكامل	2
4	3	مفتوح بالكامل	3
5	4.7	مفتوح بالكامل	3
6	4.3	مفتوح بالكامل	3
7	6	إغلاق 17%	3
8	4.1	إغلاق 50%	2
9	1.5	إغلاق 66%	3
10	3.6	مفتوح بالكامل	2
11	3	مفتوح بالكامل	2
12	1.5	مفتوح بالكامل	3

لتسهيل المقارنة بين قبل تطبيق الحل وبعده جمع الباحث القيم النهائية في الجدول رقم 23 أدناه:

جدول 23 جدول مقارنة الأداء بين الواجهة التقليدية والواجهة الحركية (إعداد الباحث)

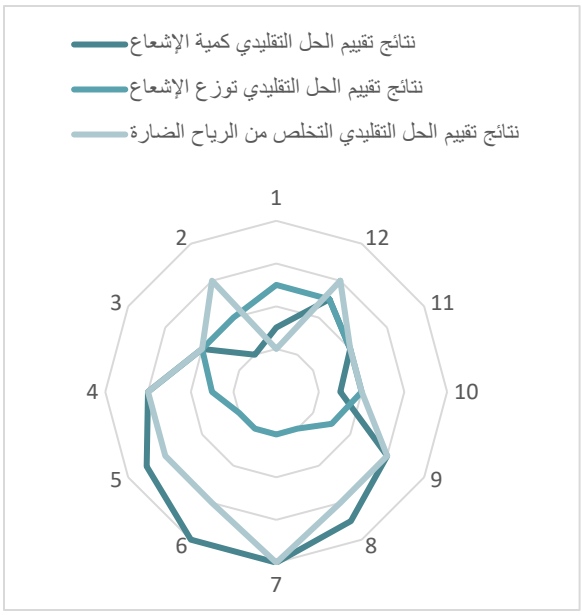
الشهر	نتائج تقييم الحل التقليدي				نتائج تقييم الحل الخوارزمي			
	كمية الإشعاع	توزع الإشعاع	التخلص من الرياح الضارة	متوسط الأداء	كمية الإشعاع	توزع الإشعاع	التخلص من الرياح الضارة	متوسط الأداء
1	1.5	2.5	1	**1.7**	4.5	5	4	**4.5**
2	1	2	3	**2**	2.5	5	3.5	**3.7**
3	2	2	2	**2**	3.5	5	2	**3.5**
4	3	1.5	3	**2.5**	4	4.5	3	**3.84**
5	3.5	1	3	**2.5**	3	4	3	**3.34**
6	4	1	3	**2.7**	3.5	4	3	**3.5**
7	4	1	4	**3**	4	2.5	3	**3.17**
8	3.5	1	3	**2.5**	3.5	2.5	2	**2.7**
9	3	1.5	3	**2.5**	3	3.5	3	**3.17**
10	1.5	2	2	**1.84**	3	4.5	2	**3.17**
11	2	2	2	**2**	3.5	5	2	**3.5**
12	2.5	2.5	3	**2.7**	3.5	5	3	**3.84**

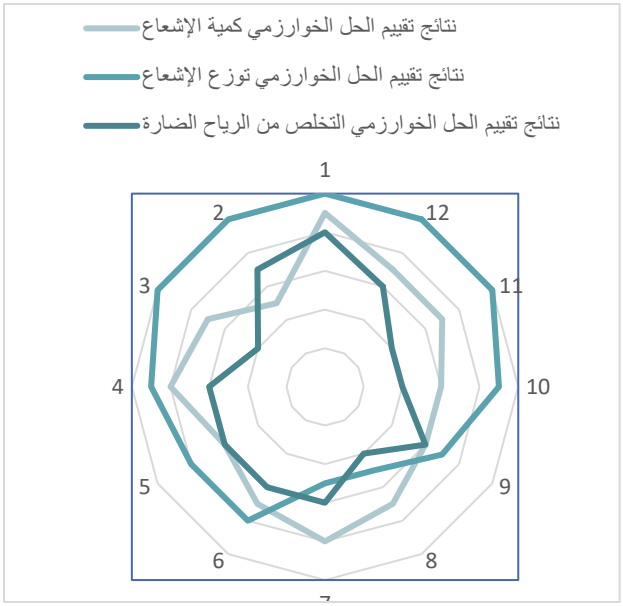
ويوضح الشكل رقم 9 التمثيل البياني لقيم متوسط أداء الواجهة قبل الحل مبينة باللون البرتقالي مقارنة بالقيم بعد الحل مبينة باللون الأزرق السماوي:



رسم توضيحي 9 المخطط البياني لمتوسط الأداء قبل وبعد تطبيق الحل (إعداد الباحث)

توضح الأشكال 10 و11 أداء كل حل على حدى في مختلف الجوانب في مخطط راداري:





رسم توضيحي10 مخطط رادار لأداء الحل التقليدي في كل جانب (المؤلف) *رسم توضيحي11 مخطط رادار لأداء الواجهة الخوارزمية في كل جانب (المؤلف)*

أما الشكل 12 فيوضح متوسط أداء كل من الواجهتين على نفس المخطط الراداري:

رسم توضيحي 12 متوسط أداء كل من الواجهتين على مخطط راداري واحد (إعداد الباحث)

لجأ الباحث إلى استخدام العديد من الأدوات التوضيحية لسرد وعرض البيانات والنتائج نظراً لغزارتها، إذ استخدم النسب المئوية لبيان نسبة الفارق عند تطبيق الحل، والجداول لبيان الفارق المطلق في قيم

القراءات، كما استخدم المخططات البيانية لتسهيل المقارنة وتمثيلها بصرياً وذلك كي لا يدع مجالاً للشك في مصداقية النتائج أو أن تحمل قيم مضللة، فكما رأينا في بداية الفقرة فإن الزيادة في قيمة الإشعاع الشمسي كانت 19% في أشهر الصيف، وهي نسبة قد تبدو كبيرة جداً في حال لم يتم توضيح أنها لم تتجاوز 8 واطام^2 في أقصى حالاتها وهي قيمة ليست كبيرة إطلاقاً.

