

Ministry of Higher Education  
and Scientific Research  
Syrian Virtual University  
Program Master of BIMM



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
الجامعة الافتراضية السورية  
برنامج نمذجة معلومات البناء  
وإدارتها BIMM

**دور نمذجة معلومات البناء في تصميم أنظمة إدارة طاقة المباني BEMS  
/دراسة حالة: نظام التدفئة والتهوية وتكييف الهواء لمبنى خدمي/**

**“The Role of BIM in the Design of Building Energy Management Systems  
(BEMS)**

**Case Study: HVAC System for a Service Building”**

**بحث مقدم لنيل درجة ماجستير التأهيل والتخصص في إدارة ونمذجة معلومات البناء  
BIMM**

**إعداد الطالب**

**اسم الطالبة: يمام شهم ورده**

**رقم الطالبة: 278820**

**إشراف الدكتور المهندس**

**المشرف المشارك:**

**د.م بلال زعرور**

**المشرف الرئيسي:**

**د.م ضحى جديد**

**2024-2025**

## كلمة شكر

أولاً، أتوجه بحمد الله تعالى وشكره، الذي وفقني ويسّر لي السبل للوصول إلى هذه المرحلة، رغم ما واجهته من صعوبات وتحديات. ففي كل مرة كنت أشعر بالتعب أو يتسرب اليأس إلى نفسي، كان يمدني بالعون، ويهيئ لي من الأشخاص والظروف ما يعينني على مواصلة الطريق.

أتقدم بخالص الشكر والتقدير للدكتورة **سونيا أحمد**، مديرة برنامج إدارة ونمذجة معلومات البناء، على تعاملها الراقي، ودعمها وتشجيعها المستمر لنا في هذه الظروف الصعبة. لم تكن بالنسبة لنا مجرد مديرة للبرنامج، بل كانت أمّاً حانية، وأختاً قريبة، وزميلة وصديقة. أسأل الله أن يرفع منزلتها في الدنيا والآخرة.

ومن أعماق قلبي، أخص بالشكر الدكتورة **ضحى جديد**، المشرفة على بحثي، التي كانت خير سند وداعمة بكل ما تحمله الكلمة من معنى. شجعتني على الاستمرار رغم العثرات، وغرست في نفسي الصبر والثقة. لم أتردد يوماً في مصارحتها بأخطائي أو مخاوفي، وكانت دوماً تمدني بنصائحها وتوجيهاتها القيمة التي ساعدتني على إنجاز الأفضل وتجاوز مشقة الطريق.

كما أتوجه بالشكر الجزيل للدكتور **بلال زعرور**، المشرف المشارك على بحثي، على نصائحه الثمينة، وتشجيعه المستمر، وما قدمه من تسهيلات ودعم خلال مسيرتي البحثية.

ولا يسعني في هذا المقام إلا أن أعبر عن خالص التقدير والامتنان لأعضاء **لجنة الحكم** الموقرة، على ما بذلوه من جهد في تقييم هذا البحث، وما تفضلوا به من ملاحظات وتوجيهات بناءة أسهمت في إثرائه وتحسين مضمونه العلمي.

كما أعبر عن امتناني العميق لجميع أعضاء **الهيئة التدريسية** في برنامج ماجستير إدارة ونمذجة معلومات البناء، الذين أثروا بعلمهم وخبراتهم، ومنحونا من وقتهم وجهدهم ما يعيننا على المضي قدماً بثقة أكبر في مسيرتنا العلمية والعملية.

## الإهداء :

إلى من كانت بجانبني في كل لحظات حياتي الجميلة والصعبة إلى السند الذي يقف خلفي في كل المواقف إلى داعمي في الحياة إلى من يخفف عني صعوبة الحياة ومشقاتها إلى من كانت كلماتها سبباً في أن أكمل دراستي وأتابع في اللحظات التي أوشكت فيها على التوقف إلى من تحلو الحياة بوجودها وتأنس الروح بحديثها إلى من أشعر بالأمان والقوة حين تكون إلى العظيمة المضحية والصابرة أطال الله في عمرها وأمدّها بالصحة والعافية..

أمي الغالية دلال وردة

إلى مصدر القوة والفخر والأمان، إلى من أفنى عمره وجسده لأكون هنا، أهدي لك هذا العمل بكل حب وامتنان..

أبي العزيز شهم ورده

رفاق الدرب الذين نتقاسم معاً أفراحنا وهمومنا، إلى من تفرح قلوبهم لفرحي ويفخرون بإنجازي..

إخوتي علي، رهام

إلى رفيقتي الأولى الأصدق الأنقى والأوفى، إلى أخي الثاني، إلى من يملئ حياتنا بالحب والفرح والضحك..

أختي صبا، صهري إبراهيم زعير، ولديهما عبد الكريم وإيميلي

إلى رفيق الأيام القادمة، إلى من لم يوفر جهداً في سبيل سعادتي وراحتي، إلى من هون عليّ كل اللحظات الصعبة وشاركني لحظات الفرح والحزن..

الغالي نوار

إلى الذين كان حظي سعيداً بمعرفتهم، إلى من قدموا لي النصيح ومدّوا يد العون، إلى من شجعوني على مواصلة هذا الطريق، وإلى من لم يخلوا عليّ بوقتهم وجهدهم أهدي هذا العمل عربون وفاء وامتنان..

زملاء الماستر، بلقيس

وأخيراً، أهدي هذا العمل إلى كل من تمنى لي الخير وغمرني بدعوات صادقة، وكان سبباً في ابتسامة أشرقت على وجهي، إلى من منحتني كلماته لحظات تفاؤل وطمأنينة، إلى من قدّر انشغالي ووقف بجانبني، وهياً لي ما يعينني على المضي قدماً..

العائلة، زملاء العمل، الرفاق، المعارف

## لجنة الحكم:

+ د.م محمد علي محمد

+ د.م: هلا أصلان

+ د.م: ضحى جديد

## الملخص:

تشكل المباني الخدمية أحد القطاعات الأكثر استهلاكاً للطاقة على مستوى العالم، حيث تستأثر أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC) بما يصل إلى 60% من هذا الاستهلاك. وعلى الرغم من التطور الكبير في أدوات نمذجة معلومات البناء (BIM) وأنظمة إدارة طاقة المباني (BEMS)، لا تزال هناك فجوة بحثية تتعلق بتوظيف الإمكانيات الديناميكية الكاملة لنماذج BIM الدقيقة لدعم عملية اتخاذ القرار في التصميم المبكر لأنظمة HVAC، وخاصة فيما يتعلق باستخدام البيانات الغنية من نماذج BIM لتحسين التصميم الأولي لأنظمة HVAC وتحليل أدائها الحراري، تهدف هذه الدراسة إلى سد هذه الفجوة من خلال اقتراح وتطبيق إطار منهجي متكامل يربط بشكل مباشر بين النموذج الرقمي الثلاثي الأبعاد للمبنى وتحليل الحمل الحراري لتحديد مواصفات نظام HVAC الأمثل. اعتمد البحث منهجية دراسة حالة تطبيقية باستخدام برنامج Autodesk Revit لنمذجة مبنى فندق افتراضي بكامل تفاصيله المعمارية والميكانيكية. تم بعدها إجراء تحليل حمل حراري مفصل باستخدام أداة التحليل المدمجة (Revit HVAC Analysis) لمحاكاة أداء النظام تحت ثلاثة سيناريوهات متباعدة: (1) السيناريو الأساسي (بدون عزل حراري)، (2) سيناريو كفاءة الطاقة (بإضافة عزل حراري من مادة البولي يوريثان بسمك 50 ملم للجدران والأسقف واستبدال الزجاج المفرد بزجاج مزدوج)، (3) سيناريو تغيير الاستخدام الوظيفي للمبنى (تغيير إشغال المبنى من مطعم إلى صالة رياضية ومن مطبخ إلى غرفة ساونا). كشفت نتائج المحاكاة عن انخفاض ملموس في الحمل الحراري الكلي للنظام بلغ 2.8 طن (ما يعادل 28.57%) وانخفاض في تدفق الهواء المطلوب بمقدار 602.5 لتر/ثانية (43%) في سيناريو كفاءة الطاقة، مما يؤكد على الأثر الحاسم لخصائص الغلاف الخارجي والذي يمكن تحليله وتقييمه بدقة مبكرة عبر نموذج معلومات المبنى. من ناحية أخرى، أظهر سيناريو تغيير الاستخدام الوظيفي للمبنى زيادة في الحمل بلغت 4.2 طن (30%) بسبب تغير كثافة الإشغال والأحمال الداخلية، مما يبرز قدرة النموذج الرقمي على استيعاب التغيرات الجوهرية في استخدام المبنى وتوفير بيانات دقيقة لإعادة تقييم متطلبات نظام HVAC، وبالتالي تجنب التكاليف الباهظة لإعادة التصميم بعد التنفيذ.

تخلص الدراسة إلى أن الإطار المقترح ليس أداة تحليل طاقي فحسب، بل هو منصة لدعم اتخاذ القرار التصميمي القائم على الأداء. تؤكد على أن التكامل العضوي بين BIM وBEMS يمثل نقلة نوعية نحو تشييد مباني ذكية تتسم بالمرونة والاستدامة العالية، وتوصي باعتماد هذا النهج كمعيار في المراحل التصميمية الأولية، كما تقترح الأبحاث المستقبلية التوسع في دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي والتنبؤ الآني.

## الكلمات المفتاحية:

نمذجة معلومات البناء، أنظمة إدارة الطاقة في المباني، أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء، تكامل نمذجة معلومات البناء مع أنظمة إدارة طاقة المباني، كفاءة الطاقة.

## **Abstract:**

Service buildings constitute one of the most energy-intensive sectors globally, as Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC) systems account for up to 60% of this consumption. Despite the significant advancement in Building Information Modeling (BIM) tools and Building Energy Management Systems (BEMS), a research gap persists concerning the utilization of the full dynamic potential of precise BIM models to support decision-making processes in the early design stages of HVAC systems, particularly with regard to using rich data from BIM models to improve the initial design of HVAC systems and analyze their thermal performance. This study aims to bridge this gap by proposing and applying an integrated methodological framework that directly links the building's three-dimensional digital model with thermal load analysis to determine the optimal specifications of the HVAC system. The research adopted an applied case study methodology using Autodesk Revit software to model a hypothetical hotel building with full architectural and mechanical details. Subsequently, a detailed thermal load analysis was conducted using the integrated analysis tool (Revit HVAC Analysis) to simulate system performance under three distinct scenarios: (1) the baseline scenario (without thermal insulation), (2) the energy efficiency scenario (by adding 50 mm polyurethane thermal insulation to walls and roofs and replacing single glazing with double glazing), (3) the building functional use change scenario (changing building occupancy from a restaurant to a gymnasium and from a kitchen to a sauna room). Simulation results revealed a significant decrease in the system's total thermal load amounting to 2.8 tons (equivalent to 28.57%) and a reduction in required airflow by 602.5 liters/second (43%) in the energy efficiency scenario, confirming the critical impact of the building envelope's characteristics, which can be accurately analyzed and evaluated at an early stage through the building information model. On the other hand, the building functional use change scenario showed an increase in load amounting to 4.2 tons (30%) due to changes in occupancy density and internal loads, highlighting the digital model's ability to accommodate fundamental changes in building use and provide accurate data to reassess HVAC system requirements, thereby avoiding costly redesigns after construction. The study concludes that the proposed framework is not merely an energy analysis tool, but a platform for supporting performance-based design decision-making. It emphasizes that the organic integration between BIM and BEMS represents a qualitative leap toward constructing intelligent buildings characterized by high flexibility and sustainability, and recommends adopting this approach as a standard in early design phases. It also suggests that future research should expand into integrating artificial intelligence and real-time prediction technologies.

## **Key word:**

Building Information Modeling (BIM), Building Energy Management System (BEMS), Heating Ventilation and Air Conditioning (HVAC), BIM and BEMS, Integration, HVAC and BIM.

## فهرس المحتويات:

### المحتويات

1	.....
1	..... كلمة شكر
2	..... الإهداء :
3	..... لجنة الحكم :
4	..... الملخص :
4	..... الكلمات المفتاحية:
5	..... Abstract:
5	..... Key word:
6	..... فهرس المحتويات :
9	..... الفصل الأول: خطة البحث
9	..... 1-1- المقدمة:
10	..... 2-1- مشكلة البحث:
11	..... 3-1- أسئلة البحث:
11	..... 4-1- أهداف البحث:
12	..... 5-1- فرضيات البحث:
13	..... 6-1- أهمية البحث:
14	..... 7-1- منهج البحث:
14	..... 8-1- أدوات البحث:
15	..... 9-1- مجتمع الدراسة وعينتها:
15	..... 10-1- حدود البحث:
16	..... 11-1- مصطلحات البحث:
18	..... الفصل الثاني: الإطار النظري
18	..... 1-2- القسم الأول: الدراسات المرجعية:
18	..... 1-1-2- الدراسة الأولى:
19	..... 2-1-2- الدراسة الثانية:
20	..... 3-1-2- الدراسة الثالثة:
22	..... 4-1-2- الدراسة الرابعة:
23	..... 5-1-2- الدراسة الخامسة:

25	6-1-2- الدراسة السادسة:
26	7-1-2- الدراسة السابعة:
27	8-1-2- الدراسة الثامنة:
29	2-2- القسم الثاني: لمحة عن أنظمة إدارة الطاقة في المباني:
29	1-2-2 مقدمة:
29	2-2-2 تعريف أنظمة إدارة طاقة المباني:
30	3-2-2 التطور التاريخي لأنظمة BEMS:
31	4-2-2 الفرق بين EMS, BAS, BEMS:
33	5-2-2 مكونات نظام إدارة الطاقة:
36	6-2-2 الأقسام الوظيفية الرئيسية في نظام إدارة طاقة المباني (BEMS):
40	7-2-2 الهيكل البنوي لنظام إدارة طاقة المباني (BEMS Architecture):
40	8-2-2 فوائد أنظمة BEMS:
42	9-2-2 التطبيقات العملية لأنظمة إدارة الطاقة في المباني:
43	10-2-2 الاتجاهات المستقبلية في أنظمة BEMS:
45	11-2-2 التحديات الرئيسية التي تواجه أنظمة إدارة طاقة المباني:
45	12-2-2 مصادر الطاقة المتكاملة مع أنظمة إدارة طاقة المباني (BEMS):
47	13-2-2 خطوات تصميم نظام إدارة طاقة المباني (BEMS):
48	14-2-2 طرق التحكم في نظام إدارة طاقة المباني (BEMS):
50	3-2- القسم الثالث: أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC):
50	1-3-2 مقدمة:
50	2-3-2 تعريف نظام HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning):
51	3-3-2 المكونات التقنية الأساسية لنظام HVAC:
54	4-3-2 بيئة التشغيل والتكامل مع الأنظمة الأخرى:
58	5-3-2 آلية عمل نظام HVAC:
60	6-3-2 أنواع أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء:
62	7-3-2 كفاءة الطاقة في أنظمة HVAC:
63	8-3-2 التحديات المستقبلية في أنظمة HVAC:
65	9-3-2 التوجهات البحثية الحديثة والمستقبلية:
67	الفصل الثالث:
67	1-3- مدخل نظري:
67	2-3- التكامل بين BIM و BEMS:



3-3- دور الـ HVAC في منظومة استهلاك الطاقة:	68
3-4- دور برنامج Revit في تصميم أنظمة HVAC :	68
3-5- المرونة التصميمية التي يوفرها BIM في أنظمة HVAC :	69
الفصل الرابع: الإطار العملي للدراسة.....	71
□ الحالة الأولى: الدراسة تتم بدون عازل حراري للجدران والسقف:	72
□ الحالة الثانية: الدراسة تتم باستخدام عازل من ألواح البوليوريثان سماكة 50 mm للجدران والسقف:	84
□ الحالة الثالثة: الدراسة تتم بدون عازل حراري للجدران مع تغيير مواصفات الحيزات المعمارية حيث تم استبدال صالة المطعم ب صالة رياضية والمطبخ بغرفة ساونا:	94
الفصل الخامس: الاستنتاجات والتوصيات.....	106
الاستنتاجات:	106
التوصيات:	108
المراجع:	111

## الفصل الأول: خطة البحث

### 1-1- المقدمة:

يشهد العالم اليوم تزايداً غير مسبوق في استهلاك الطاقة داخل المباني، خاصة في القطاعات الخدمية والتعليمية والطبية التي تعتمد على أنظمة ميكانيكية وكهربائية معقدة. هذا النمو المتسارع في الطلب الطاقوي يشكل تحدياً مباشراً على الشبكات الكهربائية العامة، ويبرز الحاجة إلى حلول أكثر كفاءة واستدامة لإدارة الطاقة. وفي هذا السياق، تُعد المباني الذكية إحدى الاستجابات الأساسية للتطورات التكنولوجية، حيث توفر أنظمة إدارة طاقة المباني (BEMS) آلية فعّالة لمراقبة استهلاك الطاقة والتحكم فيه عبر الأنظمة الميكانيكية والكهربائية. (Jamil & Mittal, 2017) غير أن فعالية هذه الأنظمة ترتبط بدرجة تكاملها مع أدوات رقمية متقدمة قادرة على توفير بيانات دقيقة ومرنة، وهو ما يقدمه مفهوم نمذجة معلومات البناء (BIM).

تمثل أنظمة التدفئة والتهوية والتبريد (HVAC) محوراً رئيسياً في النقاش حول إدارة الطاقة، إذ إنها تستحوذ على الحصة الأكبر من الاستهلاك الطاقوي في المباني، بنسبة تتراوح بين 40-60%. (Asim et al., 2022) ورغم أهمية هذه الأنظمة، فإن الدراسات التطبيقية تشير إلى وجود فجوات واضحة في توظيف بيانات نماذج BIM ضمن أنظمة BEMS لدعم تحسين أداء أنظمة HVAC. (Kozlovskaya et al., 2023) ويتجلى هذا القصور بشكل خاص في مراحل التصميم المبكر، حيث لا يتم استثمار الإمكانيات الكاملة لنماذج BIM في التنبؤ بالأحمال الحرارية أو محاكاة التغيرات المحتملة في ظروف التشغيل، مما يؤدي إلى ضعف المرونة التشغيلية وارتفاع معدلات الهدر الطاقوي.

من هنا تتبع أهمية هذا البحث الذي يسعى إلى استكشاف سبل تعزيز التكامل بين نمذجة معلومات البناء وأنظمة إدارة طاقة المباني، مع تركيز خاص على أنظمة HVAC باعتبارها النظام الأكثر تأثيراً في

استهلاك الطاقة وكفاءة التشغيل. ويهدف البحث إلى إبراز الدور الذي يمكن أن تلعبه نماذج BIM بما توفره من بيانات ثلاثية الأبعاد دقيقة ومحدثة في تحسين قدرة BEMS على التنبؤ، التكيف، والتحكم الذكي في استهلاك الطاقة. كما يسعى إلى تقديم إطار تطبيقي يوضح كيف يمكن لاستخدام أدوات مثل Autodesk Revit أن يدعم محاكاة الأداء الطاقوي، واختبار سيناريوهات مختلفة للتشغيل، واختيار الحلول الأكثر كفاءة ومرونة. (González et al., 2021)

وبذلك، يضع هذا البحث نفسه ضمن الجهود العلمية الرامية إلى سد الفجوة البحثية بين BIM وBEMS، من خلال التركيز على أنظمة HVAC باعتبارها العنصر الأكثر استهلاكاً للطاقة والأكثر استفادة من التكامل الرقمي، بما يعزز الاتجاه نحو تصميم وتشغيل مبانٍ أكثر استدامة وكفاءة. (Petrushevski et al., 2018)

## **1-2- مشكلة البحث:**

تواجه المباني ذات الاستخدامات الكثيفة للطاقة تحديات متزايدة في إدارة استهلاك الطاقة، نتيجة النمو المطرد في الطلب على الكهرباء، مما يفرض ضغطاً متزايداً على الشبكة الكهربائية العامة ويؤثر سلباً على استقرارها وفعاليتها. وعلى الرغم من توفر أنظمة إدارة الطاقة (BEMS) وتقنيات نمذجة معلومات البناء (BIM)، فإن الاستفادة الكاملة من إمكانياتهما لا تزال محدودة، خاصة في مراحل التصميم المبكر، حيث يفتقر العديد من المشروعات إلى تكامل فعال بين هاتين الأدوات. يبرز هذا القصور بشكل خاص في أنظمة التدفئة والتهوية والتبريد (HVAC) التي تمثل النسبة الأكبر من استهلاك الطاقة في المباني، إذ إن عدم توظيف بيانات الـ BIM بدقة ضمن نظم الإدارة يؤدي إلى صعوبة التنبؤ بالأحمال الحرارية، ويضعف القدرة على التكيف مع التغيرات المفاجئة والمتكررة في أنماط الاستخدام. بالإضافة إلى ذلك، فإن غياب قاعدة بيانات موحدة وشاملة يحد من قدرة أنظمة إدارة الطاقة على التنبؤ والتفاعل بكفاءة مع التغيرات

التشغيلية، ويؤثر بشكل مباشر على تحسين كفاءة استهلاك الطاقة، وتقليل الهدر، ودعم استدامة المباني في بيئة تعتمد بشكل متزايد على الحلول الرقمية والتقنيات الذكية.

### 1-3- أسئلة البحث:

1. كيف يمكن تطوير أنظمة إدارة طاقة المباني بحيث تكون أكثر كفاءة واستجابة للنمو المستمر في الطلب على الطاقة، مع الأخذ بعين الاعتبار الدور المحوري لأنظمة التدفئة والتهوية والتبريد (HVAC) في استهلاك الطاقة وتخفيف الضغط على الشبكة الكهربائية العامة؟
2. كيف تساهم نمذجة معلومات البناء (BIM) في دعم تصميم أنظمة إدارة طاقة مرنة، قادرة على التكيف مع التغيرات المفاجئة أو المتكررة في الأحمال الحرارية والكهربائية، وخاصة تلك المتعلقة بأنظمة الـ HVAC، مع الحفاظ على كفاءة التشغيل واستقرار الأداء؟
3. إلى أي مدى يمكن توظيف الإمكانيات المتقدمة التي توفرها نمذجة معلومات البناء، من حيث البيانات الدقيقة والمحدثة، في تحسين كفاءة إدارة الطاقة للمباني، خصوصاً من خلال تعزيز أداء أنظمة الـ HVAC وتقليل الهدر الطاقوي؟ وما الأدوات التقنية الأنسب لتحقيق ذلك؟
4. ما هو الدور الذي يمكن أن يلعبه تكامل نمذجة معلومات البناء (BIM) مع نظام إدارة طاقة المباني (BEMS) والأنظمة الفرعية المرتبطة به، وبشكل خاص نظام التدفئة والتهوية والتبريد، في تطوير حلول أكثر كفاءة ومرنة قادرة على الاستجابة للتغيرات المستمرة في الأحمال والظروف التشغيلية للمبنى من خلال نماذج قابلة للتعديل والمحاكاة؟

### 1-4- أهداف البحث:

1. تحليل واقع استهلاك الطاقة الكهربائية في المبنى مع التركيز على أحمال الـ HVAC باعتبارها أحد الأنظمة الفرعية الأساسية في أنظمة إدارة المباني وأكثرها استهلاكاً للطاقة.
2. نمذجة المبنى بما يتضمنه من أنظمة (HVAC) باستخدام أدوات BIM، خاصة Revit، بغرض بناء نموذج ثلاثي الأبعاد ديناميكي، يمكن تعديله بسهولة لمواكبة التغيرات في الأحمال، وتقييم أداء نظام إدارة الطاقة من خلال محاكاته.

3. توظيف إمكانيات نمذجة معلومات البناء في تصميم نظام ذكي لإدارة الطاقة، من خلال الاستفادة من بيانات النموذج - بما في ذلك الشكل الثلاثي الأبعاد والخصائص الفيزيائية للمبنى - بهدف تنظيم الأحمال الكهربائية، وتحسين كفاءة التشغيل، وتقليل الاستهلاك، وإجراء محاكاة لأداء نظام بهدف تقييم كفاءته التشغيلية واختيار السيناريو الأمثل الذي يحقق أعلى كفاءة تشغيلية لأنظمة HVAC وبالتالي أنظمة ال BEMS.

4. دراسة فرص التكامل بين BIM و BEMS وتحليل أثره في تحسين الأداء الطاقي للمبنى، وتقليل الاستهلاك ودعم تصميم أنظمة مرنة لإدارة الطاقة، تستجيب بفعالية للتغيرات المستمرة في الأحمال والظروف التشغيلية للمبنى.

### 1-5-فرضيات البحث:

1. يُسهم دمج نمذجة معلومات البناء مع أنظمة إدارة المباني في تطوير أنظمة ذكية لإدارة الطاقة، تركز بشكل خاص على كفاءة أنظمة (HVAC)، مما يؤدي إلى تقليل الاستهلاك وتحسين الأداء الطاقي.
2. توفر نماذج BIM - وخاصة باستخدام أدوات مثل Revit - قاعدة بيانات دقيقة وشاملة تُستخدم في تصميم ومحاكاة أنظمة HVAC، مما يُمكن من تقييم أدائها مبكرًا واختيار السيناريو الأمثل من حيث الكفاءة والتكاليف.
3. تُعزز نمذجة معلومات البناء بما تتضمنه من بيانات دقيقة ومحدثة المرونة التصميمية لأنظمة إدارة الطاقة، من خلال تمكين التعديل السريع على التصميم المعماري والتقني، والتنبؤ بتأثير هذه التغيرات على أداء أنظمة HVAC قبل التنفيذ.
4. يُسهم التكامل بين BIM و BEMS في تحسين دقة البيانات التشغيلية والتنبؤية لأنظمة HVAC، مما يُمكن من استجابة ديناميكية فعّالة للتغيرات في الأحمال الحرارية وظروف التشغيل.
5. يمكن لاستغلال بيانات النموذج الرقمي في مراحل التصميم المبكرة أن يقلل من الهدر الطاقي في أنظمة HVAC، ويدعم اتخاذ قرارات هندسية مرنة تُراعي التغيرات المستقبلية في استخدام المبنى ومتطلبات الراحة الحرارية.

## 1-6-أهمية البحث:

• **الأهمية النظرية (العلمية):** يكتسب هذا البحث أهميته من سدّه لفجوة بحثية تتمثل في ضعف التكامل بين نمذجة معلومات البناء وأنظمة إدارة الطاقة في المباني ، خصوصًا في مراحل التصميم المبكر، حيث تتركز الدراسات السابقة على استخدام BIM في التصميم أو BEMS في التشغيل بشكل منفصل، دون ربط فعال بين النموذج الرقمي والتحكم الذكي. ويُعد من الدراسات القليلة التي تُحلّل دور BIM كأداة داعمة للتصميم المرِن والمستدير لأنظمة إدارة الطاقة، مع تركيز خاص على أنظمة الـ HVAC – الأكثر استهلاكًا للطاقة. ويُقدّم إطارًا نظريًا يربط البيانات الوصفية والهندسية للنموذج الرقمي (BIM) بأداء الأنظمة الفرعية في BEMS، مما يُثري القاعدة المعرفية حول كيفية استثمار نماذج BIM لتحسين الكفاءة الطاقية قبل التنفيذ. كما يُسهم في تطوير مفهوم "المرونة التصميمية" من خلال إثبات أن نماذج BIM ليست أداة تمثيل فحسب، بل أداة ديناميكية تُمكن من اختبار سيناريوهات متعددة وتحليل تأثير التغيرات في التصميم أو الاستخدام على أداء أنظمة HVAC، وبالتالي اتخاذ قرارات أكثر دقة. إضافةً إلى ذلك، يُعزز الفهم النظري للتكامل بين BIM والأنظمة الذكية (BEMS) من خلال تحليل كيفية تحويل البيانات الثابتة في مرحلة التصميم إلى بيانات تشغيلية قابلة للتطبيق فعليًا، مما يفتح آفاقًا لنماذج ذكية قابلة للتكيف مع الظروف المتغيرة، ويدعم الانتقال نحو مباني أكثر استدامة وكفاءة.

• **الأهمية التطبيقية (العملية):** تتجلى الأهمية التطبيقية لهذا البحث في إبراز دور نمذجة معلومات البناء كأداة فعّالة لتصميم أنظمة إدارة الطاقة، وبخاصة أنظمة الـ HVAC التي تمثل النسبة الأكبر من الاستهلاك الطاقوي. ويُظهر القسم العملي كيف يمكن استخدام نماذج BIM – عبر أدوات مثل Revit – لإنشاء نموذج رقمي ديناميكي يُمكن من تقييم أداء أنظمة التبريد والتدفئة، واختبار سيناريوهات تشغيل مختلفة بدقة وسرعة. كما يُبرز البحث المرونة العالية التي يوفرها BIM عند حدوث تغيرات في التصميم أو استخدام المبنى، حيث يُمكن تعديل النموذج وإعادة محاكاة تأثيراتها على الأحمال الحرارية دون إعادة التصميم من جديد. ويُسهم هذا النهج في تقليل الأخطاء، وتحسين الكفاءة، واتخاذ قرارات مبنية على بيانات

دقيقة قبل التنفيذ، مما يخفض التكاليف ويعزز فعالية الأنظمة. وبالتالي، يُعد النموذج المُقترح قابلاً للتطبيق في المشاريع الحقيقية، ويدعم التصميم الذكي والمرن لتحقيق مباني أكثر كفاءة واستدامة.

### 1-7- منهج البحث:

يعتمد البحث على منهجية تحليلية-تطبيقية قائمة على النمذجة الرقمية، تهدف إلى دراسة دور نمذجة معلومات البناء (BIM) في تحسين كفاءة أنظمة إدارة الطاقة، مع تركيز خاص على أنظمة الـ HVAC باعتبارها الأكثر استهلاكاً للطاقة. ويُنشئ البحث على نموذج مبنى افتراضي تم تطويره باستخدام برنامج Revit، يُضمّن تفاصيل معمارية وهندسية دقيقة لأنظمة الـ HVAC ويُستخدم النموذج كمنصة ديناميكية لمحاكاة الأداء الطاقوي، واختبار تأثير سيناريوهات متعددة تتعلق بتغيرات في التصميم أو أنماط الاستخدام، بهدف تقييم المرونة التصميمية وتحسين الكفاءة. وتُحلّل إمكانيات تكامل نموذج BIM مع متطلبات نظام (BEMS) من خلال دراسة تحويل بيانات التصميم إلى مدخلات تشغيلية قابلة للتطبيق. وبهذا، يُوظف BIM ليس كأداة تمثيل فحسب، بل كمنصة لدعم التصميم القائم على الأداء، وتُبنى النتائج على تحليل كمي ونوعي لبيانات المحاكاة لتقييم فعالية النموذج المقترح في تقليل الهدر الطاقوي وتعزيز الكفاءة.

### 1-8- أدوات البحث:

- **النظرية:** تتمثل في مراجعة وتحليل الأدبيات العلمية والدراسات السابقة ذات الصلة بموضوع البحث، وذلك من خلال الرجوع إلى الأبحاث المتخصصة، والمقالات العلمية الحديثة المنشورة ضمن الدوريات والمجلات المحكمة الدولية. كما تشمل الأدوات النظرية الاستفادة من قواعد البيانات الأكاديمية الموثوقة مثل (ScienceDirect, IEEE Xplore, Google scholar, Wiley, Elsevier) إضافة إلى البحث والمطالعة في مواقع الانترنت المختلفة.

- **التطبيقية:** يعتمد الجانب التطبيقي للبحث على استخدام برنامج Autodesk Revit كأداة رئيسية لنمذجة معلومات البناء حيث يُبنى نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد دقيق يشمل جميع عناصر المبنى بما فيها أنظمة HVAC ويُستفاد من النموذج في تحليل الأداء الطاقوي، وتقييم الأحمال الحرارية، ومحاكاة تأثير

التغيرات التصميمية على كفاءة النظام، من خلال استغلال قدرات Revit في التحليل المبكر والتصور البياني. ويُبرز هذا النهج دور BIM كأداة ديناميكية لدعم التصميم المرِن والمستند إلى الأداء، حتى في غياب أدوات محاكاة خارجية، من خلال استفادة كاملة من البيانات المدمجة في النموذج.

## 1-9- مجتمع الدراسة وعينتها:

• **مجتمع الدراسة:** يُشكّل مجتمع الدراسة المباني ذات الاستهلاك العالي للطاقة، مثل المباني الإدارية، الطبية، والتعليمية، والتي تعتمد بشكل كبير على أنظمة ميكانيكية وكهربائية متقدمة، تُعدّ أنظمة التدفئة والتهوية والتبريد أبرزها من حيث استهلاك الطاقة، حيث تمثل 40-60% من الاستهلاك الكلي. وتُعدّ هذه المباني بيئة مناسبة لدراسة تكامل نمذجة معلومات البناء مع أنظمة إدارة طاقة المباني، نظرًا لتعقيد أنظمتها، وحاجتها المستمرة إلى التكيف مع التغيرات في أنماط الاستخدام، ومتطلبات الكفاءة الطاقية واعتمادها على الأنظمة الذكية. كما تتيح فرصًا كبيرة لتحسين الكفاءة الطاقية من خلال دعم التصميم المرِن واتخاذ قرارات مبنية على البيانات. وبما أن طبيعة هذه المباني قابلة للتكرار، فإن نتائج البحث يمكن تعميمها لتحسين أداء مشاريع مشابهة، ودعم الانتقال نحو مباني أكثر استدامة ونكاءً.

• **عينة الدراسة:** تتمثل عينة الدراسة في مبنى نموذجي ذي استهلاك عالٍ للطاقة، تم اختياره كحالة تطبيقية لتصميم وتحليل نظام إدارة طاقة ذكي يركز على نمذجة معلومات البناء. تم تطوير نموذج رقمي دقيق لهذا المبنى باستخدام برنامج Revit، يتضمن التفاصيل المعمارية والهندسية لأنظمة HVAC كأحد أكبر مكونات الأحمال الكهربائية. ويُستخدم النموذج كمنصة ديناميكية لمحاكاة الأداء الطاقى، وتحليل الأحمال الحرارية، واختبار تأثير التغيرات التصميمية والتشغيلية، مما يُبرز دور BIM في دعم المرونة التصميمية واتخاذ قرارات مبنية على الأداء. وبهذا الشكل، تمثل العينة إطارًا عمليًا لاختبار كفاءة النموذج المقترح في تحسين إدارة الطاقة قبل التنفيذ.

## 1-10- حدود البحث:

• **الحدود الزمانية:** يغطي الإطار الزمني الفترة الممتدة من حزيران 2025 وحتى آب 2025 وهي الفترة التي يتم خلالها جمع المعلومات، بناء النموذج في برنامج Revit، تصميم نظام HVAC، تحليل أدائه



باستخدام نمذجة معلومات البناء وتطبيق سيناريوهات مختلفة لإظهار المرونة التصميمية التي تتمتع بها بيئة BIM.

- **الحدود المكانية:** لا يرتبط البحث بمكان جغرافي محدد، إذ يعتمد على نموذج مبنى افتراضي تم تطويره باستخدام برنامج Revit ، يُمثل بيئة نموذجية ذات استهلاك عالٍ للطاقة. ويُستخدم هذا النموذج كأداة تحليلية لدراسة تكامل نمذجة معلومات البناء مع أنظمة إدارة الطاقة، مع تركيز خاص على أداء أنظمة HVAC .

- **الحدود البشرية:** لا يتضمن هذا البحث أي عنصر بشري مباشر في جمع البيانات أو التحليل، حيث لا يعتمد على استبيانات، مقابلات، أو دراسة سلوك المستخدمين. بل يركز كلياً على نموذج رقمي افتراضي تم تطويره باستخدام برنامج Revit ، ويُركز على التحليل الهندسي والتقني لأنظمة إدارة الطاقة، وبخاصة أنظمة HVAC ، من خلال توظيف نمذجة معلومات البناء (BIM) لدعم المرونة التصميمية وتحسين الكفاءة الطاقية. وبالتالي، لا يُعدّ الإنسان موضوعاً للدراسة، وإنما يظهر البُعد البشري على مستوى المستفيدين المستقبليين من البحث، وخصوصاً المهندسين والمصممين الذين يمكنهم الاستفادة من هذا النهج في تطوير نماذج ذكية ومرنة لتحسين أداء المباني قبل تنفيذها.

## 1-11- مصطلحات البحث:

- **BEMS (نظام إدارة طاقة المباني - Building Energy Management System):** نظام ذكي يُستخدم لمراقبة والتحكم في الأنظمة الميكانيكية والكهربائية في المباني، مثل الإضاءة، التكييف، والتدفئة، بهدف تحسين الكفاءة الطاقية، وضمان الراحة الحرارية، وتقليل الاستهلاك. ويُعدّ نظام إدارة الطاقة جزءاً أساسياً من بيئة المبنى الذكي.
- **BIM (نمذجة معلومات البناء - Building Information Modeling):** منهجية رقمية تعتمد على إنشاء وتحليل نموذج ثلاثي الأبعاد ذكي يحتوي على بيانات وصفية وهندسية دقيقة عن المبنى، تُستخدم عبر دورة حياته من التصميم إلى التشغيل. ويُعدّ BIM أداة داعمة للتنسيق، المحاكاة، واتخاذ القرار، وخصوصاً في مراحل التصميم المبكر.
- **HVAC (أنظمة التدفئة والتهوية - Heating, Ventilation, and Air Conditioning):** مجموعة الأنظمة المسؤولة عن تنظيم الظروف الحرارية والهوائية داخل المباني، وتُعدّ من أكبر مكونات

الأحمال الكهربائية، حيث تمثل ما بين 40-60% من إجمالي استهلاك الطاقة في المباني التجارية والمؤسسية. ويركز هذا البحث على HVAC باعتبارها النظام الفرعي الأكثر تأثيرًا في أداء BEMS ، والأكثر استفادة من دقة بيانات النموذج الرقمي (BIM) في التنبؤ بالأحمال الحرارية وتحسين الكفاءة.

• **المرونة التصميمية (Design Flexibility):** قدرة النموذج أو النظام على التكيف مع التغيرات في المتطلبات الوظيفية، التوزيع الداخلي، أو أنماط الاستخدام دون الحاجة إلى إعادة التصميم من الصفر. وتُعدّ من المفاهيم المحورية في هذا البحث، حيث يُبرز دور BIM في تمكين التعديلات السريعة وتحليل تأثيرها على أداء أنظمة ال HVAC.

• **التكامل بين BIM وBEMS:** عملية ربط النموذج الرقمي (BIM) بنظام إدارة المباني (BEMS) لتحويل بيانات التصميم إلى مدخلات تشغيلية فعّالة، مما يُحسّن التنبؤ بالأداء، ويدعم التحكم الذكي، ويعزز الكفاءة عبر دورة حياة المبنى.

• **نموذج معلومات البناء (BIM Model):** الناتج العملي لتطبيق منهجية BIM ، ويُمثل نموذجًا رقميًا ثلاثي الأبعاد غنيًا بالبيانات، يشمل العناصر المعمارية، الإنشائية، والميكانيكية، ويُستخدم لأغراض المحاكاة، التحليل، والتنسيق بين التخصصات وفي هذا البحث، لا يُعتبر النموذج مجرد أداة تمثيل، بل أداة تجريبية تُستخدم لاختبار سيناريوهات متعددة، تقييم الأداء الطاقوي، وتحليل تأثير التغيرات التصميمية على كفاءة النظام، مما يُساهم في تقليل الهدر ودعم الاستدامة.

## الفصل الثاني: الإطار النظري

### 2-1- القسم الأول: الدراسات المرجعية:

لقد سبقت إعداد هذا القسم عملية مراجعة شاملة لعدد كبير من الأوراق البحثية والمقالات العلمية المحكمة المنشورة في مجلات عالمية مرموقة، مع إيلاء اهتمام خاص بأحدث الدراسات المرتبطة بموضوع البحث. وبناءً على التحليل النقدي والمقارنة، تم انتقاء المقالات الأكثر صلة، والتي يتراوح تاريخ نشرها بين عامي 2018 و2024.

#### 2-1-1- الدراسة الأولى:

اسم البحث:	Enhancing Building Energy Efficiency through Building Information Modeling (BIM) and Building Energy Modeling (BEM) Integration: A Systematic Review
السنة:	2024
الناشر:	MPDI
المجلة:	Buildings
عدد الاستشهادات:	38

- في إطار السعي نحو تحسين كفاءة الطاقة في المباني، أجرى الباحثون في هذه الدراسة ( Alhammad et al., 2024)مراجعة منهجية لدمج تقنيتي BIM و BEM كأداة محورية لتعزيز الأداء الطاقى خلال مراحل التصميم والتنفيذ. وقد أظهرت النتائج أن هذا الدمج لا يقتصر على تبادل البيانات، بل يُمكن من توليد نماذج طاقية دقيقة تعتمد على المعلومات الهندسية والوظيفية من نموذج BIM.
- تناولت المراجعة الدور الداعم لتقنية BIM في تصميم أنظمة BEM، وخاصة أنظمة HVAC. وأشارت إلى أن دمج BIM مع BEM يُمكن المهندسين من محاكاة أداء أنظمة HVAC بدقة عالية من خلال توفير بيانات شاملة حول توزيع المساحات، وخصائص المواد، واتجاه المبنى، وأنماط الازدحام. كما أكدت الدراسة أن أدوات مثل Autodesk Green Building Studio وAutodesk Insight تعتمد على نماذج BIM لتوليد

تحليلات طاقة فورية، وتستخدم لمحاكاة استجابة أنظمة HVAC لظروف تشغيل مختلفة، وبالتالي دعم اتخاذ قرارات مبنية على البيانات.

- من أبرز ما ناقشته المراجعة هو المرونة التصميمية التي يوفرها BIM عند حدوث تغيرات في الأحمال الحرارية أو وظائف الغرف أو التصميم المعماري. فقد أوضحت الدراسة أن الاعتماد على نموذج BIM مركزي يسمح بإعادة تقييم الأداء الطاقوي بشكل شبه فوري عند أي تعديل في التصميم، مثل تغيير توزيع الفراغات أو استبدال مواد الواجهات. وهذا يمنح فرق التصميم قدرة استجابة عالية، حيث يمكنهم تقييم تأثير كل تغيير على استهلاك الطاقة وعلى أداء نظام HVAC، دون الحاجة إلى إعادة نمذجة كاملة من الصفر. كما أشارت الدراسة إلى التحديات في التكامل البيني بين BIM وBEM، مشيرة إلى أن تنسيقات التبادل مثل IFC وgbXML لا تزال تعاني من قيود في نقل بيانات الأنظمة المعقدة، مثل (Combined Heat and Power (CHP، أو التفاصيل الدقيقة للتحكم في أنظمة HVAC. ومع ذلك، خلص الباحثون إلى أن الاتجاه نحو النماذج الديناميكية والقابلة للتحديث، مثل Digital Twins، يُعد خطوة استراتيجية نحو تحقيق مرونة تامة في التصميم والتشغيل.
- وبالتالي، تُعد هذه المراجعة مرجعاً مهماً يُظهر كيف يمكن لـ BIM أن يتجاوز كونه أداة تصميم معماري ليصبح منصة تكاملية تُساهم في تطوير حلول HVAC أكثر كفاءة ومرونة، وتدعم تحقيق أهداف الاستدامة منذ المراحل المبكرة من المشروع.

## 2-1-2- الدراسة الثانية:

اسم البحث:	Optimizing Building Energy Modeling (BEM) Workflow through Integrating HVAC systems Design and Building Information Modeling (BIM) using gbXML Schema Version 6.01
السنة:	2023
الناشر:	
المجلة:	Carnegie Mellon University
عدد الاستشهادات:	1

- استعرضت دراسة (Sun) الفجوة الحرجة في سير عمل التصميم المتكامل بين نمذجة معلومات البناء (BIM) ونمذجة أداء المباني (BEM)، مع تركيز دقيق على قدرة BIM على دعم تصميم أنظمة (HVAC). بينت أن الممارسة الشائعة تقتصر على استيراد بيانات الهندسة من نماذج BIM إلى أدوات التحليل الطاقى، بينما تُعاد إنشاء تفاصيل أنظمة HVAC يدويًا، مما يُفقد الميزة الأساسية لـ BIM، وهي التماسك والاتساق في تدفق المعلومات. وأشارت إلى أن هذا التدفق غير المكتمل يُسهم في مشكلات شائعة مثل تصميم أنظمة HVAC الأكبر من اللازم (Oversizing)، واستهلاك الطاقة الزائد، وانخفاض معدلات الرضا الحراري.
- حللت الدراسة التحديات التقنية التي تعيق تكامل بيانات HVAC في سير عمل BIM-BEM من خلال تحليل تفصيلي لقواعد رسم الخرائط بين نموذج (IDF) EnergyPlus ومخطط gbXML (الإصدار 6.01). كشف التحليل عن ثلاث عقبات رئيسية: غياب عناصر تمثيلية لبعض مكونات الأنظمة الحرارية، وصعوبة تفسير منحنيات أداء المعدات، وتعقيد العلاقات المرجعية بين العناصر في مخطط gbXML. ومن ثم، اقترحت إعادة تعريف هذه القواعد بنموذج هرمي من الأسفل إلى الأعلى، يربط المساحات (Spaces) بالمعدات، والمناطق (Zones) بالنظام الأساسي، مما يُبسط عملية التكامل ويجعلها أكثر قابلية للتوثيق.
- تناولت الدراسة بشكل مباشر مفهوم المرونة التصميمية، وربطته بقدرة نموذج البيانات على استيعاب التغيرات. أكدت أن المرونة الحقيقية لا تتحقق إلا من خلال تبادلية كاملة للبيانات، تسمح بأتمتة التحديثات. فعندما تتغير وظيفة الغرفة أو يُعدّل عزل الغلاف أو تُستبدل معدات HVAC، يجب أن يُعكس هذا التغيير تلقائيًا في نموذج الأداء. وتم التحقق من هذا المفهوم من خلال دراسة حالة على مبنى مكتبي، حيث أُدخل نموذج gbXML المُحدّث (الذي يحتوي على بيانات HVAC واقعية) إلى بيئة OpenStudio/EnergyPlus. أظهرت النتائج تحسّنًا في دقة محاكاة استهلاك الطاقة مقارنةً بنموذج يستخدم أنظمة مثالية، مما يثبت إمكانية تحسين دقة التحليل من خلال دمج بيانات أنظمة HVAC من BIM.
- أكدت الدراسة على أن القيمة الجوهرية لـ BIM لا تكمن في النموذج ثلاثي الأبعاد، بل في قدرته على أن يكون نموذجًا معلوماتيًا ديناميكيًا يُحدث حلقة مغلقة بين التصميم والتحليل. وقدمت إطارًا عمليًا لتحويل gbXML من مجرد ناقل للهندسة إلى وسيلة لتبادل كامل للمعلومات، بما في ذلك تفاصيل الأنظمة الحرارية. ورغم أن التحقق كان محدودًا بجزء من بيانات النظام (مثل بيانات الغلاية)، فإن النهج المنهجي لتشخيص المشكلة واقتراح حل موثق يُعدّ إسهامًا مهمًا في تطوير سير عمل تصميم متكامل. وتم التلميح إلى أن إكمال هذا التكامل يتطلب تغطية شاملة لجميع بيانات الأداء، مثل منحنيات كفاءة المضخات والمبردات، وتوسيع نطاق التحليل ليشمل تقييمات الراحة الحرارية الكمية، مثل حساب قيم PMV، وهو ما يفتح المجال لدراسات مستقبلية أكثر شمولاً.

Enhancing Energy Efficiency and Building Performance through BEMS–BIM Integration	اسم البحث:
2023	السنة:
MPDI	الناشر:
Energies	المجلة:
31	عدد الاستشهادات:

- أجرى الباحثون (Kozlovska et al., 2023)مراجعة علمية شاملة لتقييم إمكانات دمج نمذجة معلومات البناء مع أنظمة إدارة الطاقة في المباني، مع التركيز على الدور التأسيسي لـ BIM في دعم تصميم وتشغيل أنظمة BEMS ، لا سيما أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء . أوضح الباحثون أن BIM يتجاوز كونه أداة تصميم معمارية ليُشكّل العمود الفقري الرقمي لتصميم نظام BEMS ، حيث يتم ربط بيانات نقاط القياس (كقراءات المستشعرات واستهلاك الكهرباء) بنموذج BIM الدقيق، الذي يُصدر غالبًا بتنسيق IFC لضمان التوافق بين الأنظمة. يُمكن هذا الدمج مصممي أنظمة BEMS من إجراء تحليلات أداء طاقي مبكرة ودقيقة، مما يُسهّم في اتخاذ قرارات حاسمة تتعلق بحجم الأنظمة (System Sizing) ، وتوجيه المبنى، وتصميم الغلاف، وكلها عوامل تؤثر بشكل مباشر على كفاءة أنظمة HVAC ، وبالتالي يتحول BIM من مجرد نموذج بصري إلى منصة ديناميكية لمحاكاة وتحسين الأداء الطاقي قبل بدء التشغيل.
- من أبرز الجوانب التي تميز هذه الدراسة هو تأكيدها على المرونة التصميمية والتشغيلية التي يوفرها هذا الدمج. فقد بينت أن النظام المتكامل يُمكن من التكيف الفعّال مع التغيرات في دورة حياة المبنى. فعند حدوث تغييرات في الأحمال (مثل تحويل غرفة من مكتب إلى مركز بيانات، أو تغيير أنماط الازدحام)، يمكن لمديري المرافق استخدام نموذج BIM لتحديد تأثير هذه التغيرات على استهلاك الطاقة، وتعديل جداول التحكم في أنظمة HVAC بشكل دقيق. كما أشار الباحثون إلى أن التحديثات على النظام (مثل استبدال مستشعرات أو إجراء تجديدات) يمكن إدارتها بسهولة، حيث يتم تحديث النموذج الرقمي بشكل محلي دون الحاجة لإعادة بناء النظام بالكامل، مما يُقلل من التعقيد ويوفر الوقت والتكلفة على المدى الطويل.
- تُعد هذه المراجعة إضافة قيمة للحقل البحثي، حيث تقدم تحليلاً بيبيومترياً دقيقاً يُظهر اتجاهات البحث العالمية، وتُقدم نظرة شاملة تجمع بين الجوانب النظرية والتطبيقية من خلال عرض دراسات حالة واقعية (مثل تحويل

ميناء أنزويو إلى منطقة طاقة صفرية). كما تُبرز الدراسة التحديات التقنية والتنظيمية، مثل التوافقية ونوعية البيانات، وتُقدم توصيات عملية للتغلب عليها، مما يُعزز من مصداقية وقيمة النتائج.

- من جهة أخرى، تُظهر الدراسة تركيزاً قوياً على الجوانب التقنية للدمج، بينما تُبقي على مسافة من مناقشة التحديات البشرية والتنظيمية بشكل معمق، مثل مقاومة التغيير من قبل المشغلين، أو نقص المهارات في الفرق الحالية، وهي عوائق عملية شائعة في التنفيذ. كما أن الإشارة إلى "الاختلافات الدلالية بين التخصصات" كمصدر لعدم اليقين تُقر بوجود فجوة، لكنها لا تُقدّم إطاراً مفصلاً لكيفية توحيد المصطلحات والمناهج بين مهندسي HVAC ومهندسي BIM ومشغلي الأنظمة، وهي خطوة ضرورية لضمان سلاسة التعاون. أخيراً، وعلى الرغم من الإشارة إلى أهمية تحليل عدم اليقين، فإن الدراسة لا تُعمق في مناقشة كيفية تضمين هذا التحليل في مرحلة التصميم الأولية لنظام BEMS، والذي يُعد ضرورياً لضمان موثوقية التنبؤات في ظل ظروف التشغيل المتغيرة.