ومن خلال مقاطعة البيانات الواردة سابقاً في مختلف الأدوات نلاحظ أن أفضل أداء للحل التقليدي كان في شهر تموز حيث حصل على 3 نقاط أما أسوأ أداء له كان في شهر كانون الثاني بمعدل 1.7 من أصل 5 نقاط.

أما الحل المقترح بالواجهة المصممة خوارزمياً فقد أعطى أفضل نتائجه في شهر كانون الثاني حيث حصل على 4.5 نقاط فيما كان أسوأ أداء له في شهر آب بمعدل 2.7 من أصل 5 نقاط.

5- الفصل الخامس: النتائج

5-1 نتائج عامة للبحث:

من خلال البحث وبعد دراسة وتحليل المعلومات والبيانات توصل الباحث إلى النتائج التالية:

1- **الاستدامة مفهوم واسع** يتجاوز حدود مهنة أو مجال وإنما يرقى ليكون **نمط حياة** بكل ما تحمله الكلمة من معنى، **ويجب تطبيقه على كل المستويات** بدءاً بالأفراد فالمؤسسات فالدولة وانتهاءً بالإنسانية كلها وذلك لما فيه من منافع.

2- **التحرك** والانتقال بالواقع الحالي **نحو مستقبل مستدام** بدأ بخطوات صغيرة (مشوار الألف خطوة يبدأ بخطوة) إذ كانت **البداية بالأبنية المستدامة ثم أحياء ثم مدن** وانتهاء بحلم المجتمعات الإنسانية المستدامة، **ولكل مساهمة مهما كانت صغيرة أثر هام.**

3- **تحقيق اشتراطات الاستدامة قد ينتج عنه زيادة في الكلفة أو الاستهلاك على المدى القصير** أو خلال المراحل الأولى من دورة حياة المباني، إلا أن **كمية الوفر التي تنتج عن تحقيق هذه الاشتراطات تتجاوز بمراحل أي زيادة في الاستهلاك** قد تحصل على المدى القصير.

4- **أنظمة تصنيف وتقييم الأبنية المستدامة لها نفس الجوهر وتحمل نفس الهدف** على الرغم من اختلاف أسماءها، **وهي وسيلة لضبط وتوحيد تعاريف الأبنية المستدامة** ضمن نظم تصنيف عالمية تتجاوز الحدود في سبيل المصلحة العليا للبشرية.

5- **ظهور تقنيات BIM أحدث نقلة نوعية** على أكبر المستويات في قطاع الهندسة والتشييد، ولاتزال مجتمعات الفنيين والمختصين في هذا المجال في صدد استيعاب و**تعلم كيفية تحقيق الاستفادة القصوى من هذه التقنيات**، إذ لا تزال تقنيات BIM تحمل الكثير من الإمكانيات بانتظار تكريسها على أفضل وجه.

6- **العلاقة ما بين الاستدامة في المباني وتقنيات BIM علاقة تطور متبادل**، إذ يسهم كل منهما في تطوير الآخر والتطور معه، بمعنى أن **ظهور BIM ساهم بتحسين ورفع مستوى الاستدامة في المباني** وسهل تحقيقها، وبنفس الوقت فإن **الحاجة للاستدامة تتطلب تطوير تقنيات BIM وزيادة الاعتماد** عليها باعتبارها أداة بارزة في دراسة هذه الحاجة.

7- **المرافق الصحية والمستشفيات لها خصوصية** وحساسية كبيرة، فهي تتعامل مع الإنسان وهو في أضعف حالاته -المرض- وبنفس الوقت **يجب أن تكون مهيئة للتعامل مع أشخاص**

مرضى وأصحاء وزوار وكادر عمل وغيره، وجميع تلك الجوانب يجب مراعاتها للوصول إلى مستشفيات مستدامة بالمعنى الحقيقي والشامل للكلمة.

8- **علم الخوارزميات هو واحد من أقدم العلوم**، وآفاقه وتطبيقاته لا حدود لها في مختلف المجالات الرياضية والطبية والعمرانية والعلمية، **فهو أشبه بمحسّن أداء يسهم في تطوير أي مجال يدخل فيه.**

9- **التصميم الخوارزمي في قطاع البناء والتشييد لا يقتصر على أداة واحدة أو برنامج واحد،** فهناك العديد من الأدوات ومعظمها مفتوح المصدر مما يفتح المجال للتطور والنمو السريع والمستمر.

10- **التصميم الخوارزمي هو نهج عام** وليس مجرد أداة، ومثل أي منهج علمي **له أدوات وإيجابيات وسلبيات،** ولا يصح اعتباره حلاً واحداً يصلح لكل المشاكل.