- بالتالي، تُقدم هذه المراجعة العلمية تحليلاً قوياً ومتوازناً للإمكانيات التحويلية لدمج BIM-BEMS، وتؤكد على الدور المحوري لـ BIM في توجيه تصميم أنظمة الطاقة، وتوفر رؤية واضحة حول المرونة التي يوفرها هذا الدمج. ومع ذلك، فإن المجالات التي لم تُستكشف بالكامل، مثل التحديات التنظيمية والمنهجيات التفصيلية لتحليل عدم اليقين، تُشير إلى فرص بحثية مهمة يمكن لدراسات لاحقة أن تُساهم في سدها.

#### 2-1-4- الدراسة الرابعة:

اسم البحث:	BIM-based analysis of energy efficiency design of building thermal system and HVAC system based on GB50189-2015 in China
السنة:	2021
الناشر:	International Journal of Low-Carbon
المجلة:	academic.oup.com
عدد الاستشهادات:	30

- قام الباحثون (Zhao et al., 2021) في هذه المقالة بدراسة تطبيق الـ (BIM) في تصميم كفاءة الطاقة لأنظمة التدفئة والتهوية والتكييف مع التركيز على تكامل التحليل الطاقى مع عملية التصميم. استخدم الباحثون منهجية مُحسَّنة تجمع بين منصة BIM وطريقة الحكم بالمقايضة (Trade-off) الواردة في المعيار الصيني GB50189-2015، حيث تم دمج نموذج Revit مع برنامج المحاكاة Ecotect لدراسة تأثير معايير الغلاف الخارجي على أحمال التبريد والتدفئة. وقد أظهرت النتائج أن هذه الطريقة تُمكن من تحديد التوليفة المثلى للغلاف، مما يُساهم في تحسين كفاءة الطاقة منذ المراحل الأولية للتصميم. بالنسبة لتصميم أنظمة HVAC، بين الباحثون أن توظيف BIM يتيح بيئة تفاعلية لفحص الاتصالات المادية والمنطقية بين عناصر النظام، واكتشاف التصادمات، وتحليل الأداء الهيدروليكي والهوائي. كما أن الطبيعة البارامترية للنموذج تسمح بتحديثات تلقائية في جميع مكونات المشروع عند إجراء أي تعديل، مثل تغيير موقع وحدة تكييف أو تعديل قطر أنبوب، مما يقلل من الحاجة إلى التعديلات اليدوية المتكررة، ويسهل التعامل مع التغيرات في وظائف المساحات أو متطلبات الأحمال. ومع ذلك، لاحظ الباحثون تحديات تتعلق باستمرارية واتساق البيانات عند تبادل النماذج بين برامج مختلفة، حيث أظهرت نتائج المحاكاة تبايناً في بعض الفصول، ما يشير إلى ضعف في تدفق المعلومات. كما أشاروا إلى أن طريقة حساب الأحمال في Revit تعتمد على معايير أمريكية (ASHRAE)، في حين أن التصميم في الصين يخضع لمعيار GB50736-2012، مما يمنع استخدام نتائج المحاكاة مباشرة في التصميم. بالإضافة إلى ذلك، ركّز الباحثون على نقص المكتبات البارامترية (families) في برنامج Revit، حيث يضطر المصممون إلى إنشاء نماذج مخصصة لكل معدات HVAC، مما يزيد من عبء العمل ويقلل من الكفاءة. تُقدّم هذه الدراسة إطاراً تطبيقياً لكيفية دعم BIM لتصميم أنظمة HVAC بكفاءة، مع التأكيد على أهمية التكامل بين النمذجة والمحاكاة، وتحديد التحديات التقنية والتنظيمية التي تواجه تعميم هذه التقنية، خاصة في السياقات الخاضعة لمعايير وطنية محددة.

## 2-1-5- الدراسة الخامسة:

اسم البحث:	BIM and BEM Methodologies Integration in Energy-Efficient Buildings Using Experimental Design
السنة:	2021
الناشر:	MDPI
المجلة:	Buildings



- انطلق الباحثون (González et al., 2021) في هذه الدراسة من إدراكهم لأهمية التكامل بين نمذجة معلومات البناء (BIM) ونمذجة أداء المبنى من حيث الطاقة (BEM) كأحد السبل الفعالة لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في المباني السكنية، خاصة في المراحل المبكرة من التصميم. وركزوا على تقييم تأثير عوامل متعددة تشمل كفاءة الإضاءة، استهلاك الأجهزة الكهربائية (الحمل الموصول)، وأنواع أنظمة التبريد والتدفئة والتهوية على مؤشر كثافة استهلاك الطاقة (EUI)، وذلك عبر تطبيق منهجية التصميم التجريبي (Experimental Design) على نموذج سكني تم نقله من (Revit) إلى أداة (Insight) لإجراء المحاكاة الطاقية، مع تحليل النتائج إحصائياً باستخدام برنامج Minitab، واعتماد تحليل التباين (ANOVA) والانحدار الخطي لتحديد العوامل الأكثر تأثيراً
- تُعدّ الدراسة إضافة مهمة إلى أدبيات دمج منهجيتي BIM و BEM، حيث أظهرت كيف يمكن لنموذج BIM أن يتجاوز كونه أداة تمثيل هندسي ليصبح منصة مركزية تُغذي نمذجة الأداء الطاقية ببيانات دقيقة ومنظمة، مما يُقلل من أخطاء التبادلية التي تُعاني منها الدراسات المعتمدة على نقل يدوي للبيانات أو عبر صيغ مثل gbXML. ويُبرز الباحثون الدور المحوري لأنظمة HVAC في استهلاك الطاقة، حيث تُظهر النتائج هيمنة تأثيرها، خاصة في المناخات الحارة مثل دبي، مما يُسهم في توجيه التصميم نحو تحسين كفاءة هذه الأنظمة منذ البداية.
- كما تُظهر الدراسة قدرة النموذج الرقمي على التكيف مع تعديلات في معايير التصميم، مثل كفاءة الإضاءة أو حمل الأجهزة أو نوع نظام التكييف، مع تحديث تلقائي للنتائج الطاقية. ويدعم هذا التكيف الاعتماد على تصنيف "نوع الفراغ" (Space Type)، الذي يُمكن من ربط كل فراغ بكثافات أحمال حرارية وجدول استخدام محددين، مما يُسهّل التعامل مع التغيرات في وظائف الغرف، ويُقلل الجهد اليدوي، ويُظهر كيف يمكن لـ BIM أن يُصبح أداة ديناميكية لدعم اتخاذ القرار.
- مع ذلك، تُشير الدراسة إلى جوانب تتطلب مزيداً من التأمل، منها اقتصار التطبيق على بيئة أوتوديسك ونموذج سكني واحد، ما قد يُقلل من قابلية التعميم. كما أن الاعتماد على خصائص مواد من مصادر خارجية، مع غياب المعايير الميدانية، يُبقي مجال التساؤل حول دقة التمثيل الحراري. إضافة إلى تثبيت متغيرات مؤثرة أخرى (كنسبة الفتحات والعزل)، وإغفال تأثير سلوك المستخدمين، رغم أهميته في الأداء الفعلي.
- بشكل عام، تُقدّم الدراسة إطاراً منهجياً متماسكاً يُسهم في تعزيز التكامل بين التصميم والتحليل الطاقية، ويُظهر كيف يمكن لدمج BIM و BEM مع التحليل الإحصائي أن يُسهم في تحسين الكفاءة الطاقية من خلال قرارات

مبنية على البيانات، خاصة في تقييم أنظمة HVAC. ورغم بعض القيود، فإن المنهجية تمثل خطوة عملية نحو تصميم أكثر تكاملاً واستدامة، وتُشكل نموذجاً قابلاً للتعميم على مشاريع مختلفة.

## 2-1-6- الدراسة السادسة:

اسم البحث:	Automatically creating HVAC control strategies based on Building Information Modeling (BIM): Heat provisioning and distribution
السنة:	2020
الناشر:	MDPI
المجلة:	Energies
عدد الاستشهادات:	24

- تقدم (Sporr et al., 2020) مساهمة متميزة في مجال تكامل نمذجة معلومات البناء (BIM) مع أنظمة إدارة وتشغيل المباني (BEMS)، حيث تتجاوز الاستخدام التقليدي لـ BIM في التصميم المعماري والهندسي. تركز الدراسة على تصميم أنظمة التحكم في أنظمة (HVAC)، وتُظهر كيف يمكن استخدام بيانات نموذج BIM القائم على معيار IFC (معيار فئات أسس الصناعة) لإنشاء تلقائي واستخراج لاستراتيجيات التحكم الكاملة، بدءاً من توريد الحرارة (مثل مضخات الحرارة، المراجل الغازية، وأنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية) وصولاً إلى نظام التوزيع (مثل التدفئة الأرضية). هذا التحول من نموذج تصميم إلى "مصدر بيانات تشغيلية" يُمكن من أتمتة عملية برمجة أنظمة BEMS، مما يقلل بشكل كبير من الجهد اليدوي والتكلفة المرتبطة بمرحلة التكليف، ويرتقي بـ BIM ليصبح أداة محورية في دورة حياة المبنى.
- تُظهر الدراسة بوضوح كيف يمكن للنهج القائم على BIM التكيف بسلاسة مع التغيرات التصميمية. كما يوضح الباحثون في المقالة فإن من الممكن التفاعل بسرعة مع التغيرات في المواصفات عن طريق إعادة تشغيل الخوارزمية بناءً على بيانات النموذج المحدثة هذا يعني أن أي تعديل في أحمال الطاقة، أو تغيير في وظيفة الغرف، أو إعادة هيكلة لنظام التوزيع، يمكن دمجه بسهولة في نموذج BIM، ثم تُستخدم الخوارزمية لاستخلاص استراتيجية تحكم جديدة تلقائياً. هذه القدرة على التكيف الديناميكي تمثل تقدماً كبيراً مقارنةً بالأساليب اليدوية، حيث تُوفر وقتاً وموارد هائلة خلال مراحل التخطيط التكراري. ومع ذلك، يجب الإشارة إلى أن هذه المرونة تُثبت

من خلال محاكاة، ولا تزال بحاجة إلى تحقق من خلال تطبيق عملي على مشاريع حقيقية من مرحلة التصميم إلى التشغيل.

## 2-1-7 الدراسة السابعة:

اسم البحث:	Automated HVAC Control Creation based on Building Information Modeling (BIM): Ventilation System
السنة:	2019
الناشر:	IEEE access
المجلة:	IEEE explore
عدد الاستشهادات:	34

- قام (Sporr et al., 2019) في دراستهم بطرح منهجية آلية لإنشاء استراتيجيات تحكم لأنظمة التهوية (HVAC) بالاعتماد مباشرة على بيانات نموذج BIM بصيغة IFC، مؤسعين بذلك نطاق تطبيق الـ BIM من مرحلة التصميم والبناء إلى مرحلة التشغيل والتحكم. ركز الباحثون على نظام التهوية القائم على جودة الهواء الداخلي، معتمدين على تركيز ثاني أكسيد الكربون ( $CO_2$ ) كمؤشر رئيسي، وطوّروا تدفق عمل آلي يبدأ باستخراج بيانات الغرف، النوافذ، الأبواب، والمستشعرات والمحركات من ملفات IFC، ثم يكمل البيانات الناقصة باستخدام معايير وطنية (مثل ÖNORM EN 16798-3) لتقدير عدد الأشخاص، تدفق الهواء، وساعات التشغيل. بناءً على هذه البيانات، تم إنشاء "استراتيجية تحكم أولية" تلقائيًا باستخدام مكتبة من وحدات التحكم في بيئة محاكاة (Simulink)، مع نماذج فيزيائية لسلوك انتشار  $CO_2$ .
- تُبرز الدراسة المرونة التصميمية التي يوفرها الـ BIM عند حدوث تغييرات في استخدامات المبنى، مثل تعديل وظائف الغرف أو أحمال التهوية، حيث يمكن لأي تحديث في نموذج الـ BIM أن يُترجم تلقائيًا إلى تعديل في استراتيجية التحكم دون تدخل يدوي. كما تناول الباحثون إمكانية تحسين النظام لاحقًا باستخدام بيانات التشغيل، مثل اكتشاف أعطال المستشعرات أو تعديل نقاط الضبط ديناميكيًا لتحسين الراحة وتقليل استهلاك الطاقة.

- تُعد هذه الدراسة مثالاً مهماً على التكامل بين BIM و BEMS، وتُظهر كيف يمكن للبيانات البنائية أن تكون حجر الأساس في تصميم أنظمة تحكم ذكية وقابلة للتكيف، مع تحقيق مزايا كبيرة في تقليل الأخطاء البشرية، وخفض تكاليف التصميم والصيانة، وتحسين كفاءة الطاقة وراحة المستخدمين.
- رغم ذلك، تواجه الدراسة بعض القيود، منها الاعتماد الكبير على جودة البيانات في نموذج الـ BIM، والتي غالباً ما تكون غير مكتملة أو غير قياسية، خاصةً فيما يتعلق بمكونات الـ HVAC. كما اقتصرَت على أنظمة التهوية دون التطرق إلى التدفئة أو التبريد، ولم تأخذ في الاعتبار التغيرات الديناميكية في الأحمال الحرارية.
- إجمالاً، تُعد الدراسة إضافة قيمة في مسار التحول الرقمي للمباني الذكية، وتُظهر إمكانيات هائلة لاستخدام الـ BIM كأداة ديناميكية لتصميم وتحديث أنظمة الـ BEMS، مع الحاجة إلى توحيد دولي أفضل لبيانات الـ HVAC في معايير IFC وتطوير أدوات أكثر ذكاءً للتعامل مع التغيرات التشغيلية.

## 2-1-8 الدراسة الثامنة:

اسم البحث:	Use Cases for Improved Analysis of Energy and Comfort Related Parameters Based on BIM and BEMS Data
السنة:	2018
الناشر:	springer
المجلة:	
عدد الاستشهادات:	13

- تُقدّم دراسة (Petrushevski et al., 2018) إطاراً مفاهيمياً لتعزيز كفاءة تشغيل المباني من خلال دمج نمذجة معلومات البناء (BIM) مع أنظمة إدارة طاقة المباني (BEMS)، مع تركيز واضح على تحسين تحليل مؤشرات الطاقة والراحة. تُعد هذه الدراسة مرجعاً مهماً حيث تُظهر كيف يمكن لنموذج BIM أن يتجاوز دوره التقليدي في مراحل التصميم ليصبح أداة دعم قرار فعالة خلال مرحلة التشغيل.
- تُبرز الدراسة أن دورة حياة المبنى تشهد تغيرات متكررة في الاستخدام، مما يستدعي أنظمة مرنة قادرة على التكيف. في هذا السياق، يُمكن لنموذج BIM، عند دمجهِ مع بيانات BEMS، أن يُمكن من تحليل ديناميكي يدعم التكيف مع التغيرات في وظائف المساحات أو في أنماط الاستخدام. ورغم أن الدراسة لا تركز على التفاصيل الهندسية لتصميم أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC)، فإنها تُظهر بوضوح كيف يُمكن

لـ BIM دعم تشغيلها وتحسين أدائها. فعلى سبيل المثال، تُستخدم حالات الاستخدام (UC7) و (UC8) لعرض كيفية التحقق من تطابق نظام التهوية مع التصميم الأصلي، أو اقتراح تهئية جديدة لنظام التحكم عند تغيير وظيفة غرفة. هذه العمليات تمثل شكلاً من أشكال المرونة التصميمية، تعتمد على توفر نموذج BIM غني بالمعلومات الدلالية، يربط بين الكائنات المعمارية ووظائفها ومتطلباتها التشغيلية.

- كما تظهر الدراسة إمكانية استخدام النموذج الديناميكي (Dynamic BIM) في رصد التغيرات في استهلاك الطاقة أو في اكتشاف الشذوذ عبر عرض بيانات أجهزة الاستشعار في سياقها المكاني (UC1)، أو عبر مقارنة البيانات الحية مع نتائج محاكاة الطاقة (UC3). هذه القدرات تُسهم في اتخاذ قرارات استباقية، خاصة عند حدوث تغيرات في الأحمال الحرارية بسبب إضافة معدات أو تغيير في كثافة الاستخدام.
- مع ذلك، تشير الدراسة إلى أن هذه الإمكانيات لا تُستغل بالكامل في الممارسة الحالية. فالنماذج غالباً ما تفتقر إلى التفاصيل الدلالية اللازمة لدعم التشغيل، مثل تحديد العلاقة الدقيقة بين صمام معين وغرفة محددة، أو ربط نقطة بيانات في BEMS بموقعها في النموذج. كما أن التكامل بين BIM و BEMS لا يزال يفتقر إلى معايير موحدة، ما يُصعب بناء نماذج متكاملة قابلة للتشغيل التلقائي.
- تُقدّم هذه الدراسة رؤية واضحة لاتجاه مستقبلي يُدمج فيه النموذج البنائي مع البيانات التشغيلية، لكنها في الوقت نفسه تُسلط الضوء على الفجوة بين الإمكانيات النظرية والواقع العملي. فالتحول نحو مباني ذكية ومرنة يتطلب تطوير بيئة معلوماتية متكاملة، حيث يُبنى النموذج ليس فقط لعرض الشكل، بل لتمثيل الوظيفة والسلوك، ويُحدّث باستمرار ليعكس حالة المبنى الحقيقية. وهذا يُشكل دعوة للعمل على تطوير نماذج دلالية أكثر ثراءً وبروتوكولات تكامل أكثر كفاءة، لتمكين تحقيق وعود النمذجة المعلوماتية للبناء في دعم التصميم والتشغيل الذكيين.

## 2-2 القسم الثاني: لمحة عن أنظمة إدارة الطاقة في المباني:

### 2-2-1 مقدمة:

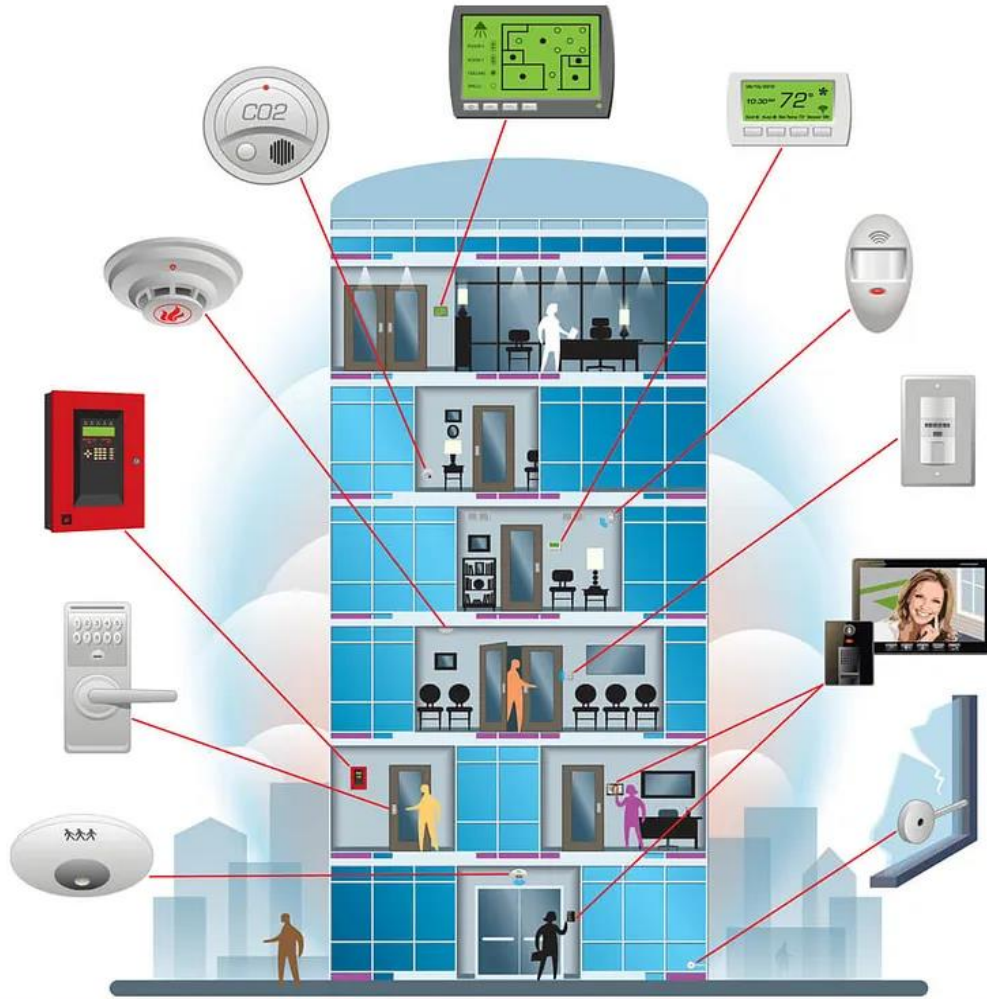
من المتوقع أن يزداد الطلب على الطاقة في المباني بأكثر من 40% خلال العقدين المقبلين، مدفوعًا بالنمو العمراني وتوسع استخدام التقنيات المعتمدة على الكهرباء. وتُعد الكهرباء المصدر الرئيسي للطاقة في المباني، ما يجعل تحسين كفاءتها أولوية ملحة ضمن استراتيجيات الاستدامة. في المباني السكنية، يُعزى الجزء الأكبر من الاستهلاك إلى الأجهزة المنزلية، وتسخين المياه، وتدفئة المساحات، في حين تتركز مصادر الاستهلاك في المباني غير السكنية على تدفئة المساحات والمعدات التقنية المتنوعة. في هذا الإطار، تبرز أنظمة إدارة طاقة المباني (Building Energy Management Systems) كحل ذكي يتيح تتبع وتحليل وضبط أنماط الاستهلاك الطاقوي بكفاءة عالية. وتوفر هذه الأنظمة إمكانيات متقدمة لتخصيص استراتيجيات الإدارة بما يتلاءم مع طبيعة كل مبنى، مما يساهم في تقليل الهدر وتحقيق وفورات ملموسة. (Mariano-Hernández et al., 2021)

### 2-2-2 تعريف أنظمة إدارة طاقة المباني:

هو منظومة رقمية ذكية تجمع بين تقنيات الاستشعار، والتحكم، والتحليل، بهدف مراقبة وتحسين الأداء الطاقوي للمباني بكفاءة واستدامة. يتكوّن النظام من وحدات مادية (مثل المستشعرات، والمحولات، ووحدات التحكم) ونظم برمجية تعتمد على خوارزميات تحليلية واتخاذ القرار في الزمن الحقيقي. (Ock et al., 2016)

يُمكن BEMS من الإدارة المتكاملة لاستهلاك الطاقة عبر جميع أنظمة المبنى، مثل التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC)، والإضاءة، والمعدات الكهربائية، والطاقة المتجددة، وذلك استنادًا إلى معايير الراحة الحرارية، والجودة البيئية الداخلية، والجودة الاقتصادية.

ويمثل هذا النظام أداة استراتيجية محورية في التحول نحو المباني الذكية والمستدامة، إذ يساهم في خفض استهلاك الطاقة والانبعاثات المصاحبة، وتحقيق وفورات تشغيلية ملموسة، مع الحفاظ على كفاءة التشغيل وسلامة المستخدمين. (Digitemie & Ekemezie, 2024)



الشكل (1-2): أنظمة BEMS

### 3-2-2 التطور التاريخي لأنظمة BEMS:

شهدت أنظمة إدارة طاقة المباني (Building Energy Management Systems – BEMS) تطوراً تدريجياً على مدار العقود الماضية، مدفوعاً بزيادة الوعي بأهمية كفاءة الطاقة، وتطور تقنيات الحوسبة والتحكم، والحاجة المتزايدة إلى تقليل الانبعاثات وتحقيق الاستدامة. ويمكن تتبع مراحل تطور هذه الأنظمة على النحو التالي:



- **السبعينات:** انطلقت كرد فعل لأزمة الطاقة 1973، بقدرات محدودة للتحكم في أنظمة HVAC عبر وحدات PLC مرتفعة التكلفة.
- **الثمانينات-التسعينات:** ظهور أنظمة أتمتة المباني (BAS) التي وفرت تحكمًا مركزيًا باستخدام الحساسات والعدادات الرقمية لمتابعة البيانات وتحسين الإدارة إشرافياً.
- **2000-2010:** تطورت الأنظمة لتشمل التحليل والتوصيات التشغيلية عبر خوارزميات وواجهات رسومية تفاعلية.
- **2010-2020:** تكاملت مع الشبكات الذكية وإنترنت الأشياء، واستخدمت الحوسبة السحابية للتحكم اللحظي والتنبؤي.
- **2020-الآن:** تعتمد على الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي للتنبؤ بالاستهلاك وتكييف التشغيل، وأصبحت أساساً للمباني الذكية والصفيرية الطاقة، داعمةً للاستدامة وتقليل الانبعاثات. (Digitemie & Ekemezie, 2024)

## 2-2-4 الفرق بين EMS, BAS, BEMS:

تتشارك أنظمة إدارة طاقة المباني (BEMS)، وأتمتة المباني (BAS)، وإدارة الطاقة (EMS) في كونها أنظمة تُستخدم لتحسين أداء المباني والتحكم في استهلاك الطاقة، لكنها تختلف فيما بينها من حيث الوظائف الأساسية، ومستوى التكامل، ونطاق التطبيق. وسنشرح فيما يلي الفروقات بينها:

### 2-2-4-1 نظام إدارة طاقة المباني:

**(Building Energy Management System – BEMS)** هو نظام ذكي يُستخدم خصيصاً لمراقبة وتحليل والتحكم في استهلاك الطاقة داخل المبنى بهدف تحسين الكفاءة الطاقية وتقليل الفاقد دون التأثير على الراحة أو السلامة. يعتمد BEMS على أجهزة استشعار، ووحدات تحكم، وبرمجيات تحليلية تعمل في الزمن الحقيقي، لتقديم قرارات تشغيلية فعّالة، مثل تعديل أحمال HVAC أو تنظيم أوقات التشغيل. غالباً ما يُدمج BEMS مع أنظمة BAS، إلا أنه يتجاوز مجرد التشغيل الآلي ليركز على تحسين الأداء الطاقى وتحقيق وفورات مالية وبيئية.



## 2-4-2-2 نظام أتمتة المباني:

**(Building Automation System – BAS)** هو النظام المسؤول عن التحكم المركزي والتشغيل الآلي لمختلف أنظمة المبنى، مثل الإضاءة، التكييف، التهوية، المصاعد، أنظمة الأمان، وأجهزة الكشف عن الحريق. يعمل BAS من خلال برمجة منطقية تعتمد على الجداول الزمنية أو مستويات الإشغال، ويهدف إلى تحقيق راحة المستخدمين وكفاءة التشغيل، وليس بالضرورة تحسين كفاءة استهلاك الطاقة. بمعنى آخر، BAS هو البنية التحتية التقنية التي تتيح التحكم بالأجهزة، بينما يحتاج إلى أنظمة أخرى كـ BEMS لإجراء التحليلات الطاقية (O'Grady et al., 2021).

## 2-4-2-3 نظام إدارة الطاقة:

**(Energy Management System – EMS)** يُستخدم EMS غالبًا في المنشآت الصناعية الكبرى أو على مستوى شبكات الطاقة، ويُركز على تخطيط وإدارة استهلاك الطاقة على نطاق واسع. يقوم EMS بوظائف مثل مراقبة الأحمال الكهربائية، تحسين الجدولة بين مصادر الطاقة (مثل الشبكات والمولدات والطاقة المتجددة)، وتنفيذ استراتيجيات إدارة الطلب (Demand Response). يُعتبر EMS أكثر شمولًا من BEMS، إذ يتعامل مع عدة مبانٍ أو منشآت في وقت واحد، وغالبًا ما يكون متصلًا بأنظمة الطاقة الوطنية أو الإقليمية. (O'Grady et al., 2021; Zahraoui et al., 2021)

الجدول (1-2): يوضح الفرق بين أنظمة BEMS و BAS و EMS

إدارة طاقة المباني BEMS	أتمتة المباني BAS	إدارة الطاقة EMS	
تحسين كفاءة استهلاك الطاقة	التشغيل التلقائي لأنظمة المبنى	إدارة الطاقة على نطاق واسع (شبكات/مرافق)	الهدف الأساسي
مبنى واحد (أو مجموعة صغيرة من المباني)	مبنى واحد أو منشأة	شبكة طاقة أو منشآت صناعية متعددة	النطاق التشغيلي

الوظائف الرئيسية	تحليل بيانات الطاقة، ضبط الأحمال	تشغيل تلقائي لأنظمة HVAC والإضاءة وغيرها	إدارة الأحمال، التوليد، الشبكات الذكية
التركيز على الطاقة	تركيز عالٍ على كفاءة الطاقة	تركيز منخفض أو غير مخصص للطاقة	تركيز عالي يشمل التوليد والتوزيع
التكامل مع الأنظمة الأخرى	يتكامل عادة مع BAS	يمكن أن يعمل مستقلاً أو مع BEMS	يتكامل مع SCADA ، الشبكات، والمولدات

## 2-2-5 مكونات نظام إدارة الطاقة:

### 2-2-5-1 المكونات الفيزيائية (المادية): Hardware Components

#### 1. المستشعرات (Sensors):

المستشعرات هي "عيون" النظام، حيث تقيس المتغيرات الفيزيائية وترسلها إلى وحدة التحكم أو النظام المركزي. تشمل:

أ. مستشعرات درجة الحرارة:

- تقيس حرارة الهواء أو الأسطح داخل وخارج المبنى.
- تُستخدم للتحكم في التكييف والتدفئة.

ب. مستشعرات الرطوبة: (Humidity Sensors)

- تقيس نسبة الرطوبة في الجو.
- مهمة في الأماكن التي تحتاج إلى تحكم دقيق مثل المختبرات أو غرف العمليات.

ج. مستشعرات الضوء: (Lux Sensors)

- تقيس شدة الإضاءة الطبيعية داخل المساحات.
  - تُستخدم لضبط الإضاءة الاصطناعية تلقائيًا لتوفير الطاقة.
  - د. مستشعرات الحركة / الإشغال: (Occupancy/Presence Sensors)
    - تحدد وجود الأشخاص في الغرفة أو المنطقة.
    - تُستخدم لإطفاء الأنظمة غير الضرورية تلقائيًا عند عدم الاستخدام (مثل الإضاءة أو التكييف).
  - هـ. مستشعرات جودة الهواء: (IAQ Sensors)
    - تقيس مستويات ثاني أكسيد الكربون ( $CO_2$ )، المركبات العضوية المتطايرة (VOCs)، الجسيمات الدقيقة ( $PM_{2.5}$ ) ، وغيرها.
    - تُستخدم لتهوية المبنى بنقاء بناءً على جودة الهواء.
  - و. مستشعرات استهلاك الطاقة: (Energy Meters / Power Sensors)
    - تقيس استهلاك الكهرباء بالواط أو الكيلوواط، لكل منطقة أو جهاز.
    - تُستخدم لرصد الأداء وتحليل الاستهلاك.
  - ز. مستشعرات المياه والتدفق
    - تقيس تدفق المياه وسرعته ودرجة حرارته (للمياه الساخنة والمبردة).
    - مهمة لمراقبة التسريبات أو الكفاءة الحرارية.
  - ح. مستشعرات الضغط: (Differential Pressure Sensors)
    - تقيس فرق الضغط بين مناطق مختلفة.
    - تُستخدم في أنظمة التهوية لضمان التوازن الهوائي (مثل غرف العمليات). (Verma et al., 2019)
- 2. وحدات التنفيذ: (Actuators)**
- أجهزة تحول الإشارات من وحدة التحكم إلى حركة ميكانيكية (مثل فتح صمام، تشغيل محرك، تحريك بوابة هواء).
- أمثلة:**

- صمامات تحكم كهربائية (Motorized Valves)
- مخمدات هوائية (Air Dampers)
- مراوح متغيرة السرعة (VFDs – Variable Frequency Drives)

### 3. وحدات التحكم: (Controllers)

"العقل المحلي" لكل جزء من النظام. تستقبل قراءات المستشعرات وتتخذ قرارات فورية (مثل تشغيل المكيف أو تغيير سرعة المروحة).

توجد أنواع مختلفة:

- تحكم منطقي قوي في العمليات الصناعية: PLC (Programmable Logic Controllers).
- مخصصة لأنظمة المباني: DDC (Direct Digital Controllers).
- وحدات Edge Controllers الذكية المدعومة بـ AI أحياناً.

### 4. واجهة المستخدم ومحطات العمل: (HMI/Workstations)

عبارة عن حواسيب أو شاشات تعمل باللمس توفر:

- المراقبة الحية.
- الرسم البياني للبيانات.
- إرسال التنبيهات.
- تعديل الإعدادات.
- غالباً تكون مرتبطة بسيرفر مركزي أو سحابي.

### 5. شبكة الاتصالات: (Communication Network)

تربط كافة مكونات النظام ببعضها البعض وتشمل البروتوكولات التالية:

- BACnet (مفتوح المصدر وواسع الاستخدام).
- Modbus
- KNX

• Lon Works

• ZigBee / LoRa / Wi-Fi / Ethernet (للشبكات اللاسلكية/السلكية)

تحدد السرعة، الثبات، وقابلية التكامل بين الأجهزة المختلفة (Digitemie & Ekemezie, 2024).

## 2-5-2-2 المكونات البرمجية: (Software Components):

### 1. برمجيات الإدارة والتحكم المركزي (Central Management Software – CMS) :

تُستخدم لتجميع البيانات من كامل المبنى، وتوفير واجهات تحليل ذكية. تشمل المهام التالية:

- تحليل الاستهلاك.
- تحديد مناطق الهدر.
- إنشاء تنبيهات وأحداث عند الخلل.
- تتبع الأداء التاريخي.

### 2. برمجيات التنبؤ والتحليل: (AI & Analytics Engines)

تستخدم خوارزميات تحليل البيانات أو الذكاء الاصطناعي:

- لتوقع الأحمال المستقبلية.
- التوصية بخطط تحسين.
- تقييم الأداء مقابل مؤشرات KPI.

### 3. منصات المراقبة السحابية: (Cloud Platforms)

- تُستخدم للتحكم عن بُعد عبر الإنترنت.
- يمكن دمجها بتقنيات الموبايل أو الواقع المعزز في المباني الحديثة. (Digitemie & Ekemezie, 2024)

## 2-2-6 الأقسام الوظيفية الرئيسية في نظام إدارة طاقة المباني (BEMS):

يتألف نظام إدارة طاقة المباني (BEMS) من مجموعة من الوحدات الوظيفية المتكاملة، كل منها يعنى بإدارة جانب محدد من استهلاك الطاقة في المبنى. تعمل هذه الأنظمة ضمن هيكل مترابط يعتمد على

البيانات الحية، والتحكم الآلي، والتغذية الراجعة المستمرة لتحقيق أقصى درجات الكفاءة التشغيلية، وضمان بيئة داخلية مريحة ومستدامة.

### 1. نظام إدارة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء : (HVAC Management System)

أحد أكثر الأنظمة استهلاكًا للطاقة داخل المباني، ويشمل:

- التحكم الذكي في وحدات التكييف والتدفئة بناءً على بيانات درجات الحرارة، الإشغال، والرطوبة.
  - جدولة التشغيل وفقًا للأنماط الزمنية (نهار/ليل، صيف/شتاء).
  - تقنيات تحسين الحمل الحراري (Thermal Load Optimization) وتوفير التهوية حسب الطلب (Demand-Controlled Ventilation).
  - استخدام الخوارزميات التنبؤية لتحسين الكفاءة التشغيلية.
- الفائدة:** تخفيض استهلاك الطاقة بنسبة تصل إلى 30% وتحسين عمر النظام (Escrivá-Escrivá et al., 2010).

### 2. نظام إدارة الإضاءة : (Lighting Management System)

يدير هذا النظام تشغيل الإضاءة الصناعية والطبيعية بذكاء لتحقيق الراحة البصرية وتوفير الطاقة، من خلال:

- أجهزة استشعار الحركة ومستوى الإضاءة الطبيعية لضبط التشغيل تلقائيًا.
  - دعم تقنيات التعتيم التدريجي (Dimming Control).
  - جدولة زمنية مرنة بناءً على استخدام المناطق أو ساعات الذروة.
  - التحكم المركزي والمحلي لتوزيع الحمل.
- الفائدة:** تقليل استهلاك الإضاءة بنسبة قد تصل إلى 40% في بعض التطبيقات المكتبية والتعليمية. (Kumar et al., 2017)

### 3. نظام مراقبة وتحليل استهلاك الكهرباء : (Electricity Monitoring & Analytics System)

يوفر رؤية شاملة للاستهلاك الكلي والجزئي للطاقة، ويضم:

- مراقبة فورية وفصل البيانات حسب المناطق أو الأجهزة أو الأحمال.
  - تحديد فترات الذروة (Peak Demand) وتكاليف التشغيل.
  - استخدام أنظمة تحليل الطاقة (Energy Analytics) لاكتشاف الفاقد وتحسين الفعالية.
- الفائدة:** تحسين كفاءة التشغيل وتوجيه استراتيجيات الترشيح بناءً على بيانات فعلية.

#### 4. نظام إدارة الأحمال الكهربائية: (Load Management System)

- يركّز على تقليل الضغط على الشبكة الداخلية أثناء فترات الأحمال القصوى، عبر:
- تحديد أولويات التشغيل/الإيقاف للأجهزة عالية الاستهلاك.
  - الفصل التلقائي للأحمال غير الحيوية في حالات الطوارئ.
  - الموازنة الذكية للأحمال بالتكامل مع جداول الاستخدام.

**الفائدة:** تقليل الرسوم المرتبطة بالطلب العالي وتحقيق الاستقرار الكهربائي داخل المبنى.

#### 5. نظام إدارة الطاقة المتجددة: (Renewable Energy Integration System)

- خاص بالمباني التي تعتمد جزئياً أو كلياً على الطاقة الشمسية أو الهوائية، ويشمل:
- مراقبة إنتاج الطاقة من مصادر متجددة. (PV Panels/Wind Turbines)
- تنظيم استهلاك الطاقة الذاتية مقابل تغذية الشبكة.
- التكامل مع أنظمة تخزين الطاقة (البطاريات) وأنظمة الإدارة الذكية.

**الفائدة:** تقليل الاعتماد على الشبكة وتحقيق أهداف الاستدامة. (Akinmejiwa et al., 2024)

#### 6. نظام إدارة المياه والطاقة الحرارية: (Water and Thermal Energy Management System)

- يختص برصد استخدام المياه والطاقة الحرارية داخل المبنى، ويشمل:
- مراقبة أداء أنظمة التسخين والتبريد. (Chillers, Boilers)
- تحليل تدفقات المياه ودرجات الحرارة.
- إدارة فعالة لأنظمة إعادة استخدام المياه (Greywater Systems) والأنظمة الهيدروليكية.

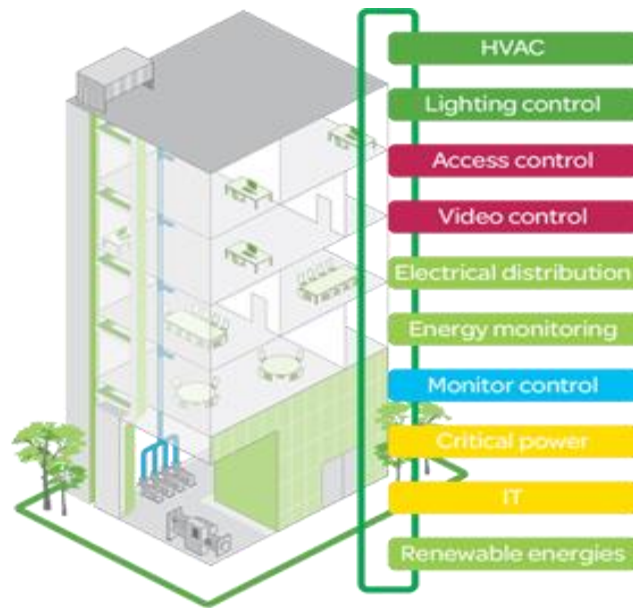
**الفائدة:** تحسين استغلال الطاقة وتقليل الهدر المائي والحراري.

## 7. نظام الإنذار والصيانة الذكية: (Fault Detection & Predictive Maintenance System)

- يراقب صحة الأنظمة باستمرار، ويُستخدم للتقليل من الأعطال المفاجئة، من خلال:
- التبليغ التلقائي عن الأعطال والانحرافات عن الأداء الطبيعي.
- دعم الصيانة التنبؤية باستخدام التحليلات البيانية.
- ربط الإنذارات مع جداول التشغيل وخطط الطوارئ.

**الفائدة:** تقليل فترات التوقف، وتحسين موثوقية الأنظمة، وخفض تكاليف الإصلاح.

يتميز كل قسم من أقسام BEMS بدور محدد ضمن بنية متكاملة تهدف إلى رفع كفاءة استهلاك الطاقة، تقليل الانبعاثات، وتحقيق بيئة داخلية ذكية وآمنة. وتعمل هذه الأنظمة من خلال وحدة تحكم مركزية تسهل المراقبة واتخاذ القرار بالزمن الحقيقي، مما يجعل BEMS عنصراً محورياً في أي استراتيجية بناء ذكي أو مستدام. (Bouabdallaoui et al., 2021)



الشكل (2-2): الأقسام الوظيفية الرئيسية لنظام ال BEMS



## 2-2-7 الهيكل البنيوي لنظام إدارة طاقة المباني (BEMS Architecture) :

يقوم BEMS على هيكل طبقي متكامل يضمن جمع البيانات والتحكم والتحليل بكفاءة، ويتكوّن من أربع طبقات رئيسية:

1. **طبقة الحقل (Field Layer):** تمثل البنية الفيزيائية للنظام وتشمل المستشعرات والمشغلات، حيث

يتم جمع البيانات اللحظية (كالحرارة، الرطوبة، استهلاك الطاقة) وتنفيذ أوامر التحكم.

2. **طبقة التحكم (Control Layer):** تضم وحدات DDC و PLC وتقوم بتحليل بيانات الحقل وتطبيق

منطق التحكم الآلي والجدولة الزمنية لضبط الأنظمة ديناميكياً.

3. **طبقة الاتصال (Communication Layer):** تنقل البيانات والأوامر باستخدام بروتوكولات قياسية

مثل BACnet، Modbus، KNX، مما يحقق التشغيل البيني ويعزز مرونة النظام.

4. **طبقة الإدارة (Management Layer):** تمثل "العقل الاستراتيجي" للنظام، حيث تُستخدم برمجيات

تحليلية متقدمة لتوليد تقارير، التنبؤ بالاستهلاك عبر AI/ML، توفير واجهات تفاعل (HMI)، وربط النظام

بالحوسبة السحابية للتحكم المركزي واللحظي. (Kempf, 2024)

## 2-2-8 فوائد أنظمة BEMS:

- **تقليل استهلاك الطاقة** بنسبة تتراوح بين 10 إلى 30 % حسب نوع وحجم المبنى: تتيح المراقبة والتحكم الفوري في استهلاك الطاقة إمكانية تحقيق وفورات فعالة في الطاقة. الهدف ليس تقليل استخدام الإضاءة أو أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC) أو أي أجهزة كهربائية أخرى، بل التركيز على استخدام هذه الأجهزة بطريقة ذكية. على سبيل المثال، يتم تشغيل الأجهزة وفقاً لعدة عوامل مثل مستويات الطلب، ووجود الأشخاص، ومستوى الإضاءة، ومستوى الرطوبة، ووقت اليوم، ودرجة الحرارة، مما يساهم في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة.

- **راحة البال:** بالإضافة إلى توفير الطاقة، يمنح النظام راحة البال أيضاً. فلا يحتاج المستخدم إلى تشغيل وإيقاف الأجهزة الكهربائية باستمرار، حيث تعمل تلقائياً بناءً على الاحتياجات. يقوم نظام إدارة المباني الذكية بتتبع أنماط استهلاك الطاقة على مدار 24 ساعة في اليوم، ويقوم بإصدار تنبيهات عند الحاجة.

- **خفض التكلفة:** بفضل نظام إدارة الطاقة (BEMS) الذي يراقب ويتحكم باستمرار في استهلاك الطاقة، فإنه يخفض تلقائياً فاتورة الكهرباء. (Jia et al., 2018)
- **الراحة:** بما أن نظام إدارة الطاقة يتحكم في عوامل مثل درجة الحرارة والرطوبة والإضاءة وجودة الهواء والتهوية فإنه يجعل البيئة أكثر راحة للقاطنين فيها. (Dong et al., 2019)
- زيادة عمر المعدات من خلال التشغيل الذكي وتقليل الضغط.
- **رفع القيمة السوقية للمبنى:** مع ازدياد التوجه العالمي نحو المباني الخضراء والذكية، أصبح دمج نظام (BEMS) من العوامل التي تزيد من جاذبية المبنى في السوق العقارية، سواء للإيجار أو البيع. فالمباني التي تُظهر كفاءة طاقية عالية وتكاليف تشغيل منخفضة تُصنّف ضمن الفئة الأفضل للأداء البيئي (مثل شهادة LEED أو BREEAM)، مما يرفع تقييمها المالي ويعزز فرص الاستثمار فيها. (Kailas et al., 2012)
- **تحسين أداء أنظمة الطاقة المتجددة:** يتيح نظام (BEMS) التكامل الذكي مع مصادر الطاقة المتجددة (كالطاقة الشمسية أو الرياح) من خلال موازنة الطلب مع العرض، وتخزين الفائض عند توفره، وتحسين توقيت استخدام الطاقة. فعلى سبيل المثال، يمكن للنظام تشغيل الأحمال غير الحرجة أثناء ذروة توليد الطاقة الشمسية، مما يزيد من كفاءة الاستخدام الذاتي للطاقة المنتجة محلياً ويقلل الاعتماد على الشبكة. (Saha et al., 2014)
- **تحقيق أهداف الاستدامة البيئية وتقليل البصمة الكربونية:** تسهم أنظمة (BEMS) بشكل مباشر في تقليل الانبعاثات الناتجة عن استهلاك الطاقة، لا سيما في المباني التي تعتمد على مصادر طاقة أحفورية. من خلال تقليل الفاقد وتحسين الكفاءة، تتخفض كمية غاز ثاني أكسيد الكربون المنبعثة، ما يعزز مساهمة المبنى في الالتزام بسياسات المناخ الدولية واتفاقيات تقليل البصمة الكربونية. (Jamil & Mittal, 2017)

## 2-2-9 التطبيقات العملية لأنظمة إدارة الطاقة في المباني:

تختلف تطبيقات أنظمة إدارة الطاقة في المباني تبعًا للتصنيف الوظيفي للمبنى والمتطلبات التشغيلية لكل قطاع. تتميز هذه الأنظمة بقدرتها على توفير حلول مُخصصة تعزز كفاءة الطاقة، مع الحفاظ على الظروف البيئية المثلى. فيما يلي أبرز التطبيقات:

### 1. المباني التجارية والإدارية:

- تُستخدم أنظمة BEMS في هذه المباني لتحقيق التوازن بين الراحة البيئية والاستهلاك الأمثل للطاقة عبر:
  - التحكم الديناميكي في أنظمة الإضاءة والتدفئة والتهوية والتكييف (HVAC) بناءً على أوقات العمل الرسمية، مع إمكانية برمجة جداول تشغيل مُتغيرة وفقًا لأيام الأسبوع أو المناسبات.
  - إعداد تقارير تحليلية شهرية تُظهر أنماط استهلاك الطاقة، وتحديد نقاط الهدر، مثل الأجهزة ذات الأحمال الزائدة أو المساحات غير المُستغلة بكفاءة.
  - رصد الأعطال الآني في الأنظمة الكهربائية والميكانيكية، مما يقلل من وقت التوقف عن العمل (Downtime) ويُحسن الصيانة. (Macarulla et al., 2017)

### 2. المنشآت الصحية (المستشفيات والعيادات):

- تتطلب هذه المنشآت دقةً عالية في التحكم البيئي بسبب حساسية الأوضاع الصحية، لذا تُركز تطبيقات BEMS على:
- الحفاظ على معايير الراحة الحرارية والتهوية في الغرف الحرجة (مثل غرف العمليات والعناية المركزة)، حيث تُراقب أجهزة الاستشعار درجة الحرارة والرطوبة وجودة الهواء بصورة مستمرة.
  - المراقبة الآنية لأنظمة التهوية الميكانيكية للكشف عن أي أعطال قد تُهدد السلامة الصحية، مثل توقف مراوح التهوية أو انخفاض ضغط الهواء في الغرف المعزولة.
  - تكامل الأنظمة مع معدات الرعاية الصحية لضمان استقرار الأحمال الكهربائية للأجهزة الحساسة.

### 3. المؤسسات التعليمية (المدارس والجامعات):

تُطبق أنظمة BEMS في هذا القطاع لتحقيق أهداف تعليمية وتشغيلية مشتركة، مثل:

- إدارة الطاقة وفقاً للتقويم الأكاديمي، مثل إيقاف التشغيل التلقائي لأنظمة التكييف خلال الإجازات أو خارج ساعات الدوام.
- تعزيز الوعي الطلابي عبر لوحات عرض تفاعلية تُظهر بيانات الاستهلاك، مما يشجع على تبني ممارسات مستدامة.
- تحليل البيانات التاريخية لمقارنة الأداء بين المباني الجامعية وتحديد الأولويات التطويرية. (Hossain et al., 2020)

#### 4. المنشآت الصناعية:

- تُلب أنظمة BEMS دوراً محورياً في القطاع الصناعي بسبب ارتفاع الطلب على الطاقة، عبر:
- مراقبة أداء المعدات الثقيلة (مثل المضخات والضواغط) لتحديد الأجهزة ذات الكفاءة المتدنية أو غير المتوافقة مع معايير الطاقة.
- التكامل مع أنظمة الصيانة التنبؤية للتنبؤ بالأعطال المحتملة بناءً على تحليل أنماط الاهتزاز أو استهلاك الطاقة غير الطبيعي.
- إدارة الأحمال الكهربائية الذكية لتجنب الذروة وتقليل تكاليف فواتير الطاقة.

### 2-2-10 الاتجاهات المستقبلية في أنظمة BEMS:

مع تسارع التحول الرقمي في قطاع البناء وزيادة التركيز العالمي على كفاءة الطاقة والاستدامة، تشهد أنظمة إدارة طاقة المباني (BEMS) تطوراً ملحوظاً نحو مزيد من الذكاء، التكيف، والاندماج مع منظومات أوسع مثل المدن الذكية وشبكات الطاقة. وفيما يلي أبرز الاتجاهات المستقبلية:

#### 1. التكامل مع المدن الذكية (Smart Cities Integration):

تُعد أنظمة BEMS جزءاً أساسياً من بنية المدن الذكية، حيث تتيح التفاعل في الزمن الحقيقي مع شبكات الطاقة والبنية التحتية الحضرية. من خلال ربط بيانات المبنى بالبلديات وشركات المرافق، يتم تحقيق تنسيق أعلى في إدارة الأحمال الطاقية وتحسين جودة الخدمة والموثوقية.