11- تبين من خلال دراسة تجارب عالمية ناجحة في قطاع التشييد، أنه وللحصول على مبنى متميز يرقى لدرجة أن يكون معلماً Land Mark لابد من استخدام تقنيات BIM، والعكس صحيح؛ أي أن استخدام تقنيات BIM بشكل صحيح وكفاءة عالية ينتج عنه في أغلب الأحيان مبنى مميزاً يصلح أن يصنف كمعلم.

12- ومن خلال دراسة مستشفيات ناجحة على مستوى العالم والإقليم والعالم العربي، تبين أن تحقيق اشتراطات الاستدامة له إيجابيات كثيرة يحصدها أصحاب المستشفى والمراجعون والسكان المحليون على حد سواء، من توفير في كلف التشغيل وتحسين البيئة الداخلية وتخفيف التلوث على الصعيد المحلي.

13- إن إدخال النهج الخوارزمي في التصميم وأدواته في إطار عمل BIM ينتج عنه تحسن نوعي كبير وفتح آفاق وإمكانيات كبرى لاسيما في تصمي الأبنية النوعية.

14- دراسة جناح الإقامة في المستشفيات بغرض تحسين كفاءته هو خيار منطقي إذ ينتج عنه الكثير من التحسينات المهمة والتي تصنع فارقاً كبيراً وذلك مقابل مجهود معقول وغير مبالغ فيه.

15- إضافة واجهة حركية للمباني يعتبر حلاً مجدي اقتصادياً، ينتج عنه الكثير من التحسن في الأداء الطاقي مقابل القليل من الكلفة الإضافية، كما ينتج عنه شكل جمالي مميز للمبنى.

16- **أظهرت دراسة مبنى التوسع لمستشفى الوطني لأمراض القلب وجود ثغرات تصميمية تزيد من استهلاك الطاقة** في عدة مجالات، أبرزها الإنارة والتكييف.

17- **من خلال الحل البديل المقترح** والمصمم بأدوات التصميم الخوارزمي وتطبيقه على مبنى التوسع لمستشفى أمراض القلب، **كان هناك تحسن ملحوظ في عدة جوانب من أداء المبنى في مجال الطاقة.**

18- **تفوقت الواجهة الحركية من حيث النتيجة الإجمالية للأداء في الحالة المدروسة على نظيرتها التقليدية بفارق ملحوظ.**

19- على مدار العام يلاحظ أن تفوق الواجهة الحركية كان واضحاً جداً في أشهر الشتاء إذ قدمت الواجهة الحركية حلاً لكل من الإنارة الطبيعية والتدفئة بفارق أعظمي 2.8 نقطة وفق طريقة القياس المتبعة فيما كان التفوق ضئيلاً للغاية في أشهر الصيف بفارق كان أدناه 0.17 نقطة، أما الأشهر الانتقالية فكان تحسن الأداء فيها ملحوظاً لما قدمته الواجهة الحركية من قيمة في تحسين الإنارة الطبيعية دون المساومة على الراحة الحرارية داخل المبنى.

20- على صعيد المجال المدروس فقد كان أفضل أداء للواجهة الحركية في مجال توزع الإشعاع الشمسي بفارق كبير وملحوظ، وأسوأ أداء لها كان في مجال الرياح ففيما قدمت الواجهة الحركية تحسناً كبيراً في بعض الأشهر مثل كانون الثاني فهي أيضاً قدمت تراجعاً لا يستهان به في شهري تموز وآب نتيجة عرقلتها للرياح أثناء حجبها للإشعاع الشمسي الضار، أما بالنسبة لِلأشهر المعتدلة فكان هناك تحسن لا بأس به في الأداء.

21- **ساهمت أدوات التصميم الخوارزمي بتسريع وتحسين دورة عملية التجربة وتحسين الأداء** من خلال التغذية الراجعة Feedback **وإمكانية إنجاز كمية كبيرة من التعديلات في وقت قياسي.**

22- إن طبيعة **ومنهجية التصميم والتحليل الخوارزمي تجعل منه حلاً ممتازاً للأبنية النوعية** أو المسائل التي تحمل بطبيعتها صفة التكرار، ولكنه أقل إنتاجية بكثير في حالة المشاريع الصغيرة والمتمايزة، وبالتالي **تكون الأفضلية في المشاريع الصغيرة للأدوات التصميم والتحليل التقليدية.**

5-2 توصيات:

من خلال البحث وبناء على النتائج التي توصل إليها الباحث فإنه يوصي بما يلي:

1- للجهة الناظمة لقطاع البناء والتشييد وقطاع العمل الهندسي بضرورة تكريس الالتزام بمبادئ الاستدامة واللحاق بموكب الحفاظ على موارد الأرض عموماً وموارد بلدنا تحديداً.

2- **تطبيق الاستدامة في قطاع البناء والتشييد** يجب أن يعامل **كشرط وليس كميزة إضافية** وهي **واجب إنساني عالي الأهمية** وله انعكاسات إيجابية ملحوظة على مختلف مستويات المجتمع.

3- **التجمعات العمرانية يجب أن تبنى وتدرس على جوهر أساسي هو الاستدامة**، إذ تحقق الاستدامة جميع الأهداف التنموية والإنسانية لهذه التجمعات.

4- للمهندسين حديثي التخرج أو ما قبل التخرج بضرورة تعلم وتبني أطر عمل BIM وخاصة ضمن فريق.