## 2. النماذج الرقمية التوأمية (Digital Twin Technology):

توفر تقنية التوأم الرقمي نموذجًا افتراضيًا حيًا للمبنى، يعكس ظروفه التشغيلية والبيئية بشكل ديناميكي. يمكن استخدام هذه النماذج لمحاكاة وتحليل الأداء الطاقى، وتشخيص الأعطال المحتملة، واتخاذ قرارات استراتيجية مبنية على سيناريوهات واقعية، قبل تطبيق أي تغييرات فعلية على أرض الواقع (Hwang et al., 2025).

## 3. التحليل التنبؤي للطاقة (Predictive Energy Analytics):

من خلال توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي (AI) والتعلم العميق (Deep Learning)، يمكن لأنظمة BEMS التنبؤ بأنماط استهلاك الطاقة المستقبلية، استنادًا إلى بيانات الطقس، إشغال المبنى، وسلوك المستخدمين. يساهم ذلك في تحسين الجداول التشغيلية وتخفيض الفاقد الطاقى.

## 4. الاستجابة الذكية للطلب (Smart Demand Response):

تتكامل أنظمة BEMS مع مزودى الطاقة لتنفيذ برامج استجابة للطلب، حيث يمكنها تعديل استهلاك المبنى تلقائيًا خلال ساعات الذروة، مما يخفف الضغط على الشبكة الكهربائية ويخفض التكاليف التشغيلية للمبنى. (Ibrar et al., 2024).

## 5. الربط مع الشبكات الذكية (Smart Grids Integration):

تسمح هذه الإمكانية بأن يكون المبنى عنصرًا فاعلاً في شبكة الطاقة الذكية، من خلال التوليد الذاتي (مثل الألواح الشمسية)، التخزين (مثل البطاريات)، والمشاركة في موازنة الأحمال. يدعم هذا الربط مرونة أكبر في إدارة الطاقة على المستوى الحضري.

## 6. المعالجة الحوسبية الطرفية (Edge Computing):

تستخدم هذه التقنية لتقليل الاعتماد على الحوسبة السحابية، عبر معالجة البيانات محليًا في وحدات تحكم قريبة من المستشعرات والمشغلات. يؤدي ذلك إلى تقليل زمن الاستجابة وتحسين الأمان وسرعة اتخاذ القرار، خصوصًا في الحالات الحرجة.

## 7. التحكم الذاتي التكيفي (Self-Adaptive Control):

تُدمج خوارزميات تحكم متقدمة تمكّن النظام من تعديل استجاباته تلقائيًا بناءً على تغيّرات الظروف البيئية أو سلوك المستخدمين، دون الحاجة إلى تدخل بشري مباشر. يعزز هذا من موثوقية الأنظمة ومرونتها في البيئات المتغيرة.

### 2-2-11 التحديات الرئيسية التي تواجه أنظمة إدارة طاقة المباني:

رغم دورها الكبير في تعزيز كفاءة الطاقة وخفض التكاليف، تواجه أنظمة BEMS عدة تحديات تعيق انتشارها، أبرزها:

1. ارتفاع التكلفة الأولية: الحاجة إلى استثمارات ضخمة في الأجهزة، وحدات التحكم، والبنية التحتية يجعل العائد على الاستثمار غير مغرٍ خاصةً للمباني الصغيرة.
2. صعوبات التكامل مع الأنظمة التقليدية: المباني القديمة غالبًا ما تحتوي على تجهيزات غير متوافقة، مما يتطلب حلولًا مكلفة ومعقدة للتكامل.
3. نقص الكفاءات الفنية: تشغيل وصيانة BEMS يحتاج خبرات متعددة في التحكم، الشبكات، الأمن السيبراني، وتحليل البيانات، وهي غير متوفرة دائمًا.
4. مخاطر الأمن السيبراني: الاعتماد على الشبكات والإنترنت يزيد من احتمالية الهجمات الإلكترونية، مما يستلزم استراتيجيات حماية متقدمة.
5. ضعف الجدوى الاقتصادية لبعض المباني: في المرافق ذات الاستهلاك المحدود أو الموسمي قد لا تعوض الوفورات الطاقية تكاليف التركيب والصيانة. (Digitemie & Ekemezie, 2024)

### 2-2-12 مصادر الطاقة المتكاملة مع أنظمة إدارة طاقة المباني (BEMS) :

تعتمد أنظمة إدارة طاقة المباني (BEMS) الحديثة على التكامل الذكي مع مجموعة متنوعة من مصادر الطاقة، بهدف تحقيق التشغيل الأمثل، وضمان استمرارية الإمداد، وتقليل الاعتماد على الشبكات التقليدية. وتشمل هذه المصادر ما يلي:

### 1. أنظمة الطاقة الشمسية: (Photovoltaic Panels)

تُعد الخلايا الكهروضوئية مصدرًا متجددًا يتيح توليد الكهرباء مباشرة من أشعة الشمس، ويقوم BEMS بمراقبة إنتاج الطاقة الشمسية ودمجها بشكل ديناميكي في منظومة الطاقة حسب الحاجة والاستهلاك الفعلي. (Barchi et al., 2018)

### 2. أنظمة تخزين الطاقة: (Battery Storage Systems)

تُستخدم البطاريات لتخزين الفائض من الطاقة المنتجة (خصوصًا من الطاقة الشمسية)، ما يُمكن من استخدامها لاحقًا أثناء فترات الذروة أو انقطاع الشبكة. يعمل BEMS على إدارة عمليات الشحن والتفريغ بكفاءة عالية لتحقيق التوازن الطاقوي. (Barchi et al., 2018)

### 3. الشبكات الذكية: (Smart Grids)

يتيح الاتصال مع الشبكات الذكية تبادل البيانات والتنسيق اللحظي مع مزودي الخدمة الكهربائية، مما يتيح الاستفادة من التعرفة المتغيرة حسب الوقت، والاستجابة للطلب، وضمان مرونة أعلى في إدارة الأحمال. (Park et al., 2011)

### 4. المولدات الاحتياطية والتوربينات:

تُستخدم كمصادر طاقة احتياطية تُفعل تلقائيًا في حالات الطوارئ أو عند انقطاع التيار. يمكن لنظام BEMS جدولة تشغيلها واستخدامها بذكاء لتقليل الأحمال القصوى أو الحفاظ على استقرار التزويد في حالات خاصة.

من خلال هذا التكامل متعدد المصادر، يُمكن لـ BEMS تحقيق توازن ديناميكي بين العرض والطلب، والاختيار التلقائي للمصدر الأنسب اعتمادًا على معايير مثل الكفاءة، التكلفة، وتوفر الطاقة، مما يُعزز الاستدامة ويخفض التكاليف التشغيلية بشكل كبير.

## 2-2-13 خطوات تصميم نظام إدارة طاقة المباني (BEMS) :

تتطلب عملية تصميم نظام BEMS نهجاً منهجياً متعدد المراحل، يجمع بين الدراسة الفنية، والاعتبارات التشغيلية، والتكامل التقني. وفيما يلي عرض للخطوات الأساسية:

1. تحليل السياق الوظيفي: تحديد طبيعة المبنى وأنماط الإشغال وأهداف النظام (مثل خفض الاستهلاك أو تحسين جودة الهواء).
2. الجرد الطاقوي التفصيلي: مسح الأحمال الكهربائية والميكانيكية لبناء خريطة دقيقة للاستهلاك (Energy Profile).
3. تحديد نقاط البيانات: اختيار المتغيرات المراد مراقبتها (حرارة، رطوبة، إشغال...) وتحديد أنواع وأماكن المستشعرات وحدود التنبيه.
4. توزيع وحدات التحكم (DDC/PLC): وضع وحدات التحكم محلياً حسب المناطق (Zones) لتحقيق مرونة وسرعة استجابة.
5. تصميم شبكة الاتصالات: اعتماد بروتوكولات قياسية (KNX، Modbus، BACnet) مع مراعاة الأمن السيبراني وقابلية التوسع والتكامل مع أنظمة أخرى.
6. اختيار البرمجيات: تحديد منصة الإدارة التي تدعم المراقبة والتحليل بالذكاء الاصطناعي، إعداد التقارير التفاعلية، وتخصيص واجهات المستخدم (HMI).
7. الاختبار والتكليف (Commissioning): التحقق من دقة المستشعرات واستقرار الشبكات، ضمان مطابقة الأداء للتصميم، وتدريب المستخدمين مع توثيق النتائج الأولية.

### سير عمل البيانات (Data Flow) داخل نظام إدارة الطاقة:

- قياس البيانات (درجة الحرارة، تيار كهربائي، ...).
- نقل البيانات إلى وحدة التحكم.
- تحليل البيانات محلياً في وحدة التحكم أو عبر (Edge Computing).
- تنفيذ الإجراءات (تشغيل/إيقاف/تعديل).
- إرسال البيانات للسيرفر المركزي.
- تحليل طويل الأجل وإنتاج تقارير أو تنبيهات.
- التفاعل البشري أو الأوتوماتيكي بناء على المخرجات.



## 2-2-14 طرق التحكم في نظام إدارة طاقة المباني (BEMS):

تمثل أنظمة إدارة طاقة المباني أداة استراتيجية لتقليل استهلاك الطاقة وتحسين الكفاءة التشغيلية عبر التحكم الذكي في أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC) ، الإضاءة، والمعدات الكهربائية. تتنوع استراتيجيات التحكم بين الطرق التقليدية والمتقدمة والذكية:

### 2-2-14-1 الطرق التقليدية (Conventional Control)

- **التحكم الثابت** : إعدادات ثابتة مثل درجة حرارة موحدة، غير متكيفة مع التغيرات.
- **التحكم اليدوي** : يعتمد على تشغيل/إيقاف يدوي، فعال للطوارئ فقط.
- **التحكم بالجدول الزمني** : برمجة تشغيل/إيقاف وفق جداول يومية أو أسبوعية.
- **التحكم القاعدي (Rule-Based)** : منطق شرطي بسيط (If-Then) محدود المرونة (Lu et al., 2021).
- **التحكم PID** : يحقق دقة عالية عبر تغذية راجعة، لكنه يحتاج معايرة ولا يناسب الأنظمة غير الخطية (Zhang et al., 2022).

### 2-2-14-2 طرق تطبيقية متقدمة (Applied Control) :

- **القائم على الاستشعار** : يعتمد على بيانات آنية (حرارة، إشغال، رطوبة، CO<sub>2</sub>).
- **أولويات الأحمال** : تقليل الأحمال غير الضرورية عند الضغط أو ارتفاع التكلفة.
- **التحكم الحدثي** : تشغيل/إيقاف بناءً على أحداث مثل دخول شخص أو فتح نافذة.

### 2-2-14-3 التحكم المتقدم (Advanced Control) :

- **التنبؤي النموذجي (MPC)** : يعتمد على نماذج رياضية للتوقع والتحكم متعدد المتغيرات (Zhang et al., 2022).
- **الشبكات العصبية الاصطناعية (ANN)** : تحليل بيانات تاريخية للتنبؤ والتكيف مع الأنظمة المعقدة (Digitemie & Ekemezie, 2024).
- **التحكم التكيفي الذاتي** : تعديل تلقائي باستخدام خوارزميات تعلم آلي.

## 2-2-14-4- التحكم اللامركزي والتعاوني:

يعتمد على وحدات محلية (PLC/DDC) تتبادل المعلومات لاتخاذ قرارات جماعية متكاملة، مما يعزز المرونة والاندماج مع الشبكات الذكية.

## 2-2-14-5- التحكم في الزمن الحقيقي:

باستخدام إنترنت الأشياء (IoT) والحوسبة الطرفية، يتم اتخاذ قرارات لحظية مثل: تعديل الإضاءة وفق إشغال الغرف أو تنشيط التهوية بناء على CO<sub>2</sub>.

## 2-2-14-6- دور الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات:

- التعلم العميق: للتنبؤ بالأحمال.
- الخوارزميات التطورية: لتحسين جداول التشغيل.
- التحليل التنبؤي: للكشف المبكر عن الأعطال.

## 2-2-14-7- اتجاهات حديثة:

- التوأم الرقمي (Digital Twin): محاكاة واقعية لاختبار الاستراتيجيات.
- التحكم السلوكي: تعلم أنماط المستخدمين للتخصيص.
- التحكم السياقي: يراعي الطقس، الوقت، وعدد الأشخاص.
- التحكم السحابي: يتيح معالجة متقدمة وتحديثات لحظية.

## 2-3 القسم الثالث: أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC) :

### 2-3-1 مقدمة:

تُعد أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC) من أبرز المكونات التشغيلية في المباني الحديثة، لدورها الحيوي في ضبط درجة الحرارة، التحكم في الرطوبة، وضمان جودة الهواء الداخلي، بما يعزز من راحة المستخدمين وصحتهم. إلا أن هذا الدور الحيوي يأتي بكلفة طاقة مرتفعة؛ إذ تمثل أنظمة HVAC نسبة كبيرة من استهلاك الطاقة الكلي في المباني، قد تتجاوز 40% في بعض البيئات العمرانية، خاصة في الدول الصناعية حسب ما تشير إليه تقارير وكالة الطاقة الدولية (IEA).

في ظل التحديات البيئية والاقتصادية المتزايدة، برزت الحاجة إلى تحسين كفاءة هذه الأنظمة، ليس فقط من خلال تطوير تقنياتها الأساسية، وإنما عبر دمجها ضمن منظومات ذكية أوسع لإدارة الطاقة. وهنا يأتي دور أنظمة إدارة طاقة المباني، والتي تعمل على مراقبة وتحليل وضبط استهلاك الطاقة في المبنى ككل.

يُعد التكامل بين BEMS و HVAC من أبرز سمات المباني الذكية والمستدامة، حيث يوفر هذا التفاعل منصة مركزية لتحسين الأداء التشغيلي لأنظمة التكييف والتدفئة. تقوم أنظمة BEMS بجمع البيانات البيئية والتشغيلية من نظام HVAC ، وتحليلها في الزمن الحقيقي، ومن ثم اتخاذ قرارات تحكمية مبنية على البيانات لتحسين استهلاك الطاقة، دون التأثير على راحة المستخدمين أو جودة البيئة الداخلية.

### 2-3-2 تعريف نظام HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) :

نظام HVAC هو نظام هندسي متكامل يختص بتنظيم وتكييف البيئة الداخلية للمباني، ويهدف إلى توفير درجة حرارة ملائمة، رطوبة نسبية مناسبة، وجودة هواء داخلية صحية، بما يحقق مستويات عالية من راحة المستخدمين وكفاءة التشغيل الطاقوي. يتألف النظام من مجموعة من المعدات والتقنيات الميكانيكية والإلكترونية التي تعمل على تنفيذ ثلاث وظائف رئيسية:

- التدفئة (Heating): رفع درجة حرارة الهواء الداخلي لتوفير الدفء في الطقس البارد.

- التهوية (Ventilation): تجديد الهواء داخل الفراغات من خلال إزالة الهواء الملوث وضخ هواء نقي، مع التحكم بمعدلات التهوية والضغط.
- تكييف الهواء (Air Conditioning): تقليل درجة الحرارة الداخلية ومعالجة الرطوبة للوصول إلى بيئة مريحة وصحية خلال فترات الحر.

يُعد نظام HVAC من أهم الأنظمة التشغيلية في أي مبنى، حيث يُسهم في الحفاظ على الراحة الحرارية، تحسين جودة الهواء، وضمان بيئة آمنة وصحية، إلى جانب كونه من أكثر الأنظمة استهلاكًا للطاقة، مما يجعله محورًا رئيسيًا في تطبيقات إدارة طاقة المباني (BEMS) والأنظمة الذكية.

### 3-3-2 المكونات التقنية الأساسية لنظام HVAC :

يتكوّن نظام HVAC من مجموعة من الوحدات والمكونات الميكانيكية والإلكترونية التي تعمل بتكامل لضبط البيئة الداخلية. ومن أبرز هذه المكونات:

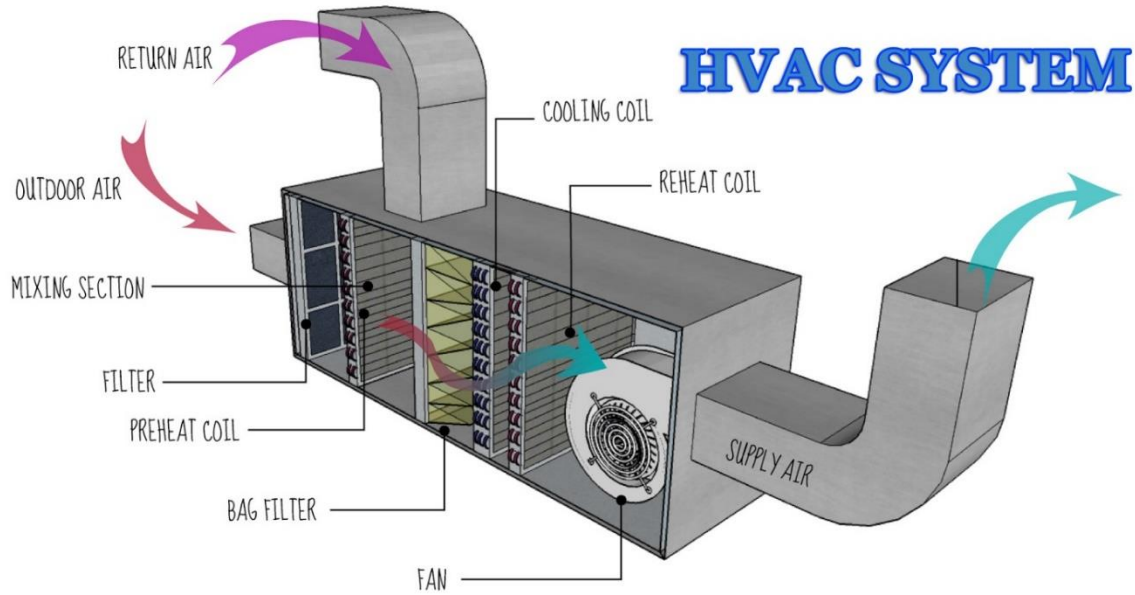


الشكل (3-2): نظام HVAC داخل المبنى

### 2-3-3-1 وحدات معالجة الهواء (AHU – Air Handling Units) :

تُعد وحدة معالجة الهواء بمثابة القلب المركزي للنظام وظيفتها الأساسية هي سحب الهواء من الخارج أو من داخل المبنى، ثم تنقيته وتبريده أو تسخينه، قبل ضخه عبر مجاري الهواء. وتتكون عادةً من:

- مرشحات لتنقية الهواء (Filters) .
- مراوح الدفع (Blowers) .
- ملفات التسخين/التبريد (Heating/Cooling Coils) .
- مخمدات الهواء (Dampers) .
- أجهزة استشعار لمراقبة درجة الحرارة والرطوبة وجودة الهواء. (Leong, 2019)



الشكل (4-2): مخطط يوضح بنية وحدة Air Handling Units

### 2-3-3-2 وحدات التبريد والتكثيف (Chillers & Condensers) :

- المبردات (Chillers) تُستخدم لتبريد المياه التي تُضخ إلى وحدات توزيع الهواء.
- وحدات التكثيف (Condensers): تقوم بتفريغ الحرارة الممتصة من المبنى إلى الهواء أو الماء الخارجي، وتُستخدم غالبًا في أنظمة التبريد المركزي. (Westphalen & Koszalinski, 2001)





الشكل (2-5): وحدة تكييف مركزية Chiller

### 2-3-3-3 أنظمة التهوية (Ventilation Systems) :

تشمل:

- مراوح العادم (Exhaust Fans) .
- وحدات إدخال الهواء النقي (Fresh Air Intakes) .
- مبادلات الحرارة (Heat Recovery Units) .

وظيفتها ضمان تداول الهواء النقي وطرد ثاني أكسيد الكربون والرطوبة والروائح والملوثات، وتحقيق التوازن بين الهواء الداخل والخارج.

### 2-3-3-4 أنظمة التحكم والتحكم الآلي (HVAC Controls & Automation) :

تشمل أجهزة استشعار، وحدات تحكم رقمية (DDC)، متحكمات منطقية قابلة للبرمجة (PLCs)، ترموستات ذكية، ومشغلات الصمامات والمراوح. وتكمن أهميتها في مراقبة أداء النظام وتنظيم تشغيله حسب الظروف الداخلية والخارجية، ما يسهم في تحسين الكفاءة التشغيلية وتقليل استهلاك الطاقة.



الشكل (2-6): أجزاء نظام التهوية داخل المبنى

## 2-3-4 بيئة التشغيل والتكامل مع الأنظمة الأخرى:

لا تعمل أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC) بمعزل عن غيرها من مكونات المبنى، بل تُعد جزءًا من بيئة تشغيلية متكاملة تتداخل فيها العوامل المعمارية، والإنشائية، والكهربائية، والوظيفية. ويُشكل هذا التكامل حجر الزاوية في تصميم وتشغيل المباني الذكية والمستدامة، حيث يُسهم في تحقيق كفاءة الطاقة المثلى، وضمان راحة المستخدمين، وتعزيز مرونة التشغيل والاستجابة للظروف المتغيرة.

## 2-3-4-1 البيئة التشغيلية لأنظمة HVAC :

تتأثر كفاءة وفعالية نظام HVAC بعدة عوامل بيئية وسياقية داخل المبنى، من أبرزها:

- التصميم المعماري للمبنى: بما يشمل توزيع الأحجام الداخلية، طبيعة المواد المستخدمة في العزل الحراري، خصائص الواجهات والنوافذ، واتجاهات التعرض لأشعة الشمس.
- الظروف المناخية الخارجية: تؤثر درجة الحرارة، الرطوبة، والرياح على الأحمال الحرارية المطلوبة لتدفئة أو تبريد الفراغات الداخلية.

- كثافة الإشغال وسلوك المستخدمين :تؤثر أنماط الإشغال اليومية ونشاط الأفراد في توليد الحرارة والرطوبة، مما يُغيّر من متطلبات التهوية وجودة الهواء.
- نوع وكفاءة المعدات المستخدمة :تلعب المعدات المتطورة دورًا في تحسين الأداء الطاقى، خاصةً إذا ما تم دمجها مع أنظمة تحكم ذكية قابلة للتكيف.
- هذه العوامل تتطلب أن يكون نظام HVAC مرناً، ديناميكياً، وقادراً على الاستجابة في الزمن الحقيقي، وهو ما يتحقق من خلال التكامل التقني مع الأنظمة الأخرى في المبنى.

## 2-4-3-2 التكامل مع نظام إدارة طاقة المباني (BEMS) :

- يُعد " BEMS العقل المدبر" لمراقبة وتحليل وضبط أداء الأنظمة الفرعية بالمبنى، وعلى رأسها HVAC ، ويحقق ما يلي:
- مراقبة مستمرة للأداء :جمع وتحليل بيانات الحرارة، الرطوبة، ثاني أكسيد الكربون، والإشغال لاتخاذ قرارات تشغيلية ذكية.
- تحكم ديناميكي وتنبؤي :تعديل نقاط الضبط وتشغيل الوحدات بحسب الطقس والإشغال والتاريخ التشغيلي.
- جدولة مرنة :برمجة تشغيل HVAC وفق ساعات الذروة، العمل، أو إشغال الغرف لتقليل استهلاك الطاقة مع الحفاظ على الراحة.
- الصيانة الاستباقية (Predictive Maintenance) :التنبؤ بالأعطال قبل حدوثها لتقليل فترات التوقف.
- التحكم بالأحمال الذكية (Smart Load Management) : تنسيق تشغيل HVAC مع الشبكات الذكية لتخفيف الضغط خلال فترات الطلب العالي.

## 2-4-3-3 التكامل مع أنظمة الإشغال والإضاءة:

يتفاعل نظام HVAC مع أنظمة كشف الإشغال والإضاءة لتحقيق تشغيل مرّن:



- استخدام مستشعرات الإشغال مثل الحساسات الحركية (PIR) ، الكاميرات الذكية، وأنظمة التحكم بالدخول لتشغيل وحدات التكييف والتهوية عند وجود مستخدمين فقط.
- دمج التحكم في الإضاءة والتكييف ضمن استراتيجية التحكم البيئي المتكامل (Integrated Environmental Control)، لتقليل الأحمال الحرارية الناتجة عن الإنارة وتوفير الطاقة.

#### 2-3-4-4 التكامل مع أنظمة الطاقة الشمسية والتخزين:

في المباني التي تعتمد على مصادر طاقة متجددة، يتكامل نظام HVAC مع:

- الألواح الشمسية الكهروضوئية (PV) يُنسق BEMS تشغيل وحدات التكييف وفق أوقات توفر الطاقة الشمسية، لتقليل الاعتماد على الشبكة الكهربائية.
- أنظمة التخزين (البطاريات): يتم شحن البطاريات بطاقة زائدة لتوفير التشغيل في فترات الذروة، أو عند انقطاع الكهرباء، مما يعزز استمرارية الخدمة.

#### 2-3-4-5 التكامل مع أنظمة السلامة والحريق:

يتطلب التشغيل الآمن لنظام HVAC التنسيق مع أنظمة الطوارئ والسلامة:

- في حالات الحريق أو تسرب الغاز، يتوقف تشغيل وحدات الهواء تلقائيًا أو تُعيد توجيه تدفق الهواء لتقليل انتشار الدخان أو الملوثات.
- الامتثال للبروتوكولات التنظيمية والمعايير مثل NFPA و ASHRAE لضمان سلامة المستخدمين والمنشأة.

#### 2-3-4-6 التكامل مع الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي:

تدعم تقنيات الذكاء الاصطناعي التكامل بين HVAC والأنظمة الأخرى، من خلال:

- التنبؤ بالأحمال الطاقية بناءً على بيانات الطقس وسلوك المستخدمين.

- التحكم التكيفي (Adaptive Control) عبر التعلم من البيانات التاريخية وتحسين الاستجابة التشغيلية.
- كشف الأعطال (Fault Detection and Diagnosis – FDD) باستخدام نماذج التعلم الآلي مثل الشجرة العشوائية (Random Forest) لدعم الصيانة الذكية.
- تحسين الراحة الحرارية تلقائيًا بناءً على الأنماط المكتشفة من استخدام المبنى.

#### 2-3-4-7 التحديات التقنية والتنفيذية:

- رغم فوائد التكامل، توجد تحديات قد تعيق تنفيذه الكامل، منها:
- عدم التوافق بين الأنظمة القديمة والحديثة. (Legacy Integration)
- تكاليف التحديث والبنية التحتية. (Olatunde et al., 2024)
- مشكلات في الأمن السيبراني (Cybersecurity) نتيجة التوصيل عبر الشبكات. (Devaraj, 2023)
- ضعف الصيانة أو البرمجة غير المثلى، مما يؤدي إلى نتائج عكسية.

#### 2-3-4-8 أهمية هذا التكامل في تحقيق أهداف الاستدامة:

- يساهم التكامل عالي المستوى بين نظام HVAC والأنظمة الأخرى في تحقيق نتائج جوهرية تشمل:
- رفع كفاءة الطاقة وتقليل الانبعاثات الكربونية.
- تحسين جودة الهواء الداخلي والراحة الحرارية.
- إطالة عمر الأجهزة وتحسين الجدوى الاقتصادية للتشغيل.
- الامتثال لمعايير الاستدامة العالمية مثل LEED ، BREEAM ، ISO 50001.

#### 2-3-4-9 بروتوكولات الاتصال القياسية:

- يتم الربط بين هذه الأنظمة المختلفة عبر بروتوكولات اتصال قياسية تسهل التوافق والتشغيل البيئي (Interoperability)، ومن أبرزها:
- BACnet: معيار عالمي واسع الاستخدام في التحكم بأنظمة HVAC و BEMS.

- Modbus: يُستخدم في نظم الطاقة، الإضاءة، والعدادات الذكية.

- KNX: شائع في المباني السكنية الأوروبية.

- LonWorks: مناسب للبيئات ذات التحكم الموزع.

اختيار البروتوكول يتوقف على عوامل مثل البنية التحتية، توافق الأجهزة، متطلبات الأمان، وتكاليف التنفيذ.

### 2-3-5 آلية عمل نظام HVAC :

تعتمد آلية عمل نظام HVAC على سلسلة من العمليات الديناميكية الحرارية والميكانيكية والهيدروليكية المصممة بدقة لتوفير بيئة داخلية مريحة وآمنة من حيث درجة الحرارة، الرطوبة، وجودة الهواء. وتقوم هذه الأنظمة على مبادئ تبادل الحرارة، التوصيل الحراري، والانتقال القسري للهواء أو الماء بهدف التحكم في الظروف المناخية داخل الفراغات المعمارية. وتنقسم آلية العمل إلى ثلاث وظائف رئيسية: التدفئة (Heating)، التبريد (Cooling)، والتهوية (Ventilation).

### 2-3-5-1 التدفئة (Heating) :

تهدف عملية التدفئة إلى رفع درجة حرارة الهواء داخل المبنى لتوفير الراحة الحرارية في البيئات الباردة. وتنفذ عبر إحدى التقنيات التالية:

- **السخانات الكهربائية (Electric Heaters):** تُستخدم في أنظمة HVAC الصغيرة أو المناطق التي

تتوفر فيها الكهرباء بأسعار منخفضة، حيث يتم تسخين الهواء مباشرة عبر ملفات كهربائية مقاومة.

- **الغلايات (Boilers):** تعمل على تسخين الماء باستخدام مصادر طاقة مثل الغاز الطبيعي أو الوقود

الحيوي، ثم يُوزع الماء الساخن عبر أنابيب إلى وحدات مثل المشعات (Radiators) أو ملفات التسخين داخل وحدات AHU أو FCU.

- **مضخات الحرارة (Heat Pumps):** أنظمة متقدمة تنقل الحرارة من مصدر خارجي (كالهواء أو

الأرض) إلى داخل المبنى باستخدام دورة تبريد عكسية. تُعتبر أكثر كفاءة من الغلايات الكهربائية، خاصة في البيئات المعتدلة.

يتم اختيار تقنية التدفئة المناسبة بناءً على عوامل مثل نوع المبنى، المناخ، تكلفة الطاقة، وكفاءة التشغيل.

### 2-3-5-2 التبريد (Cooling) :

تُستخدم عملية التبريد لتقليل درجة حرارة الهواء الداخلي في فترات الحر، وتتحقق عبر الأنظمة التالية:

- **المبردات (Chillers)** تُستخدم لتبريد الماء الذي يُضخ لاحقاً إلى ملفات التبريد في وحدات مناولة الهواء أو وحدات الملف المروحي (FCUs). تنقسم إلى:

- **مبردات مبردة بالهواء (Air-cooled Chillers)** تُستخدم في المباني الصغيرة أو في المناطق التي تندر فيها مصادر المياه.

- **مبردات مبردة بالماء (Water-cooled Chillers)** أكثر كفاءة وتُستخدم في المباني الكبيرة، وتتطلب أبراج تبريد (Cooling Towers) لتفريغ الحرارة.

- **أنظمة التوسيع المباشر (DX Systems)** يُمرر فيها المبرد مباشرة عبر ملفات التبريد الداخلية، دون استخدام ماء وسيط، كما في وحدات التكييف المنفصلة (Split Units) أو أنظمة VRF .
- تتم عملية التبريد من خلال امتصاص الحرارة من الهواء الداخلي عبر المبادلات الحرارية، ثم نقلها إلى الخارج، مما يُخفض درجة الحرارة ويُحسن الراحة الحرارية.

### 2-3-5-3 التهوية (Ventilation) وتنقية الهواء :

تهدف التهوية إلى الحفاظ على جودة الهواء الداخلي (IAQ) من خلال:

- **إدخال الهواء النقي:** يتم جلب الهواء من الخارج عبر وحدات التهوية وتوزيعه في أنحاء المبنى.
- **استخراج الهواء الملوث:** يُزال الهواء المحمل بثاني أكسيد الكربون، الروائح، والرطوبة من الأماكن المغلقة كالمطابخ والحمامات.
- **ترشيح وتنقية الهواء:** قبل دخول الهواء إلى المناطق المشغولة، يُمرر عبر مرشحات (Filters) لإزالة الجسيمات، الغبار، والملوثات.
- **استعادة الطاقة:** تستخدم أنظمة التهوية الحديثة مبادلات حرارية مثل (HRV) أو (ERV) لاستعادة جزء من طاقة الهواء المطرود، مما يقلل الحمل الحراري على أنظمة التبريد/التدفئة.

تُمثل التهوية عاملاً رئيسياً في الحفاظ على صحة شاغلي المبنى وتقليل تكاليف الطاقة عند تنفيذها بشكل ذكي ومتكامل مع أنظمة التحكم.

### 2-3-5-4 التحكم والتكامل في التشغيل:

تعتمد كفاءة عمل النظام على دقة التحكم، الذي يُنفذ غالباً عبر:

- المتحكمات المنطقية المبرمجة: (PLC/DDC) تتيح تنظيم درجات الحرارة، تدفق الهواء، وضغط الأنظمة.

- المستشعرات: (Sensors) لقياس درجة الحرارة، الرطوبة، تركيز ثاني أكسيد الكربون، وجودة الهواء.

- التكامل مع BEMS: يسمح بتحسين استراتيجيات التشغيل، وإدارة الطاقة في الوقت الحقيقي، وإجراء تحكم استباقي يعتمد على الجداول الزمنية أو إشغال الغرف.

### 2-3-6 أنواع أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء:

تتعدد أنواع أنظمة HVAC تبعاً لطبيعة المبنى، متطلبات التشغيل، المساحة المتاحة، وكفاءة الطاقة المستهدفة. ويمكن تصنيف أنظمة HVAC إلى أربع فئات رئيسية بناءً على وسيط نقل الطاقة المستخدم (هواء، ماء، أو مزيج بينهما)، ومستوى المركزية في النظام، وهي: أنظمة الهواء الكامل، أنظمة الماء الكامل، الأنظمة المختلطة، وأنظمة الانقسام المباشر. لكل نوع مزاياه وتحدياته التقنية، كما أن اختيار النظام الأمثل يخضع لمجموعة من المعايير التصميمية والاقتصادية.

### 2-3-6-1 أنظمة الهواء الكامل (All-Air Systems) :

- تعتمد هذه الأنظمة على الهواء كوسيط وحيد لنقل الحرارة أو البرودة إلى الفراغات الداخلية. يتم معالجة الهواء (تسخينه أو تبريده) مركزياً في وحدات معالجة الهواء (AHU)، ثم يُوزع إلى المناطق المختلفة عبر شبكة مجاري هوائية.

- أنظمة تدفق الهواء المتغير: (Variable Air Volume – VAV) تُعد من أكثر الأنظمة كفاءة، حيث يتحكم النظام في كمية الهواء المزودة تبعاً للأحمال الحرارية الفعلية لكل منطقة.

- أنظمة تدفق الهواء الثابت: (Constant Air Volume – CAV) توفر تدفقًا ثابتًا من الهواء بدرجة حرارة متغيرة. تناسب التطبيقات البسيطة التي لا تتطلب تحكمًا عاليًا بالمنطقة. (Leong, 2019)
- تُستخدم أنظمة الهواء الكامل في المباني التجارية الكبرى والمستشفيات لما توفره من قدرة مركزية على معالجة الهواء وجودة تهوية عالية. (Gheji et al., 2016)

#### 2-6-3-2 أنظمة الماء الكامل (All-Water Systems):

- في هذا النوع، يُستخدم الماء كمصدر وحيد لنقل الطاقة الحرارية، دون استخدام مجاري هوائية رئيسية. يتدفق الماء الساخن أو البارد إلى وحدات طرفية داخل المناطق مثل (المراوح الملفية Fan Coil) – Units، حيث يتم تبادل الحرارة محليًا.
- تتميز هذه الأنظمة بانخفاض حجم البنية التحتية الميكانيكية (لا حاجة لمجاري هواء واسعة)، ومرونة في التوزيع، لكنها تتطلب تهوية ميكانيكية منفصلة لتلبية احتياجات الهواء النقي.
- غالبًا ما تُستخدم في الفنادق والمباني السكنية متعددة الطوابق (Gheji et al., 2016).

#### 2-6-3-3 الأنظمة المختلطة (Air-Water Systems):

- تجمع هذه الأنظمة بين مزايا الهواء والماء، حيث يُستخدم الهواء لتوفير التهوية والتحكم في الرطوبة، بينما يُستخدم الماء للتدفئة أو التبريد عبر وحدات داخلية.
- تعتبر هذه الأنظمة مناسبة للتطبيقات التي تتطلب تحكمًا دقيقًا في جودة الهواء والرطوبة مع كفاءة طاقة عالية، مثل المختبرات والمراكز البحثية. (Gheji et al., 2016)

#### 2-6-3-4 أنظمة الانقسام المباشر (Direct Expansion Systems – DX Systems):

- في هذا النوع، يتم تبريد الهواء مباشرة باستخدام وسيط تبريد (Refrigerant) دون الحاجة إلى أنظمة توزيع ماء. وتشمل:
- الوحدات المنفصلة التقليدية: (Split Units) حيث يتكون النظام من وحدة داخلية وأخرى خارجية.
- أنظمة تدفق المبرد المتغير: (VRF/VRV) وهي أنظمة متطورة تسمح بالتحكم الفردي في كل منطقة على حدة مع استخدام شبكة توزيع واحدة لوسيط التبريد.

تتميز هذه الأنظمة بالمرونة في التركيب والتحكم المتقدم في المناطق المتعددة، وتُستخدم في المباني متوسطة الحجم مثل الفنادق والمكاتب متعددة الطوابق (Shao et al., 2023).

### 2-3-7 كفاءة الطاقة في أنظمة HVAC :

تُعد أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC) من أكثر الأنظمة استهلاكًا للطاقة في المباني، إذ تمثل ما نسبته بين 40% إلى 60% من إجمالي الاستهلاك الطاقوي في المباني التجارية والسكنية، وفقًا لتقارير الوكالة الدولية للطاقة (IEA, 2022). وبالتالي فإن أي تحسين في تشغيل أو تصميم هذه الأنظمة ينعكس بشكل مباشر على الكفاءة الطاقوية الكلية للمبنى.

تعتمد كفاءة الطاقة في نظام HVAC على عدد من العوامل التقنية والوظيفية، من أبرزها:

#### 2-3-7-1 كفاءة المكونات الأساسية:

تشمل الكفاءة الفردية لكل من:

- وحدات التبريد (Chillers) تتحسن كفاءتها باستخدام تقنيات مثل المبردات ذات السرعة المتغيرة (VSD) والمبادلات الحرارية عالية الأداء.
- مراوح AHU والمضخات: الكفاءة تزداد باستخدام محركات كهربائية عالية الكفاءة مزودة بمحولات تردد متغيرة.
- أنظمة التحكم: تُمثل الأنظمة الذكية للتحكم عاملاً جوهرياً في تقليل الاستهلاك غير الضروري للطاقة، خصوصاً عند دمجها مع BEMS.

#### 2-3-7-2 استراتيجيات التشغيل الموفّر للطاقة:

تتضمن استراتيجيات توفير الطاقة في أنظمة HVAC ما يلي:

- التشغيل حسب الطلب (Demand-Based Operation): تشغيل النظام وفقاً لمستويات الإشغال الفعلية للمبنى، من خلال مستشعرات الحركة وثنائي أكسيد الكربون.
- استعادة الحرارة (Heat Recovery): استغلال الحرارة الناتجة من وحدات التهوية أو التبريد لإعادة استخدامها في التسخين أو التسخين المسبق للهواء الخارجي. (Mardiana-Idayu & Riffat, 2012)

- التشغيل الليلي (Night Purge) استخدام الهواء البارد خلال الليل لتقليل الحمل الحراري في الصباح. (Solgi et al., 2016)

- التهوية الطبيعية المدعومة (Hybrid Ventilation) الجمع بين التهوية الطبيعية والميكانيكية لتحسين الكفاءة في الفصول المعتدلة. (Cho et al., 2021)

### 2-3-7 دور أنظمة BEMS في تحسين الكفاءة:

يلعب نظام إدارة طاقة المباني (BEMS) دورًا محوريًا في تحسين كفاءة تشغيل أنظمة HVAC ، من خلال:

- رصد وتحليل بيانات الاستهلاك الفعلي للطاقة.

- ضبط نقاط التحكم (Setpoints) بناءً على الظروف البيئية وسلوك المستخدم.

- استخدام خوارزميات تنبؤية للتشغيل المسبق والتعديل التلقائي للأنظمة. (Olatunde et al., 2024)

### 2-3-7-4 مؤشرات تقييم الكفاءة:

تشمل المؤشرات القياسية المستخدمة لتقييم كفاءة نظام HVAC:

- Coefficient of Performance (COP): مقياس لنسبة الطاقة الناتجة إلى الطاقة المستهلكة في وضع التبريد أو التسخين.

- Energy Efficiency Ratio (EER): مؤشر كفاءة الطاقة في أنظمة التكييف.

- Integrated Part Load Value (IPLV): يعكس كفاءة النظام في ظروف الحمل الجزئي.

- Seasonal Energy Efficiency Ratio (SEER): مؤشر كفاءة التشغيل الموسمي، شائع في

تقييم أداء وحدات الانقسام (Split Units) . (Nandagopal, 2024)

### 2-3-8 التحديات المستقبلية في أنظمة HVAC:

رغم التقدم الكبير في تقنيات أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC) ، إلا أن هناك عددًا من التحديات المستقبلية التي لا تزال تواجه الباحثين والمهندسين عند تصميم وتنفيذ وتشغيل هذه الأنظمة، لا سيما في ظل الاتجاه العالمي نحو تحقيق الكفاءة الطاقية والاستدامة البيئية. من أبرز هذه التحديات:



## 1. التوازن بين كفاءة الطاقة وجودة الهواء الداخلي: (IAQ)

تقليل استهلاك الطاقة قد يتعارض أحيانًا مع متطلبات جودة الهواء الداخلي، خصوصًا في أنظمة التهوية. تقليل معدلات التهوية لتوفير الطاقة قد يؤدي إلى تراكم الملوثات وزيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون داخل الفراغات، ما يؤثر سلبيًا على راحة وصحة المستخدمين. التحدي هنا يكمن في تطوير استراتيجيات تحكم توازن بدقة بين الكفاءة الطاقية والحفاظ على بيئة صحية داخلية.

## 2. التكامل مع الأنظمة الذكية وأنظمة: BEMS

على الرغم من أهمية أنظمة إدارة طاقة المباني (BEMS) في تحسين أداء HVAC، إلا أن العديد من الأبنية الحالية تعتمد على بنى تحتية قديمة أو أنظمة متفرقة، ما يصعب عملية التكامل. هناك حاجة إلى تطوير بروتوكولات تواصل ومعايير مفتوحة تضمن التكامل السلس بين الأنظمة المختلفة مثل BEMS و HVAC و EMS (أنظمة إدارة الطاقة).

## 3. تعقيد الصيانة والتحكم في الأنظمة المتقدمة:

مع تزايد تعقيد الأنظمة، خصوصًا في الأبنية الذكية، أصبحت عمليات الصيانة وإعادة المعايرة والتحكم في الأنظمة أكثر تطلبًا من حيث المهارات الفنية والتكاليف. هذا يتطلب توفير كوادر مؤهلة وتطوير أدوات تشخيص ذكية تعتمد على التحليل التنبؤي. (Olatunde et al., 2024)

## 4. تغير أنماط الإشغال والسلوك البشري:

أنظمة HVAC التقليدية غالبًا ما تعتمد على جداول تشغيل ثابتة، دون الأخذ في الحسبان التغيرات الديناميكية في إشغال المبنى وسلوك المستخدمين. مثل هذا التباين يؤدي إلى تشغيل غير فعال واستهلاك طاقة غير ضروري. من الضروري تطوير أنظمة تعتمد على الاستشعار والذكاء الاصطناعي للتكيف في الزمن الحقيقي مع الظروف المتغيرة.

## 5. تحديات مرتبطة بالتغير المناخي:

تغير المناخ يفرض ضغوطًا متزايدة على أداء أنظمة التكييف، خصوصًا في المناطق التي تشهد ارتفاعًا

في درجات الحرارة أو تفاوتًا حراريًا كبيرًا. يتطلب الأمر إعادة تصميم الأنظمة لتكون أكثر مرونة وقدرة على العمل في ظروف مناخية مستقبلية غير مستقرة.

### 2-3-9 التوجهات البحثية الحديثة والمستقبلية:

استجابةً لهذه التحديات، يتجه البحث العلمي والهندسي في مجال HVAC نحو محاور استراتيجية تهدف إلى تحسين الأداء والاستدامة، منها:

- **التحكم التنبؤي المعتمد على النماذج (Model Predictive Control – MPC) :**

MPC يُعد من أقوى أدوات التحكم المتقدمة، حيث يعتمد على نماذج رياضية تتنبأ بسلوك النظام وتقوم بضبطه لتحقيق الأداء الأمثل. يتم استخدام MPC في العديد من الدراسات لتقليل استهلاك الطاقة وتحسين جودة البيئة الداخلية مع التفاعل الذكي مع جداول الأحمال وأنماط التشغيل (Kim et al., 2022).

- **استخدام الذكاء الاصطناعي (AI) والتعلم الآلي (ML) :**

يشهد المجال نموًا سريعًا في تطبيق خوارزميات الذكاء الاصطناعي لتحليل البيانات الضخمة الناتجة عن مستشعرات BEMS و HVAC. تقنيات مثل الشبكات العصبية، والشجرة العشوائية، والتعلم المعزز تُستخدم لتطوير أنظمة تحكم ذاتي التكيف وتحسين صيانة الأعطال عبر التشخيص التنبؤي (Ke et al., 2020; Verbert et al., 2017).

- **تطوير تقنيات منخفضة الكربون وذات كفاءة عالية:**

مثل استخدام المضخات الحرارية المتقدمة، أنظمة التكييف بالتبريد التبخيري، والتكييف الشمسي، وكذلك المبادلات الحرارية الحرارية-أرضية. هذه التقنيات تهدف إلى تقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية وتخفيض البصمة الكربونية للمباني.

- **التوأم الرقمي (Digital Twin) :**

يُستخدم التوأم الرقمي لتمثيل نسخة افتراضية دقيقة لأنظمة HVAC في الزمن الحقيقي، مما يتيح مراقبة

الأداء، اكتشاف الأعطال، وتقييم سيناريوهات تشغيل متعددة قبل تطبيقها فعليًا. هذا يساهم في تحسين الصيانة والتخطيط الطاقوي (Xie et al., 2023).

- التفاعل مع الشبكات الذكية ومرونة الطلب (Demand Response) :

تزايد الاهتمام بأنظمة HVAC القادرة على التفاعل مع شبكات الكهرباء الذكية لتقليل الأحمال خلال فترات الذروة، مما يحقق توازنًا بين العرض والطلب ويقلل من انبعاثات الكربون.

- استخدام المواد الذكية وتقنيات العزل المتقدمة:

من بين التوجهات أيضًا، تحسين غلاف المبنى الحراري باستخدام مواد عازلة متغيرة الخصائص، وأسطح ذكية تعكس الحرارة أو تمتصها حسب الموسم، ما يقلل العبء الحراري على أنظمة HVAC (Olatunde et al., 2024).

## الفصل الثالث:

### دور ال BIM في تحسين كفاءة تصميم وتشغيل أنظمة ال BEMS ونظام ال HVAC

#### 3-1-مدخل نظري:

أضحت المباني المعاصرة من أكثر القطاعات استهلاكًا للطاقة، ولا سيما تلك ذات الكثافة الوظيفية العالية مثل الأبنية التعليمية والتجارية والخدمية والمستشفيات. ويُعزى ذلك إلى تعقيد الأنظمة التشغيلية وتزايد الاعتماد على أجهزة التبريد والتدفئة والإضاءة والأنظمة الإلكترونية. ووفق العديد من الدراسات، فإن أنظمة التدفئة والتهوية والتبريد (HVAC) تستأثر بأكبر نسبة من استهلاك الطاقة، إذ تصل في بعض المباني إلى أكثر من نصف الاستهلاك الكلي. هذه الحقيقة تجعل من تحسين تصميم وتشغيل أنظمة ال HVAC أولوية رئيسية في أي مقارنة تسعى إلى تقليل الاستهلاك وتحقيق استدامة المباني. في هذا السياق برزت أنظمة إدارة طاقة المباني (BEMS) كوسيلة تنظيمية ذكية تهدف إلى مراقبة الطاقة وإدارتها عبر جمع البيانات التشغيلية ومعالجتها من خلال برمجيات تحكم متقدمة. غير أن نجاح BEMS يتوقف على دقة البيانات المرتبطة بالخصائص الهندسية للمبنى وبأداء أنظمتها الداخلية. وهنا تبرز أهمية نمذجة معلومات البناء (BIM)، التي تمثل بيئة متكاملة تربط بين التوصيف الهندسي للمبنى وبياناته الفيزيائية والتشغيلية في نموذج رقمي واحد.

#### 3-2-التكامل بين BIM و BEMS:

تشكل BIM إطارًا معلوماتيًا غنيًا يسمح بتجميع البيانات المعمارية والإنشائية والكهربائية والميكانيكية ضمن نموذج موحد، يمكن تبادله مع مختلف الأطراف المشاركة في دورة حياة المبنى. ويمثل هذا التكامل قيمة جوهرية لأنظمة BEMS من عدة نواحٍ:

1. توفير قاعدة بيانات موثوقة: حيث يحتوي النموذج الرقمي على الخصائص الفيزيائية للمبنى (العزل، المواد، المساحات، الفتحات)، ما يتيح إدخالها مباشرة في أنظمة الإدارة دون الحاجة إلى تقديرات تقريبية.
2. تعزيز دقة التنبؤ بالأحمال: عبر ربط بيانات التصميم بمعطيات التشغيل، يمكن تقدير استهلاك الطاقة بدقة، الأمر الذي يعزز من قدرة BEMS على التخطيط المسبق لتوزيع الأحمال.

3. الربط بين مرحلتي التصميم والتشغيل: إذ لا تقتصر BIM على مرحلة التصميم، بل تمتد لتشكل مرجعًا خلال التشغيل والصيانة، بما يسمح بمطابقة الأداء الفعلي مع الأداء المتوقع.

4. إمكانية المحاكاة والتحليل الديناميكي: يمكن اختبار سيناريوهات تشغيل مختلفة في بيئة رقمية قبل اعتمادها فعليًا، مما يقلل من المخاطر التشغيلية.

وبذلك، فإن التكامل بين BIM و BEMS يساهم في تقليل الفجوة التقليدية بين التصميم النظري وإدارة الطاقة الواقعية، من خلال توفير بيانات دقيقة وقابلة للتحديث، ولا سيما فيما يتعلق بأنظمة HVAC.

### 3-3- دور الـ HVAC في منظومة استهلاك الطاقة:

تتميز أنظمة الـ HVAC بكونها أنظمة ذات أحمال متغيرة ومتأثرة بعدة عوامل: الظروف المناخية، جودة العزل الحراري، عدد المستخدمين، وأوقات التشغيل. ويُعدّ تقدير هذه الأحمال بدقة أساسًا لتصميم فعال يضمن كفاءة الطاقة.

من هذا المنطلق، يُساهم توظيف BIM في:

- تحليل معقّد للأحمال الحرارية: استنادًا إلى بيانات هندسية دقيقة للمبنى، بما يتجاوز الطرق التقليدية المعتمدة على الحسابات المبسطة.
- الكشف المبكر عن التعارضات التصميمية: مثل تضارب مجاري الهواء مع العناصر الإنشائية، ما يقلل الحاجة إلى التعديلات الميدانية المكلفة.
- دمج النظام ضمن النموذج الكلي: إذ يُمثّل نظام HVAC كجزء من النموذج الرقمي للمبنى، ما يضمن توافقه مع الأنظمة الكهربائية والمعمارية.