5- للمهندسين حديثي التخرج أو ما قبل التخرج بضرورة الاطلاع أو تعلم نهج الحل الخوارزمي لما فيه من إمكانيات وقدرات يمكن تطبيقها في مختلف المجالات.

6- **للمؤسسة الدراسات الهندسية في اللاذقية** المسؤولة عن دراسة وتنفيذ مبنى التوسع بضرورة **أخذ الثغرات التي ظهرت من خلال دراسة وتحليل المبنى بعين الاعتبار ومعالجتها** إما من خلال الواجهة الحركية أو بالطريقة التي تحقق التحسن المطلوب وتعالج الخلل الموجود.

7- للمهندسين العاملين على تصميم المستشفيات بضرورة إجراء دراسات استدامة وبيئية موسعة حول الأبنية التي يصممونها لما لهذا النوع من الأبنية من أثر كبير على البيئة المحلية، بالإضافة لتخفيف أعباء تكاليف الطاقة وتأمين الوقود والتخلص من نفايات المستشفيات.

8- للجهات الرسمية الحكومية منها والخاصة المسؤولة عن إدارة وتسيير أمور المستشفيات القائمة بضرورة إجراء تقييم لواقع أداء المبنى على صعيدي الاستدامة وكفاءة الطاقة، لكشف الثغرات وسدها إن وجدت.

9- للجهات الرسمية الحكومية منها والخاصة المسؤولة عن تصميم أبنية المعالم Land Mark بأخذ نهج وطرق التصميم الخوارزمي بعين الاعتبار منذ المراحل الأولى لمشاريعهم وذلك لما تضيفه من قيمة جمالية متفردة لهذا النوع من المشاريع.

10- للشركات والمكاتب الهندسية بضرورة تضمين عضو فريق على معرفة واطلاع على منهجية الحل الخوارزمي وأدواته.

11- لمهندسي الكهرباء بضرورة تعلم أدوات التحليل الخوارزمي لما تقدمه من إمكانية دراسة حركة الشمس ودرجة الإشعاع وفائدتها في دراسة منظومات الطاقة الشمسية

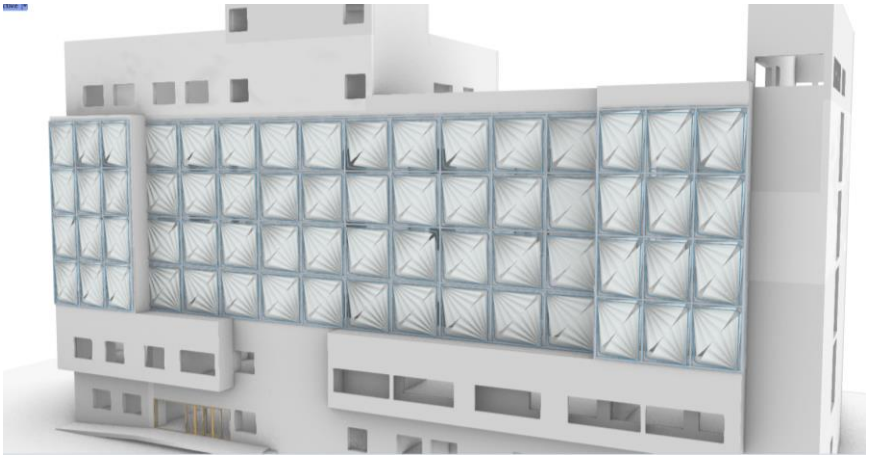
12- لمهندسي الميكانيك بضرورة تعلم أدوات التحليل الخوارزمي لما تقدمه من إمكانية دراسة منظومات التدفئة وتسخين المياه ومعاينة كفاءتها وسد ثغراتها.

13- لمهندسي البيئة بضرورة تعلم أدوات التحليل الخوارزمي لما تقدمه من إمكانية إجراء دراسات بيئية من حركة رياح وشمس ودرجة إشعاع وغيرها.

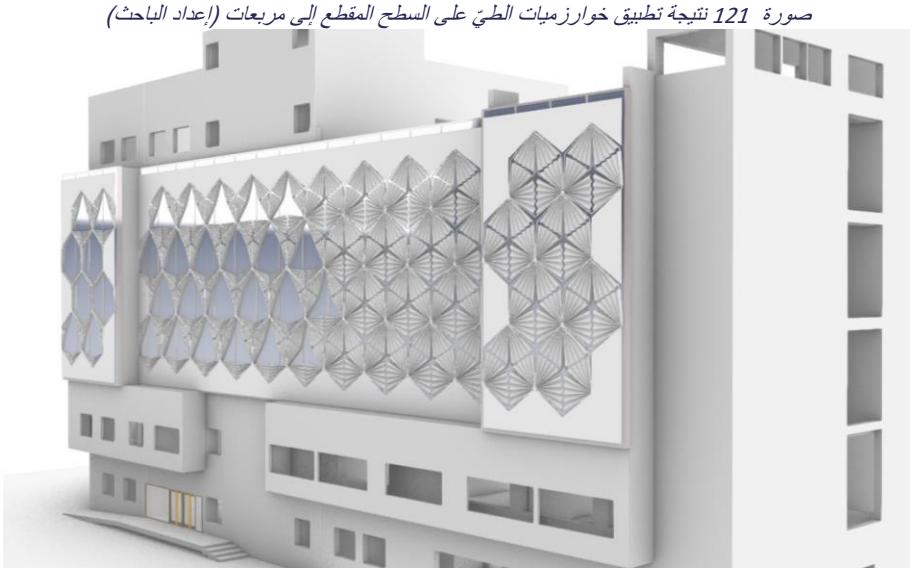
14- **فيما بذل الباحث قصارى جهده ليكون بحثه علمياً دقيقاً** يعتد به ويراعي مختلف الجوانب في قطاع البناء والتشييد، إلا أنه اضطر إلى **تجاوز بعض النقاط التي كان من الممكن دراستها أو إضافتها إلى المقارنة وذلك للحد من الإسهاب** ويبقى من الممكن تناولها في بحث قادم، ومن أهم هذه النقاط:

- **الجانب الجمالي:** إذ يمكن إضافة الجانب الجمالي إلى مسطرة تقييم النتائج والتحليل، وهي في الحقيقية تلعب دوراً هاماً لدى المعماريين وأصحاب المصلحة Share holders على أرض الواقع وأهميتها بالنسبة لهم تضاهي أهمية أي نقطة من التي تم دراستها.
- **جانب دراسة الأداء ليلاً:** إذ لا يزال من الممكن دراسة أداء الحلول في ساعات المساء والليل وفق منهج يراعي ضرورة الحفاظ على عزل البيئة الداخلية للفراغات في أشهر الشتاء والصيف بالإضافة لمراعاة الانفتاح على البيئة الخارجية ما أمكن في الأشهر الانتقالية المعتدلة.
- **جانب توثيق كافة احتمالات خوارزمية تقطيع الواجهة:** كان الباحث قد أكد خلال استعراضه لمشكلة البحث على قدرات التصميم الخوارزمي في نمذجة وتحليل مصفوفة كاملة من الاحتمالات بوقت وجهد أقل بكثير من الطرق التقليدية، وفيما حصل الباحث على نتائج دراسة كل احتمالات الخوارزمية إلا أنه كان من غير المجدي توثيق كل تلك النتائج في هذا البحث إذ أن توثيقها لن ينتج عنه قيمة علمية كبيرة وذات أهمية، يرفق الباحث الصور رقم 121و 122و 123وتظهر فيهما نتائج تطبيق خوارزمية التحريك بالطيّ على أشكال أخرى لتقطيع الواجهة وهما السداسي والمربع، وينوه الباحث إلى أن تطبيق الخوارزمية على التقطيعات الأخرى

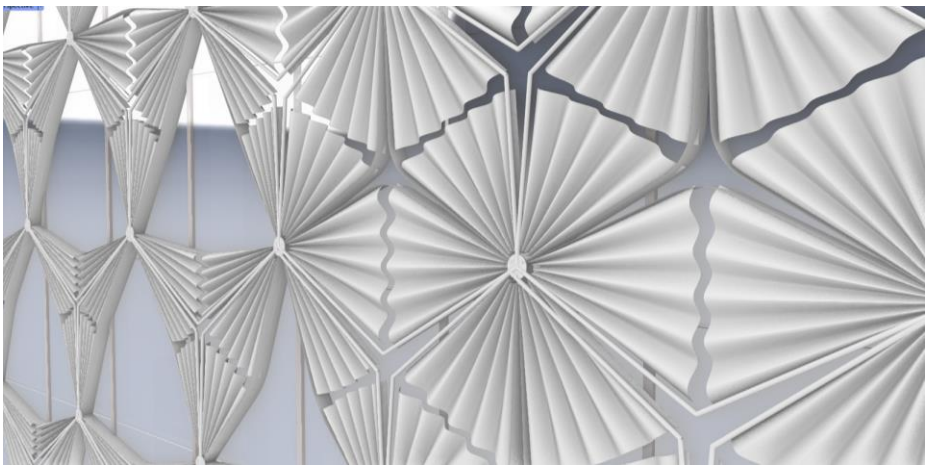
استغرقت أقل من دقيقة فكل ما توجب على الباحث فعله هو تحويل مسار تدفق البيانات من مكون إلى آخر فقط.



صورة 121 نتيجة تطبيق خوارزميات الطيّ على السطح المقطع إلى مربعات (إعداد الباحث)

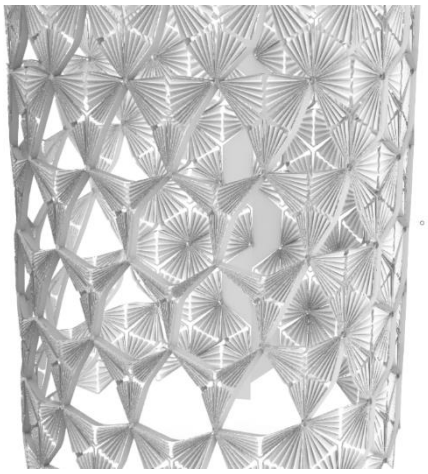


صورة122 نتيجة تطبيق خوارزميات الطيّ على السطح المقطع إلى أشكال سداسية (إعداد الباحث)



صورة 123 صورة قريبة للحل مطبقاً على السطح المقطع إلى أشكال سداسية (إعداد الباحث)

تشير الصور السابقة إلى الفكرة التي نوه إليها الكاتب في الفصل النظري والتي تنص على أن التصميم الخوارزمي ليس عملية نمذجة عادية لمنشأة واحدة، بل هي في الحقيقية عملية تصميم لبرنامج مبسط يمكنه تنفيذ رغبة المصمم وتعديلها بسهولة وتطبيقها في مختلف المجالات وتوضح الصور رقم 124 و125 إمكانية تطبيق الخوارزمية السابقة على أسطح منحنية مثل الأسطوانة (تحاكي برج أسطواني).



صورة 124 نتائج تطبيق خوارزمية التقطيع السداسي على برج أسطواني الشكل (إعداد الباحث)

صورة 125 صورة علوية لنتائج تطبيق خوارزمية التقطيع السداسي على برج أسطواني الشكل (إعداد الباحث)

5-3 المصادر والمراجع:

5-3-1 المراجع العربية

Sheida Shakeri. - 11, 2025. - https://parametric-architecture.com/top-8-kinetic-buildings-morphing-the-exterior-skins/#google_vignette[متصل] / المؤلف

https://algorithmicdesign.github.io/tools.html المؤلف / [متصل] GitHub. - 2024.

https://ar.fuh.care/media-center/about-fakeeh-university-hospital مجموعة المؤلف / [متصل] **#** // فقيهfuh.care. - 2024.

https://ar.wikipedia.org/wiki المؤلف / [متصل] **برج_خليفة/**Wikipedia. - 2024.

https://ar.wikipedia.org/wiki المؤلف / [متصل] **زها_حديد/**Wikipedia. - 2021.

https://ar.wikipedia.org/wiki المؤلف / [متصل] **فوستر_آند_بارتنرز/**Wikipedia. - 2023.

https://eha.gov.eg/news/ecdc-visited-the-sharm-el-sheikh-hospital العامة الهيئة المؤلف / [متصل] **/** للرعاية الصحية في مصر. - 2024.

https://www.ahdubai.com/ar/news/american-hospital-dubai-launches-vision-to-lead-as-the-region-s-premier-adopter-of-green-healthcare // دبي في الأمريكي المستشفى المؤلف / [متصل] **-** ahdubai.com. - 2024.

https://www.burjkhalifa.ae/ar/the-tower/design-construction.2010 **-** إعمار. المؤلف / [متصل] **/**

https://www.louvreabudhabi.ae/ar/about-us/architecture المؤلف / [متصل] Louvre AbuDhabi. - 2013.

https://www.pinterest.com/nadlabofficial.2019 **-** نادي. أحمد المؤلف / [متصل] **/**

https://www.un.org/ar/122274 // المتحدة الأمم المؤلف / [متصل] UN. - 2017.

Villa Savoye.2015 **-** السوريون. الباحثون // غريب مجد و السماق لبنى المؤلف / [مقالة]

استخدام نمذجة معلومات البناء في تحقيق استدامة المباني السكنية دراسة حالة الإنارة [كتاب] / المؤلف مايا إبراهيم و جمال عمران. - 2023.

استخدام نمذجة معمومات البناء في تحقيق استدامة المباني السكنية دراسة حالة الإنارة [مقالة] / المؤلف جمال عمران و مايا إبراهيم // مجلة جامعة تشرين . - اللاذقية : [اسم غير معروف]، 2023.

الاستدامة وخصوصيتها في أبنية المستشفيات [مقطع من كتاب] / المؤلف محمد كيخيا [وآخرون]. - 2006.

التصميم الخوارزمى وتأثيره على عناصر التصميم الداخلي [مقالة] / المؤلف ضياء محمد أمين و دينا محمد عبدالمحسن // املجلة العربيةالدوليةللفن والتصميم الرقمي. - 2022.

والتصميم المستدام لرفع كفاءة الأبنية في استهلاك الطاقة [كتاب] / المؤلف نهاد **BIMالتكامل بين نمذجة معلومات البناء** عربش و غادة بلال. - 2023.

فبراير, 2021. - صفحة 1.16 - researchgate.net. **التنمية الحضرية المستدامة** [مقالة] / المؤلف ثناء محمد صالح //

المجتمعات العمرانية الجديدة المستدامة بين النظرية والتطبيق: دراسة تحليلية [مقالة] / المؤلف أية عبد الظاهر، إسماعيل عامر و أسامة حداد // مجلة العلوم الهندسة بجامعة أسيوط. - 2022.

المقارنة بين أحكام التوليد الخوارزمي الرقمي للتصاميم المعمارية [مقالة] / المؤلف ضحى عبد الغني القزاز و أسيل إبراهيم الحبيب // Al-Rafidain Engineering Journal. - 2020.

تصميم وتحليل الخوارزميات [كتاب] / المؤلف السيد بدر. - 2016.

تغيير عالمنا: خطة التنمية المستدامة لعام 2030 [مؤتمر] / المؤلف الجمعية العامة للأمم المتحدة // قرار الجمعية العامة للأمم المتحدة 70/1. - نيويورك : الموقع الإلكتروني للأمم المتحدة، 2015.

تقرير مؤتمر اسطنبول [مؤتمر] / المؤلف الأمم المتحدة // الموئل الثاني. - اسطنبول : الأمم المتحدة، 1996. - صفحة 239.

دراسة تحليلية لتكوينات القرنصات في العمارة الإسلامية وفق المحاكاة الرقمية [مقالة] / المؤلف علا محمد أحمد // مجلة التراث والتصميم. - 2022. - 7.