تتيح هذه الإمكانيات بناء نظام HVAC مصمم على أسس علمية، وقادر على الارتباط المباشر مع نظام BEMS لتحقيق كفاءة تشغيلية عالية.

### 3-4- دور برنامج Revit في تصميم أنظمة HVAC :

يُعدّ Autodesk Revit من أبرز أدوات BIM وأكثرها توظيفًا في مجال تصميم الأنظمة الميكانيكية، ولا سيما HVAC وتتبع أهميته من قدرته على الدمج بين النمذجة ثلاثية الأبعاد والخصائص الوصفية والتشغيلية.

من بين المزايا التي يتيحها البرنامج:

1. النمذجة الرقمية عالية الدقة: حيث يمكن تمثيل وحدات معالجة الهواء، مجاري الهواء، المضخات، وأجهزة التحكم، ضمن بيئة ثلاثية الأبعاد مرتبطة بقاعدة بيانات تشغيلية.
2. إجراء التحليل الطاقى: عبر ربط Revit بمنصات تحليل مثل Green Building Studio أو تصدير بياناته بصيغة gbXML إلى برمجيات المحاكاة الطاقية.
3. مرونة التعديلات التصميمية: إذ يتيح البرنامج تحديث النموذج بشكل ديناميكي عند أي تغيير في معطيات المبنى (مثل إضافة طابق أو تعديل مواد الجدران)، ما يؤدي إلى إعادة حساب الأحمال الحرارية آلياً.
4. إتاحة سيناريوهات متعددة: يمكن مقارنة أداء أنظمة بديلة (مياه مبردة مقابل هواء مبرد) أو دراسة أثر تغيير ظروف التشغيل، ما يدعم اتخاذ قرارات تصميمية مدروسة.
5. التكامل مع BEMS: من خلال إمكانية تبادل البيانات باستخدام معايير مثل IFC، ما يسمح بانتقال بيانات التصميم إلى أنظمة الإدارة الذكية دون فقدان المعلومات.

### 3-5- المرونة التصميمية التي يوفرها BIM في أنظمة HVAC :

تُعتبر المرونة التصميمية أحد أهم المزايا التي يمنحها تطبيق نمذجة معلومات البناء (BIM) عند تصميم أنظمة التدفئة والتهوية والتبريد (HVAC)، لما لهذه الأنظمة من حساسية عالية تجاه أي تغيير في خصائص المبنى أو أنماط استخدامه. إذ يُسهّم BIM في توفير بيئة ديناميكية قادرة على التكيف مع التغيرات المستمرة في مختلف مراحل دورة حياة المبنى، بدءاً من التصميم المبكر وحتى التشغيل والصيانة. ويمكن تفصيل أبعاد هذه المرونة كما يلي:

#### 1. التكيف مع تغير الأحمال الحرارية:

الأحمال الحرارية في المباني ليست ثابتة، بل تتأثر بعدة عوامل مثل مواد البناء، درجة العزل، مساحة النوافذ، اتجاه الواجهة، وعدد المستخدمين. من خلال BIM، يمكن إدخال هذه المتغيرات إلى النموذج الرقمي، بحيث يقوم البرنامج تلقائياً بإعادة حساب الأحمال الحرارية وتحديث متطلبات HVAC تبعاً للتغيير. على سبيل المثال، عند تغيير مادة الجدران أو نوع الزجاج، يُظهر النموذج أثر ذلك على كفاءة

العزل، وبالتالي على قدرة وحدات التبريد أو التدفئة المطلوبة. هذه الآلية الديناميكية تقلل من الحاجة إلى إعادة الحساب اليدوي، وتسمح للمصمم بمقارنة عدة خيارات لاختيار الأكثر كفاءة.

## 2. الاستجابة لتغير أنماط الاستخدام الوظيفي:

المباني قد تتغير وظيفتها أو تتبدل أنماط استخدامها بمرور الوقت، مثل تحويل مبنى إداري إلى مبنى تعليمي أو طبي. مثل هذا التغيير يعني اختلاف جداول إشغال المبنى، ساعات الذروة، وعدد المستخدمين، وهو ما يفرض أحياناً مختلفة على أنظمة HVAC. يتيح BIM تعديل جداول الإشغال في النموذج بسهولة، ما ينعكس فوراً على تصميم النظام. بالتالي، يمكن تقييم قدرة النظام الحالي على استيعاب هذه المتغيرات أو تحديد الحاجة إلى إعادة التوزيع أو زيادة السعة.

## 3. محاكاة السيناريوهات المستقبلية:

من خلال بيئة BIM، يمكن للمصممين محاكاة سيناريوهات مستقبلية مثل ارتفاع درجات الحرارة نتيجة تغير المناخ، أو زيادة عدد المستخدمين بفعل توسع المبنى. تتيح هذه المحاكاة تقييم أداء النظام تحت ظروف تشغيلية غير اعتيادية، وتحديد نقاط الضعف قبل حدوثها. وهذا يُعد أمراً محورياً في التخطيط لمبانٍ مستدامة ومرنة قادرة على التكيف مع متطلبات غير متوقعة.

## 4. إعادة التكوين الديناميكي للنظام:

توفر أدوات BIM القدرة على اختبار عدة بدائل تصميمية داخل بيئة رقمية متكاملة، مثل تغيير توزيع مجاري الهواء، أو استبدال وحدات التكيف بأخرى ذات كفاءة أعلى، أو تعديل مواقع وحدات معالجة الهواء. يتيح ذلك إجراء مقارنات دقيقة بين هذه البدائل وفق معايير مثل كفاءة استهلاك الطاقة، مستويات الراحة الحرارية، والكلفة التشغيلية. والنتيجة هي نظام HVAC مُحسّن بعناية وفق معطيات موضوعية وليست تقديرية.

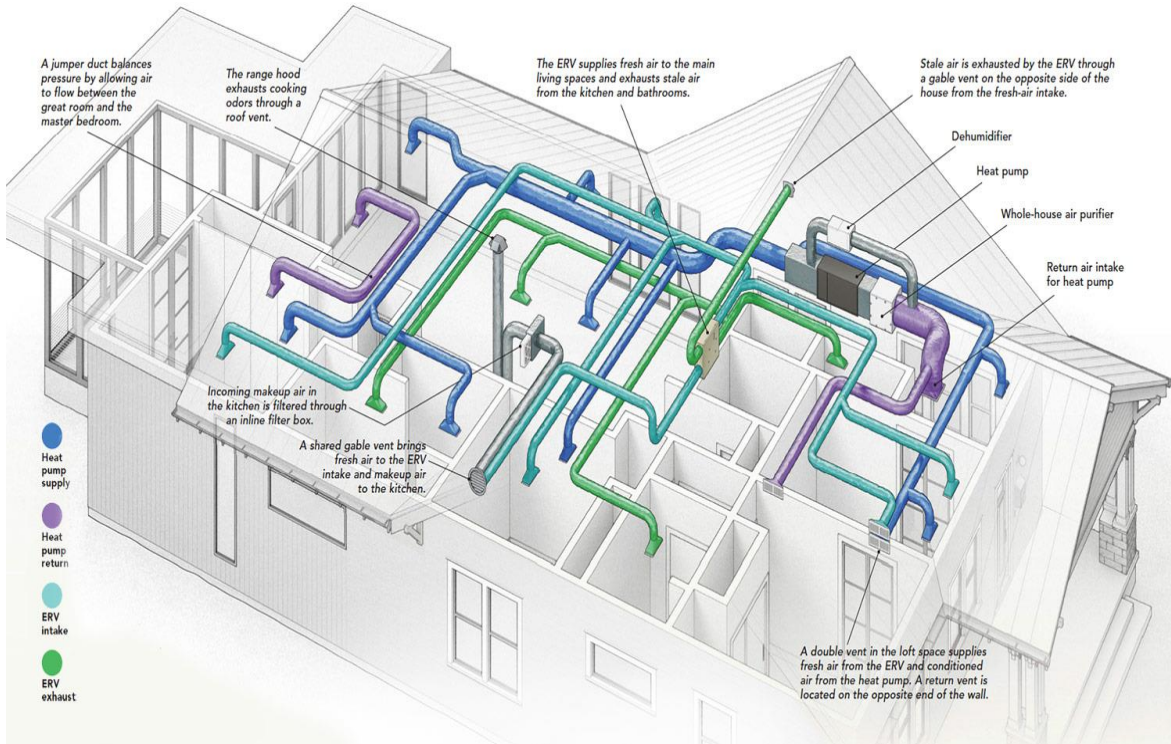
## 5. التكامل مع أنظمة إدارة الطاقة (BEMS):

أحد أبرز أوجه المرونة يتمثل في قدرة BIM على توفير بيانات قابلة للربط مباشرة مع أنظمة BEMS. فعند تحديث التصميم أو إدخال تغييرات على النظام، يتم نقل هذه التعديلات بشكل سلس إلى نظام الإدارة، ما يسمح بمزامنة مستمرة بين التصميم والتشغيل. وبهذا الشكل، يصبح النظام قادراً على التكيف الفوري مع التغييرات التشغيلية وتحديث استراتيجيات التحكم بما يتناسب مع الواقع الجديد.

## 6. تقليل الهدر الطاقى وتحسين الكفاءة التشغيلية:

المرونة التصميمية التي يوفرها BIM لا تعني فقط القدرة على إدخال تغييرات سريعة، بل تتجاوز ذلك إلى تحسين استهلاك الطاقة بشكل جوهري. فعبر اختبار عدة سيناريوهات قبل التنفيذ، يمكن اختيار الحل الأمثل الذي يوازن بين الراحة الحرارية وتقليل الهدر الطاقى. على سبيل المثال، قد يُظهر التحليل أن تعديل بسيط في توزيع الهواء أو تحسين العزل في منطقة معينة يؤدي إلى تقليل الحمل على النظام بنسبة ملحوظة، وبالتالي تخفيض الاستهلاك الكلي للطاقة.

باختصار، تُشكل المرونة التصميمية التي يقدمها BIM في أنظمة HVAC عاملاً حاسماً لتحقيق كفاءة الطاقة والاستدامة. فهي لا تقتصر على تسهيل التعديلات أو تحسين دقة الحسابات، بل تؤسس لنموذج تصميمي وتشغيلي ذكي قادر على التكيف مع الظروف المتغيرة، بما يضمن أداءً متوازنًا وفعالاً على المدى الطويل.

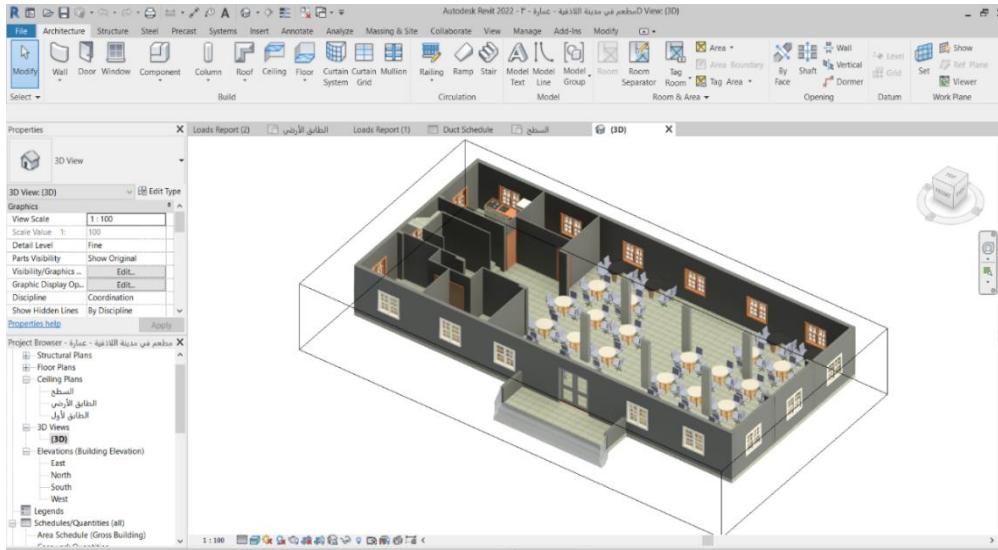


الشكل (1-3): نمذجة نظام ال HVAC في برنامج ال REVIT



## الفصل الرابع: الإطار العملي للدراسة

- بغية تطبيق وإيضاح الجانب العملي للمفاهيم النظرية المطروحة في الأقسام السابقة، جرى اختيار مبنى فندقي ليكون موضوع الحالة الدراسية، وذلك لإبراز دور تقنيات نمذجة معلومات البناء (BIM) في تصميم أنظمة إدارة المباني (BEMS) وقد تم التركيز على نظام التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC) بوصفه أحد أهم الأنظمة الفرعية وأكثرها استهلاكًا للطاقة، فضلًا عن كونه من أكثر الأنظمة شيوعًا واستخدامًا في المباني المعاصرة.
- بعد الحصول على النموذج المعماري للمبنى، تم إجراء تحليل حراري باستخدام برنامج Revit ، حيث جرى توليد تقرير يتضمن القيم الحرارية الأساسية وأحمال التبريد والتدفئة والتهوية. وبناءً على نتائج هذا التقرير، تمت نمذجة نظام التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC) للطابق الأرضي، الذي يضم صالة مطعم بمساحة 190 م<sup>2</sup>، ومطبخًا 14 م<sup>2</sup>، وغرفة إدارة 28 م<sup>2</sup>، إضافةً إلى الحمامات الخاصة بالرجال والنساء. الشكل (4-1).



الشكل (4-1): شكل ثلاثي الأبعاد للمبنى

تم تطبيق ثلاثة سيناريوهات أثناء التحليل الحراري للمبنى، أعقبها تصميم نظام HVAC لكل سيناريو بناءً على نتائج التحليل. وتهدف هذه السيناريوهات إلى تقييم مرونة بيئة BIM باستخدام برنامج Revit ، من خلال دراسة تأثير التغييرات المختلفة على النظام، بما في ذلك الأحمال المطلوبة للتدفئة والتبريد، وتدفقات الهواء، وحجم النظام المستخدم لكل مساحة. كما تبين النتائج قدرة البرنامج على تسهيل تعديل التصميم وتوفير المرونة اللازمة لإجراء التعديلات، دون الحاجة لإعادة التصميم من الصفر. وسيتم عرض هذه السيناريوهات تباعاً لتوضيح أثر كل سيناريو.

## 🌈 الحالة الأولى: الدراسة تتم بدون عازل حراري للجدران والسقف:

تم في هذه الحالة نمذجة نظام ال HVAC للطابق الأرضي بدون وجود عازل حراري للسقف والجدران كذلك تم استخدام زجاج النوافذ من النوع العادي المفرد.

### تركيبية الجدران الخارجية:

المادة	السماكة mm	$\lambda$ w/m.k
حجر كلسي	50	1.53
مؤونة اسمنتية	30	1.4
بلوك من البيتون مفرغ	200	1
مؤونة اسمنتية	30	1.4

لدينا:

$$Ri = 0.13 \frac{W}{m^2 K}$$

$$Ro = 0.03 \frac{W}{m^2 K}$$

حيث Ri :المقاومة الحرارية السطحية الداخلية.

Ro : المقاومة الحرارية السطحية الخارجية ومقاومة الفراغات الهوائية.

معامل انتقال الحرارة للجدران الخارجية:

$$U = \frac{1}{Ri + \sum \frac{Li}{\lambda i} + Ro}$$

$$U = \frac{1}{0.13 + \frac{0.050}{1.53} + 2 * \frac{0.030}{1.4} + \frac{0.200}{1} + 0.03} = 1.14 \frac{W}{m^2 K}$$

تركيبية السقف:

المقطع 1 - 1 :

المادة	السماكة بـ mm	$\lambda$ w/m.k
بلاطة بحص	20	1.6

0.3	30	رمل
1.4	20	مونة اسمنتية
1.85	210	بيتون مسلح
1.4	20	مونة اسمنتية

معامل انتقال الحرارة عبر السقف:

$$U_1 = \frac{1}{Ri + \sum \frac{Li}{\lambda i} + Ro}$$

$$= \frac{1}{0.17 + \frac{0.02}{1.6} + \frac{0.030}{0.3} + 2 * \frac{0.02}{1.4} + \frac{0.21}{1.85} + 0.03}$$

$$= 1.14 \frac{W}{m^2 K}$$

المقطع 2 - 2:

المادة	السماكة بـ mm	$\lambda$ w/m.k
بلاطة بحص	20	1.6
رمل	30	0.3
مونة اسمنتية	20	1.4
هوردي	150	0.95
بيتون مسلح	60	1.85
مونة اسمنتية	20	1.4

معامل انتقال الحرارة عبر السقف:

$$U_2 = \frac{1}{Ri + \sum \frac{Li}{\lambda i} + Ro}$$

$$= \frac{1}{0.17 + \frac{0.02}{1.6} + \frac{0.030}{0.3} + 2 * \frac{0.02}{1.4} + \frac{0.150}{0.95} + \frac{0.06}{1.85} + 0.03}$$

$$= 0.8 \frac{W}{m^2 K}$$

وكمثال على ذلك، يحسب معامل الانتقال الحراري للسقف الهوردي والمبين في الشكل

$$U = \frac{U_1 A_1 + U_2 A_2}{A} \quad (W/m^2 \cdot K)$$

حيث :

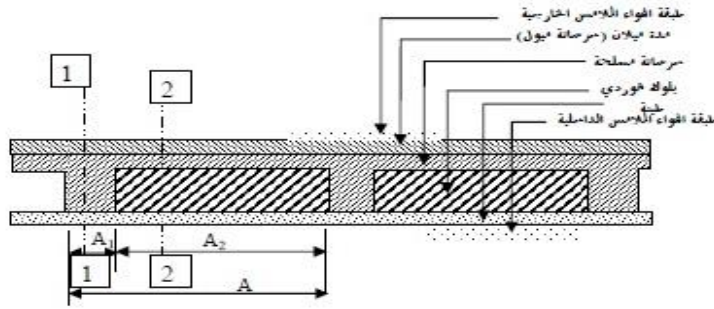
$U_1$  = معامل الانتقال الحراري لجزء العنصر الذي مقطعه (1-1)

$A_1$  = مجموع مساحة الجزء الذي مقطعه (1-1)

$U_2$  = معامل الانتقال الحراري لجزء العنصر المقطعه الذي مقطعه (2-2)

$A_2$  = مجموع مساحة الجزء الذي مقطعه (2-2)

$A$  = مجموع المساحات  $(A_1 + A_2)$



مقطع في سقف هوردي

وبالتالي:

$$U = \frac{(1.14 \times 0.16) + (0.8 \times 0.4)}{(0.16 + 0.4)}$$

$$= 0.9 \frac{W}{m^2 K}$$

الأبواب خشبية معامل انتقال الحرارة لها:

$$U = 2.19 \frac{W}{m^2 K}$$

النوافذ من الزجاج العادي المفرد مع ألومنيوم معامل انتقال الحرارة لها:

$$U = 5.9 \frac{W}{m^2 K}$$

مزودة بستائر قماشية معامل التظليل لها 0.5

نورد فيما يلي الأحمال الحرارية للحالة الأولى:

## Project Summary

Location and Weather	
Project	Project Name
Address	LATTAKIA
Calculation Time	27 آب, 05:04 2025
Report Type	Detailed
Latitude	35.36°
Longitude	35.46°
Summer Dry Bulb	32 °C
Summer Wet Bulb	27 °C
Winter Dry Bulb	4 °C
Mean Daily Range	5 °C

## Building Summary

Inputs	
Building Type	Hotel
Area (m²)	212
Volume (m³)	642.90
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (ton)	15.7
Peak Cooling Month and Hour	م August 01:00
Peak Cooling Sensible Load (ton)	8.3
Peak Cooling Latent Load (ton)	7.4
Maximum Cooling Capacity (ton)	15.7
Peak Cooling Airflow (L/s)	1,400.5
Peak Heating Load (W)	8,209
Peak Heating Airflow (L/s)	724.0
Checksums	
Cooling Load Density (W/m²)	259.87
Cooling Flow Density (L/(s·m²))	6.60
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	25.38
Cooling Area / Load (m²/kW)	3.85
Heating Load Density (W/m²)	38.67
Heating Flow Density (L/(s·m²))	3.41

## Level Summary - الطابق الأرضي

Inputs	
Area (m²)	212
Volume (m³)	642.90
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (ton)	9.8
Peak Cooling Month and Hour	م August 01:00
Peak Cooling Sensible Load (ton)	7.2
Peak Cooling Latent Load (ton)	2.6

Peak Cooling Airflow (L/s)	1,400.5
Peak Heating Load (W)	<b>-5,803</b>
Peak Heating Airflow (L/s)	724.0
<b>Checksums</b>	
Cooling Load Density (W/m <sup>2</sup> )	162.72
Cooling Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	6.60
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	40.54
Cooling Area / Load (m <sup>2</sup> /kW)	6.15
Heating Load Density (W/m <sup>2</sup> )	-27.33
Heating Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	3.41

## Zone Summary - Default

<b>Inputs</b>	
Area (m <sup>2</sup> )	212
Volume (m <sup>3</sup> )	642.90
Cooling Setpoint	23 °C
Heating Setpoint	21 °C
Supply Air Temperature	12 °C
Number of People	137
Infiltration (L/s)	62.8
Air Volume Calculation Type	VAV - Single Duct
Relative Humidity	48.00% (Calculated)
<b>Psychrometrics</b>	
Psychrometric Message	None
Cooling Coil Entering Dry-Bulb Temperature	30 °C
Cooling Coil Entering Wet-Bulb Temperature	23 °C
Cooling Coil Leaving Dry-Bulb Temperature	12 °C
Cooling Coil Leaving Wet-Bulb Temperature	12 °C
Mixed Air Dry-Bulb Temperature	30 °C
<b>Calculated Results</b>	
Peak Cooling Total Load (ton)	<b>15.7</b>
Peak Cooling Month and Hour	August 01:00 p
Peak Cooling Sensible Load (ton)	8.3
Peak Cooling Latent Load (ton)	7.4
Peak Cooling Airflow (L/s)	1,400.5
Peak Heating Load (W)	<b>8,209</b>
Peak Heating Airflow (L/s)	724.0
Peak Ventilation Airflow (L/s)	672.7
<b>Checksums</b>	
Cooling Load Density (W/m <sup>2</sup> )	259.87
Cooling Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	6.60
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	25.38
Cooling Area / Load (m <sup>2</sup> /kW)	3.85
Heating Load Density (W/m <sup>2</sup> )	38.67
Heating Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	3.41
Ventilation Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	3.17
Ventilation / Person (L/s)	4.9

Cooling Component s	Total (ton)	Percentage	North (ton)	South (ton)	East (ton)	West (ton)	Northeast (ton)	Southeast (ton)	Northwest (ton)	Southwest (ton)
Wall	1.6	10.49%	0.3	0.9	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
Window	0.7	4.67%	0.2	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Door	0.1	0.73%	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Roof	1.6	10.10%	-	-	-	-	-	-	-	-
Skylight	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partition	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Infiltration	0.5	3.27%	-	-	-	-	-	-	-	-
Ventilation	5.7	36.39%	-	-	-	-	-	-	-	-
Lighting	0.7	4.53%	-	-	-	-	-	-	-	-
Power	0.4	2.26%	-	-	-	-	-	-	-	-
People	4.2	26.56%	-	-	-	-	-	-	-	-
Plenum	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Fan Heat	0.2	0.99%	-	-	-	-	-	-	-	-
Reheat	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	15.7	100%	0.5	1.3	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Heating Component s	Total (W)	Percentage	North (W)	South (W)	East (W)	West (W)	Northeast (W)	Southeast (W)	Northwest (W)	Southwest (W)
Wall	5,853	13.01%	2,171	2,138	751	793	0	0	0	0
Window	1,867	4.15%	800	400	400	267	0	0	0	0
Door	270	0.60%	0	270	0	0	0	0	0	0
Roof	3,295	7.32%	-	-	-	-	-	-	-	-
Skylight	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partition	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Infiltration	1,309	2.91%	-	-	-	-	-	-	-	-
Ventilation	14,012	31.14%	-	-	-	-	-	-	-	-
Lighting	-2,498	-5.55%	-	-	-	-	-	-	-	-
Power	-1,247	-2.77%	-	-	-	-	-	-	-	-
People	14,652	-32.56%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	8,209	100%	2,972	2,807	1,151	1,060	0	0	0	0

## Default Spaces

Space Name	Area (m²)	Volume (m³)	Peak Cooling Load (ton)	Cooling Airflow (L/s)	Peak Heating Load (W)	Heating Airflow (L/s)
<a href="#">1 Space</a>	190	576.03	9.1	1,293.3	-6,728	622.5
<a href="#">2 Space</a>	8	24.90	0.3	37.9	402	37.5
<a href="#">3 Space</a>	14	41.97	0.6	69.3	523	64.0

## Space Summary - 1 Space

Input Data	
Area (m²)	190
Volume (m³)	576.03
Wall Area (m²)	280
Roof Area (m²)	185
Door Area (m²)	10
Partition Area (m²)	0
Window Area (m²)	15
Skylight Area (m²)	0
Lighting Load (W)	2,659
Power Load (W)	1,104
Number of People	133

Sensible Heat Gain / Person (W)	81
Latent Heat Gain / Person (W)	81
Infiltration Airflow (L/s)	54.0
Space Type	Dining Area - Hotel
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (ton)	9.1
Peak Cooling Month and Hour	August 01:00 م
Peak Cooling Sensible Load (ton)	6.6
Peak Cooling Latent Load (ton)	2.5
Peak Cooling Airflow (L/s)	1,293.3
Peak Heating Load (W)	-6,728
Peak Heating Airflow (L/s)	622.5