دور الخوارزميات في صياغة التشكيل المعماري [مقالة] / المؤلف يونس محمود سليم و غادة غالب عبد الوهاب // مجلة كلية الإسراء الجامعة للعلوم الهندسية. - 2023.

رفع كفاءة استهلاك الطاقة في تصميم المباني المستدامة بالاعتماد على تقنية BIM [كتاب] / المؤلف سارة ربيع و غادة بلال. - 2023.

5-3-2 المراجع الأجنبية

[Online] / auth. wikipedia. - 2021. - https://en.wikipedia.org/wiki/Graphisoft.

[Online] / auth. Eptar. - 2020. - https://www.eptar.hu/reinforcement_2_0.

[Online] / auth. wikipedia. - 2018. - https://en.wikipedia.org/wiki/Rhinoceros_3D.

[Online] / auth. food4rhino. - 2024. - https://www.food4rhino.com/en/browse?f[0]=im_field_unified_type%3A773.

[Online] / auth. BIMcorner. - 2022. - https://bimcorner.com/bim-in-grasshopper-the-ultimate-software-list/.

[Online] / auth. Wikipedia. - 2022. - https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A3%D8%A8%D8%B1%D8%A7%D8%AC_%D8%A7%D9%84%D8%A8%D8%AD%D8%B1.

[Online] / auth. Lovelysmile. - 2015. - https://www.lovely0smile.com/Msg-12600.html.

Environmentally sustainable health systems: a strategic document [Conference] / auth. WHO // WHO/EURO: 2017-2241-41996-57723. - 2017.

A-BIM: Algorithmic-based Building Information Modelling [Book] / auth. Feist Sofia and Leitão António. - 2016.

ASHRAE 170 standards [Book] / auth. ASHRAE. - 2020.

Autodesk Revit [Online] / auth. wikipedia. - 2019. - https://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Revit#:~:text=Revit%20version%201.0%20was%20released,%3B%20and%20January%202002%2C%20respectively..

Automated Antenna Design with Evolutionary Algorithms [Report] / auth. NASA. - 2006.

BIM Client Maturity: Literature Review [Conference] / auth. Dakhil Ammar, Al Shawi Mustafa and Underwood Jason. - Manchester : [s.n.], 2015.

BIM Maturity Level of Architectural firm BIM [Article] / auth. Abiola Sogo, Ayodeji Oladipo and Adedeji amuel // International Journal of Scientific & Engineering Research. - 2022.

BIM Software: Which is the Most Popular? [Online] / auth. Unifi. - 2019. - https://unifilabs.com/BIM-software.

BIM-ORIENTED ALGORITHMIC RECONSTRUCTION OF BUILDING COMPONENTS [Article] / auth. d'agostino Pierpaolo and Giannattasio Carlo // researchgate. - naples : [s.n.], 2019.

BREEAM International New construction V6 [Book] / auth. BREEAM. - 2014. - Vols. 170-2017.

Building information modeling [Online] / auth. wikipedia. - 2018. - https://en.wikipedia.org/wiki/Building_information_modeling#:~:text=The%20term%20'Building%20Information%20Model,until%20some%2010%20years%20later..

BUILDING SUSTAINABILITY ASSESSMENT AND BENCHMARKING - AN INTRODUCTION [Book Section] / auth. UNHabitat // BUILDING SUSTAINABILITY ASSESSMENT AND BENCHMARKING . - 2017.

Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design [Article] / auth. Caetano Ines, Santos Luıs and Leitao Antonio // ScienceDirect. - 2019.

Dimensionality in BIM: Why BIM cannot have more than four dimensions [Article] / auth. Koutamanis Alexander // Automation in Construction. - 2020.

Enhancement of the Energy Performance of an Existing Building Using a Parametric Approach [Article] / auth. Waqas Hassan [et al.] // researchgate. - Wuhan : [s.n.], 2022.

Eptar reinforcement and rebar tools [Online] / auth. Graphisoft. - 2022. - https://community.graphisoft.com/t5/Modeling/Eptar-reinforcement-and-rebar-tools/td-p/339753.

Ernst Nuefert Architects' Data [Book] / auth. Kister Johannes. - 2012.

Evaluation of LEED-certified Hospitals in Turkey within the Scope of Sustainable [Conference] / auth. Doğan Fatma Nur , Gültekin Arzuhan and Sarı Alperen // IX-INTERNATIONAL EUROPEAN CONFERENCE ON INTERDISCIPLINARY SCIENTIFIC RESEARCH. - Valencia : [s.n.], 2024.

Exploring Integrated Design Strategies for the Optimal Use of BIM [Article] / auth. Park Hyoung-June and Lee Ji-Hyun // Researchgate. - 2010.

Exploring the Impact of Genetic Algorithm: An Interview with Luke Fox from Foster + Partners on Alibaba's Shanghai Office Building [Article] / auth. Han Shuang // Archdaily. - shanghai : [s.n.], 2024.

global sustainability assessment system criteria [Book] / auth. GSAS. - 2019.

Graphisoft.com [Online] / auth. Graphisoft. - 2018.

HOW ENGINEERS USE EVOLUTION TO INVENT THINGS [Article] / auth. Walton Sean [et al.] // kids.frontiersin.org. - 2022.

https://betterbuildingssolutioncenter.energy.gov/showcase-projects/ascension-dell-childrens-medical-center-central-texas [Online] / auth. betterbuildings. - 2013.

https://en.wikipedia.org/wiki/Frank_Bunker_Gilbreth [Online] / auth. wikipedia // wikipedia.org. - 2021.

https://erketasarim.com/en/our-projects/healthcare/memorial-hospital [Online] / auth. Erketasarim. - 2019.

https://gba.org/resources/frameworks-and-certifications/leed-rating-system/ [Online] / auth. gba.org. - 2022.

https://lightart.com/blog/post/leed [Online] / auth. lightart.com. - 2021.

https://medclinics.com/hospitals/memorial-bahcelievler-hospital/ [Online] / auth. medclinics. - 2018.

https://nativesolar.com/dell-childrens-medical-center/ [Online] / auth. nativesolar. - 2024.

https://primer2.dynamobim.org/1_introduction/1-what-is-dynamo [Online] / auth. D Dynamo. - 2023.

https://understandingchp.com/overview-2/system-schematics/ [Online] / auth. ESC. - 2013.

https://unitedfilter.com/blogs/news/understanding-air-filter-ratings-merv-mpr-and-fpr [Online] / auth. Unitedfilter // unitedfilter.com. - 2024.

https://www.aexcelcorp.com/blog/eco-friendly-traffic-paint/5-leed-certified-healthcare-facilities [Online] / auth. aexcelcorp. - 5 2017.

https://www.archdaily.com [Online] / auth. archdaily. - 2021.

https://www.archdaily.com/920839/10-projects-in-which-bim-was-essential [Online] / auth. Archdaily // archdaily.com. - 2019.

https://www.memorialconsulting.com/images/projefotogaleri/arc-11_fb8ff_779e1.jpg [Online] / auth. Memorial Consulting. - 2021.

https://www.novatr.com/blog/algorithmic-design-in-architecture#4 [Article] / auth. Hnin Thet // Novatr. - 2022.

https://www.novatr.com/blog/construction-of-abu-dhabi-louvre [Online] / auth. Novatr. - 2024.

https://www.novatr.com/blog/example-of-bim-projects-globally [Online] / auth. novatr. - 2023.

https://www.novatr.com/blog/scope-of-bim-in-civil-engineering#:~:text=The%20tallest%20skyscraper%20in%20the,model%20of%20the%20Burj%20Khalifa. [Online] / auth. Novatr. - 2023.

https://www.renie.io/media-hub/healthcare-zulekha-hospital-for-a-greener-uae [Online] / auth. Renie. - 2024.

https://www.rhino3d.com/searchresults/?q=grasshopper&sa=+#gsc.tab=0&gsc.q=grasshopper&gsc.page=1 [Online] / auth. McNeel & Associates. - 2024.

https://www.usgbc.org/projects/zulekha-hospital [Online] / auth. USGBC. - 2021.

IgCC-2018 [Book] / auth. ICC. - 2018.

insol [Online] / auth. Simmons Lilly. - 2022. - https://www.insol.co.nz/blog/the-history-of-facades#:~:text=It%20wasn't%20until%201681,given%20a%20special%20architectural%20treatment..

Integrating BIM Processes with LEED Certification [Article] / auth. Gaetano Federico , Cascone Stefano and Caponetto Rosa // MDPI. - 2023 أكتوبر. - p. 19.

Integrating BIM Processes with LEED Certification: A Comprehensive Framework for Sustainable Building Design [Article] / auth. Di Gaetano Federico, Cascone Stefano and Caponetto Rosa // researchgate. - 2023.

Kiefer Technic Showroom / Ernst Giselbrecht + Partner [Online] / auth. Vinnitskaya Irina // novatr. - 2010. - https://www.archdaily.com/89270/kiefer-technic-showroom-ernst-giselbrecht-partner.

leadership in Energy and Environmental Design v4 [Book] / auth. leed . - 2018.

Novatr [Online] / auth. Verma Saumya . - 2023. - https://www.novatr.com/blog/kinetic-architecture-guide.

Principles for the Sustainable Design of Hospital Buildings [Article] / auth. Alsawaf Ebtisam and Albadry Amjad // IITEA. - 2022.

Sustainability and building information modelling: Integration, research [Article] / auth. Akbari Saeed [et al.] // sciencedirect. - 2024.

Sustainability and building information modelling: Integration, research gaps, and future directions [Article] / auth. Akbari Saeed [et al.] // sciencedirect. - 2024.

Sustainability and Energy Efficiency: BIM 6D. Study [Article] / auth. Javier Montiel-Santiago Francisco , Jesús Hermoso-Orzáez and Terrados Julio // MDPI. - 2020.

sustainability-in-planning [Book] / auth. CASBEE. - 2014.

Sustainable Healing and Therapeutic Design Driven Well-Being in Hospital Environment [Article] / auth. Feng Haoran [et al.] // researchgate. - 2024.

The Application of BIM in Developing a Sustainable Building Design [Conference] / auth. Andrić Jelena. - liverpool : [s.n.], 2024.

THE BIM MATURITY LEVEL IN THE EGYPTIAN AEC INDUSTRY [Article] / auth. Abdelalim Ahmed Mohammed and Haras Khaled Saad // Journal of Civil Engineering, Science and Technology. - 2023.

The World Summit on Sustainable Development [Conference] / auth. WHO. - 2002.

Total BIM: Toward transforming construction [Book] / auth. Disney Oliver. - 2024.

Ventilation of Health Care Facilities [Book] / auth. ANSI. - 2020.