Cooling Components	Total (ton)	Percentage	North (ton)	South (ton)	East (ton)	West (ton)	Northeast (ton)	Southeast (ton)	Northwest (ton)	Southwest (ton)
Wall	1.5	16.28%	0.3	0.9	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Window	0.6	6.82%	0.1	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Door	0.1	1.26%	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Roof	1.4	15.73%	-	-	-	-	-	-	-	-
Skylight	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partition	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Infiltration	0.4	4.87%	-	-	-	-	-	-	-	-
Lighting	0.6	7.08%	-	-	-	-	-	-	-	-
Power	0.3	2.94%	-	-	-	-	-	-	-	-
People	4.1	45.01%	-	-	-	-	-	-	-	-
Plenum	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	<b>9.1</b>	<b>100%</b>	<b>0.4</b>	<b>1.2</b>	<b>0.4</b>	<b>0.2</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
Heating Components	Total (W)	Percentage	North (W)	South (W)	East (W)	West (W)	Northeast (W)	Southeast (W)	Northwest (W)	Southwest (W)
Wall	5,036	17.74%	1,656	2,015	743	622	0	0	0	0
Window	1,467	5.17%	533	400	400	133	0	0	0	0
Door	270	0.95%	0	270	0	0	0	0	0	0
Roof	2,932	10.33%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partition	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Skylight	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Infiltration	1,125	3.96%	-	-	-	-	-	-	-	-
Lighting	-2,259	-7.96%	-	-	-	-	-	-	-	-
Power	-938	-3.31%	-	-	-	-	-	-	-	-
People	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	14,359	-50.59%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	<b>-6,728</b>	<b>100%</b>	<b>2,189</b>	<b>2,685</b>	<b>1,143</b>	<b>756</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

## Space Summary - 2 Space

Input Data	
Area (m²)	8
Volume (m³)	24.90
Wall Area (m²)	17
Roof Area (m²)	9
Door Area (m²)	2
Partition Area (m²)	0
Window Area (m²)	1
Skylight Area (m²)	0
Lighting Load (W)	98



Power Load (W)	134
Number of People	1
Sensible Heat Gain / Person (W)	73
Latent Heat Gain / Person (W)	59
Infiltration Airflow (L/s)	3.4
Space Type	Office - Enclosed
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (ton)	0.3
Peak Cooling Month and Hour	August 03:00 p
Peak Cooling Sensible Load (ton)	0.3
Peak Cooling Latent Load (ton)	0.0
Peak Cooling Airflow (L/s)	37.9
Peak Heating Load (W)	402
Peak Heating Airflow (L/s)	37.5

Cooling Components	Total (ton)	Percentage	North (ton)	South (ton)	East (ton)	West (ton)	Northeast (ton)	Southeast (ton)	Northwest (ton)	Southwest (ton)
Wall	0.1	24.96%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Window	0.0	11.72%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Door	0.0	0.00%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Roof	0.1	28.60%	-	-	-	-	-	-	-	-
Skylight	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partition	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Infiltration	0.0	9.52%	-	-	-	-	-	-	-	-
Lighting	0.0	8.56%	-	-	-	-	-	-	-	-
Power	0.0	11.67%	-	-	-	-	-	-	-	-
People	0.0	4.97%	-	-	-	-	-	-	-	-
Plenum	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	<b>0.3</b>	<b>100%</b>	<b>0.1</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
Heating Components	Total (W)	Percentage	North (W)	South (W)	East (W)	West (W)	Northeast (W)	Southeast (W)	Northwest (W)	Southwest (W)
Wall	314	34.77%	243	63	8	0	0	0	0	0
Window	133	14.77%	133	0	0	0	0	0	0	0
Door	0	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0
Roof	135	14.96%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partition	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Skylight	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Infiltration	70	7.75%	-	-	-	-	-	-	-	-
Lighting	-85	-9.47%	-	-	-	-	-	-	-	-
Power	-117	-12.91%	-	-	-	-	-	-	-	-
People	-49	-5.38%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	<b>402</b>	<b>100%</b>	<b>377</b>	<b>63</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

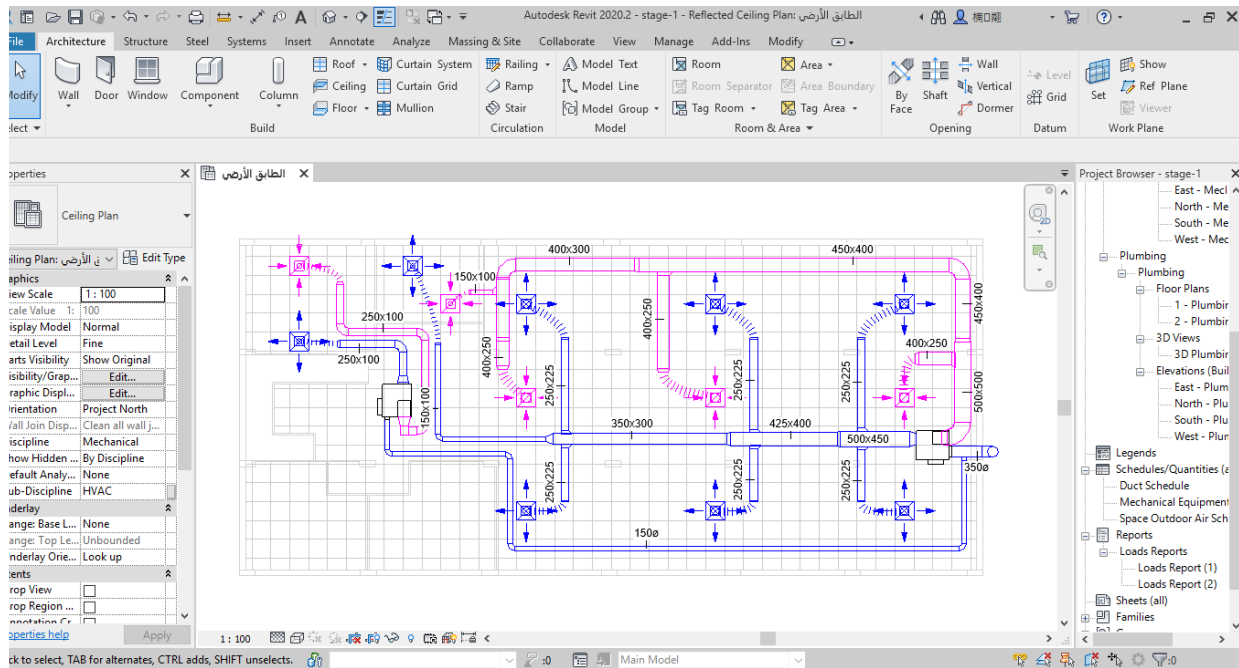
## Space Summary - 3 Space

Input Data	
Area (m²)	14
Volume (m³)	41.97
Wall Area (m²)	28
Roof Area (m²)	14
Door Area (m²)	2
Partition Area (m²)	0
Window Area (m²)	3
Skylight Area (m²)	0

Lighting Load (W)	181
Power Load (W)	226
Number of People	3
Sensible Heat Gain / Person (W)	73
Latent Heat Gain / Person (W)	59
Infiltration Airflow (L/s)	5.5
Space Type	Food Preparation
<b>Calculated Results</b>	
Peak Cooling Total Load (ton)	<b>0.6</b>
Peak Cooling Month and Hour	August 04:00 م
Peak Cooling Sensible Load (ton)	0.6
Peak Cooling Latent Load (ton)	0.0
Peak Cooling Airflow (L/s)	69.3
Peak Heating Load (W)	<b>523</b>
Peak Heating Airflow (L/s)	64.0

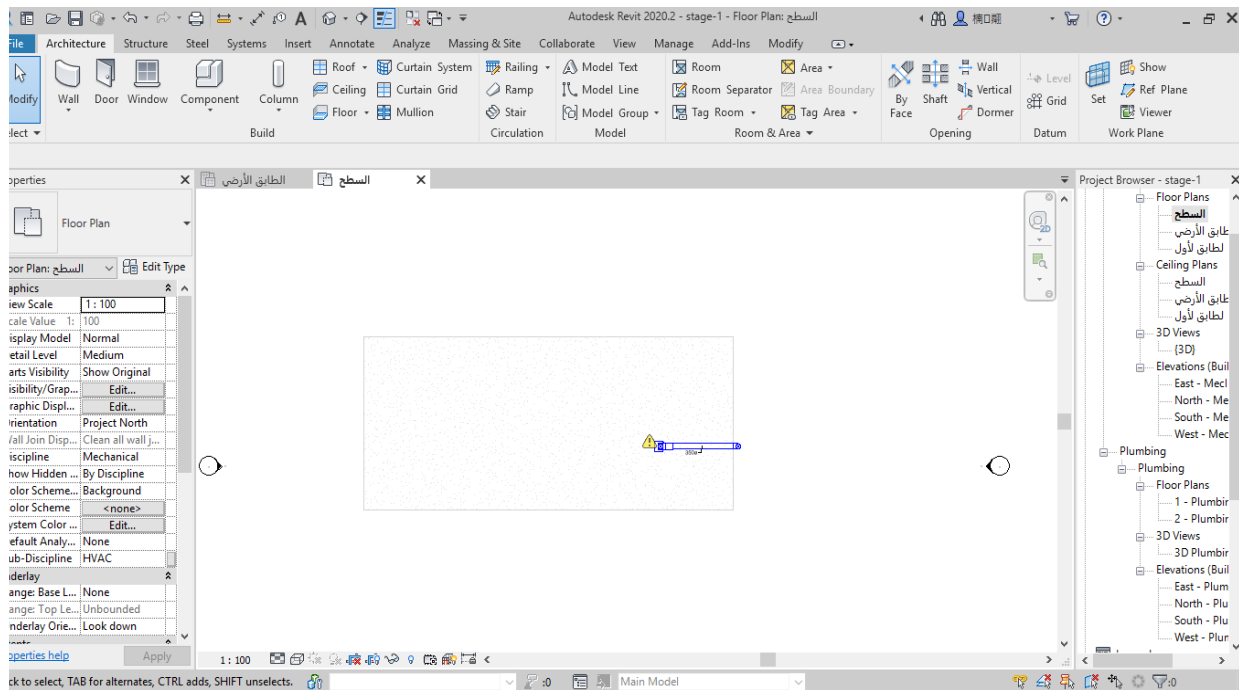
Cooling Components	Total (ton)	Percentage	North (ton)	South (ton)	East (ton)	West (ton)	Northeast (ton)	Southeast (ton)	Northwest (ton)	Southwest (ton)
Wall	0.2	25.02%	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Window	0.2	27.82%	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Door	0.0	0.00%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Roof	0.1	19.95%	-	-	-	-	-	-	-	-
Skylight	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partition	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Infiltration	0.0	6.99%	-	-	-	-	-	-	-	-
Lighting	0.0	7.06%	-	-	-	-	-	-	-	-
Power	0.1	8.83%	-	-	-	-	-	-	-	-
People	0.0	4.33%	-	-	-	-	-	-	-	-
Plenum	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>0.6</b>	<b>100%</b>	<b>0.1</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.2</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
Heating Components	Total (W)	Percentage	North (W)	South (W)	East (W)	West (W)	Northeast (W)	Southeast (W)	Northwest (W)	Southwest (W)
Wall	503	29.55%	273	59	0	171	0	0	0	0
Window	267	15.67%	133	0	0	133	0	0	0	0
Door	0	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0
Roof	229	13.43%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partition	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Skylight	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Infiltration	114	6.71%	-	-	-	-	-	-	-	-
Lighting	-154	-9.03%	-	-	-	-	-	-	-	-
Power	-192	-11.29%	-	-	-	-	-	-	-	-
People	-244	-14.32%	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>523</b>	<b>100%</b>	<b>406</b>	<b>59</b>	<b>0</b>	<b>304</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

ويبين الشكل (4-2) مسقط للطابق الأرضي يظهر تصميم نظام ال HVAC على برنامج ال Revit حيث تظهر مكونات النظام من وحدات VAV و Supply Diffuser و Return Diffuser و Ducts (Supply Air And Return Air):



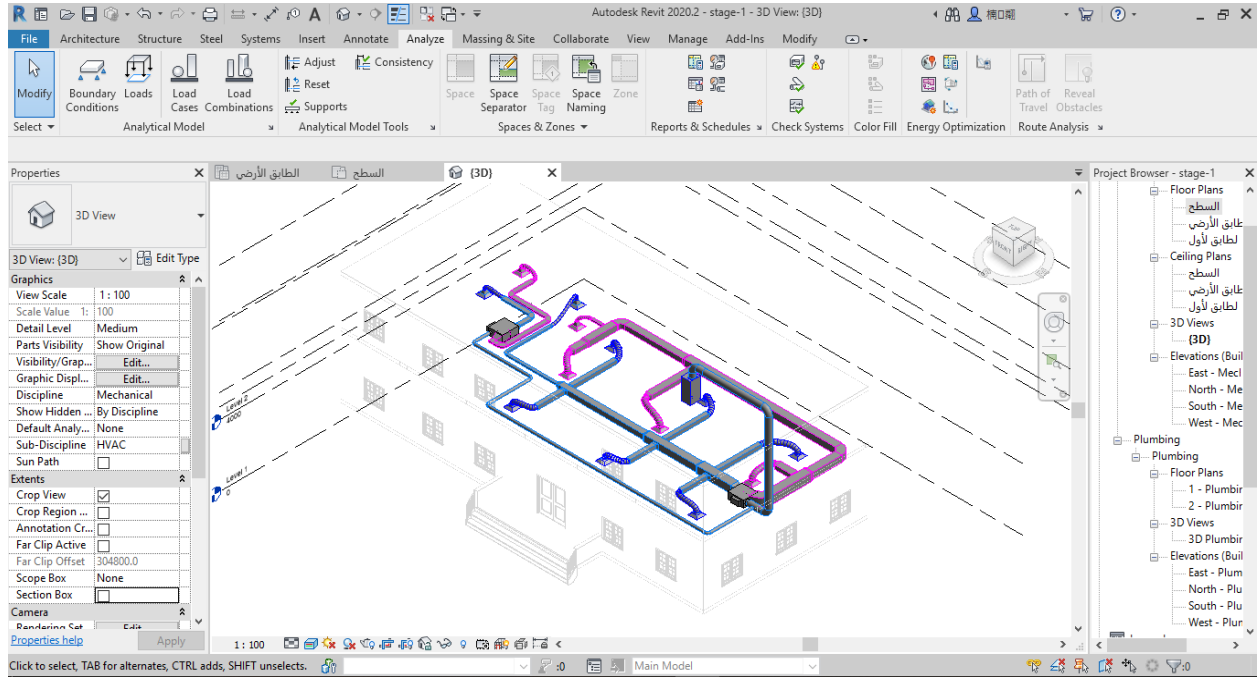
الشكل (2-4): مسقط للطابق الأرضي يظهر تصميم نظام ال HVAC على برنامج ال Revit

وبين الشكل (3-4) مسقط للسطح يظهر توضع وحدة Air Handling Unit:

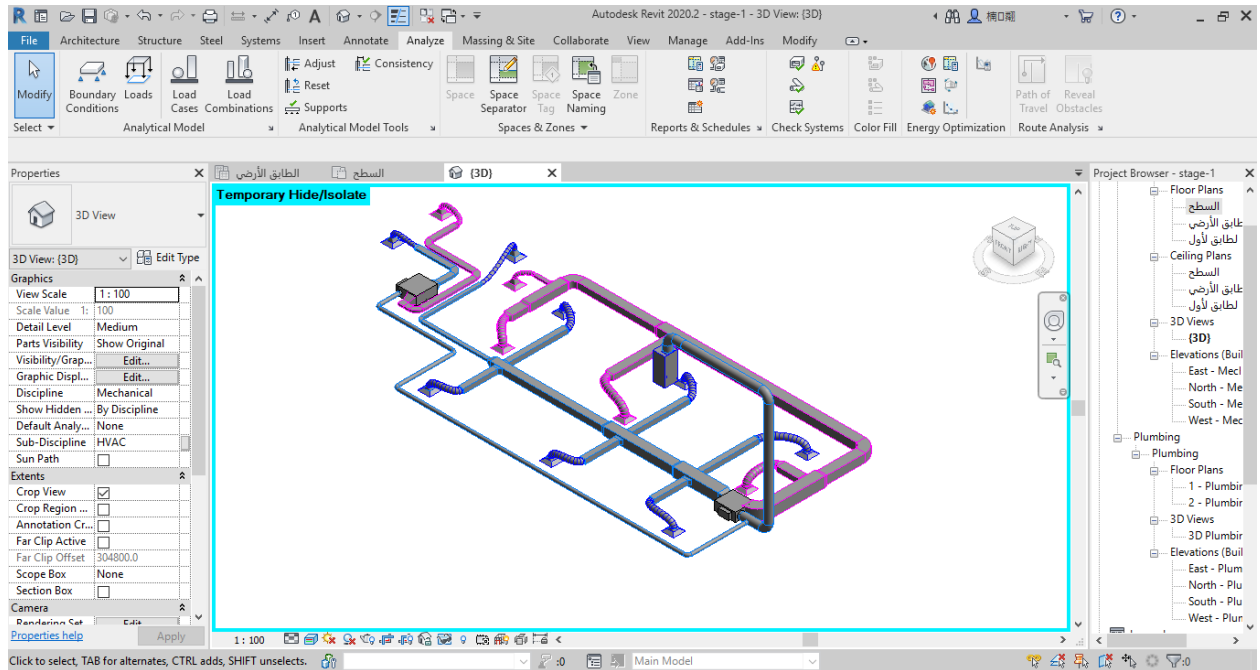


الشكل (3-4): مسقط للسطح يظهر توضع وحدة Air Handling Unit

ويظهر الشكل (3-4) منظور ثلاثي الأبعاد للنظام.



الشكل (3-4): منظور ثلاثي الأبعاد للنظام.



الشكل (4-4): منظور ثلاثي الأبعاد للنظام.

## الحالة الثانية: الدراسة تتم باستخدام عازل من ألواح البوليوريثان سماكة 50 mm

### للجدران والسقف:

في هذا السيناريو، تم إضافة عازل حراري للجدران والسقف، واستخدام زجاج للنوافذ من النوع المزدوج مع الألمنيوم وتم تعديل المدخلات في برنامج Revit بما يتوافق مع ذلك. نتيجةً لذلك، تم تحديث القيم الحرارية، وقام البرنامج تلقائيًا بإصدار تقرير جديد لأحمال التبريد والتدفئة والتهوية لكل قسم من المبنى. استنادًا إلى هذا التقرير، تم تعديل التصميم دون الحاجة للبدء من جديد، كما يتضح من الجداول والصور المرفقة.

### تركيبه الجدران الخارجية:

المادة	السماكة mm	$\lambda$ w/m.k
حجر كلسي	50	1.53
مؤونة اسمنتية	30	1.4
بلوك من البيتون مفرغ	100	1
ألواح البوليوريثان	50	0.023
بلوك من البيتون مفرغ	100	1
مؤونة اسمنتية	30	1.4

$$Ri = 0.13 \frac{W}{m^2 K}$$

$$Ro = 0.03 \frac{W}{m^2 K}$$

### معامل انتقال الحرارة للجدران الخارجية:

$$U = \frac{1}{Ri + \sum \frac{Li}{\lambda i} + Ro}$$

$$U = \frac{1}{0.13 + \frac{0.050}{1.53} + 2 * \frac{0.030}{1.4} + \frac{0.05}{0.023} + \frac{0.200}{1} + 0.03} = 0.35 \frac{W}{m^2 K}$$

تركيبية السقف:

المقطع 1 - 1 :

المادة	السماكة بـ mm	$\lambda$ w/m.k
بلاطة بحص	20	1.6
رمل	30	0.3
مونة اسمنتية	20	1.4
ألواح البوليوريثان	50	0.023
بيتون مسلح	210	1.85
مونة اسمنتية	20	1.4

معامل انتقال الحرارة عبر السقف:

$$\begin{aligned}
 U_1 &= \frac{1}{Ri + \sum \frac{Li}{\lambda i} + Ro} \\
 &= \frac{1}{0.17 + \frac{0.02}{1.6} + \frac{0.030}{0.3} + 2 * \frac{0.02}{1.4} + \frac{0.05}{0.023} + \frac{0.21}{1.85} + 0.03} \\
 &= 0.38 \frac{W}{m^2 K}
 \end{aligned}$$

المقطع 2 - 2 :

المادة	السماكة بـ mm	$\lambda$ w/m.k
بلاطة بحص	20	1.6
رمل	30	0.3
مونة اسمنتية	20	1.4
ألواح البوليوريثان	50	0.023

هوردي	150	0.95
بيتون مسلح	60	1.85
مونة اسمنتية	20	1.4

معامل انتقال الحرارة عبر السقف:

$$U_2 = \frac{1}{\frac{1}{Ri} + \sum \frac{Li}{\lambda i} + \frac{1}{Ro}}$$

$$= \frac{1}{0.17 + \frac{0.02}{1.6} + \frac{0.030}{0.3} + 2 * \frac{0.02}{1.4} + \frac{0.150}{0.95} + \frac{0.05}{0.023} + \frac{0.06}{1.85} + 0.03}$$

$$= 0.369 \frac{W}{m^2 K}$$

وكمثال على ذلك، يحسب معامل الانتقال الحراري للسقف الهوردي والمبين في الشكل

$$U = \frac{U_1 A_1 + U_2 A_2}{A} \quad (W/m^2 \cdot K)$$

حيث :

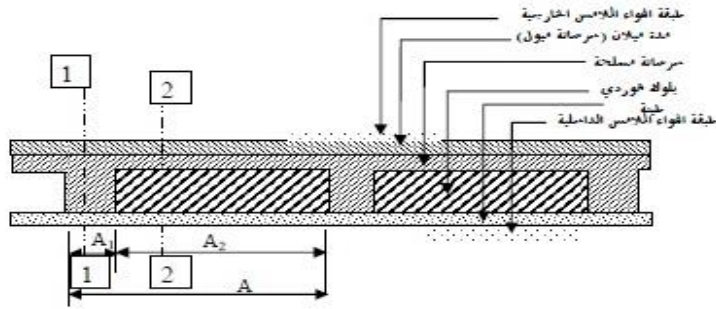
$U_1$  = معامل الانتقال الحراري لجزء العنصر الذي مقطعه (1-1)

$A_1$  = مجموع مساحة الجزء الذي مقطعه (1-1)

$U_2$  = معامل الانتقال الحراري لجزء العنصر المقعد الذي مقطعه (2-2)

$A_2$  = مجموع مساحة الجزء الذي مقطعه (2-2)

$A$  = مجموع المساحات  $(A_1 + A_2)$



مقطع في سقف هوردي

وبالتالي:

$$U = \frac{(0.38 \times 0.16) + (0.369 \times 0.4)}{(0.16 + 0.4)}$$

$$= 0.324 \frac{W}{m^2 K}$$

الأبواب خشبية معامل انتقال الحرارة لها:

$$U = 2.19 \frac{W}{m^2 K}$$

النوافذ من الزجاج المزدوج مع المنيوم معامل انتقال الحرارة لها:

$$U = 1.98 \frac{W}{m^2 K}$$

مزودة بستائر قماشية معامل التظليل لها 0.5

**نورد فيما يلي الأحمال الحرارية للحالة الثانية:**

## Project Summary

Location and Weather	
Project	Project Name
Address	LATTAKIA
Calculation Time	28 آب, 02:44 2025 م
Report Type	Detailed
Latitude	35.36°
Longitude	35.46°
Summer Dry Bulb	32 °C
Summer Wet Bulb	27 °C
Winter Dry Bulb	4 °C
Mean Daily Range	5 °C

## Building Summary

Inputs	
Building Type	Hotel
Area (m²)	212
Volume (m³)	642.90
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (ton)	11.1
Peak Cooling Month and Hour	م 01:00 August
Peak Cooling Sensible Load (ton)	5.2
Peak Cooling Latent Load (ton)	5.8
Maximum Cooling Capacity (ton)	11.0
Peak Cooling Airflow (L/s)	798.0
Peak Heating Load (W)	-373



Peak Heating Airflow (L/s)	672.7
<b>Checksums</b>	
Cooling Load Density (W/m <sup>2</sup> )	183.53
Cooling Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	3.76
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	20.48
Cooling Area / Load (m <sup>2</sup> /kW)	5.45
Heating Load Density (W/m <sup>2</sup> )	-1.76
Heating Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	3.17

## Level Summary - الطابق الأرضي

<b>Inputs</b>	
Area (m <sup>2</sup> )	212
Volume (m <sup>3</sup> )	642.90
<b>Calculated Results</b>	
Peak Cooling Total Load (ton)	<b>7.0</b>
Peak Cooling Month and Hour	August 12:00 م
Peak Cooling Sensible Load (ton)	4.1
Peak Cooling Latent Load (ton)	2.9
Peak Cooling Airflow (L/s)	798.0
Peak Heating Load (W)	<b>-14,385</b>
Peak Heating Airflow (L/s)	672.7
<b>Checksums</b>	
Cooling Load Density (W/m <sup>2</sup> )	116.31
Cooling Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	3.76
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	32.32
Cooling Area / Load (m <sup>2</sup> /kW)	8.60
Heating Load Density (W/m <sup>2</sup> )	-67.76
Heating Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	3.17

## Zone Summary - Default

<b>Inputs</b>	
Area (m <sup>2</sup> )	212
Volume (m <sup>3</sup> )	642.90
Cooling Setpoint	23 °C
Heating Setpoint	21 °C
Supply Air Temperature	12 °C
Number of People	137
Infiltration (L/s)	62.8
Air Volume Calculation Type	VAV - Single Duct
Relative Humidity	62.00% (Calculated)
<b>Psychrometrics</b>	
Psychrometric Message	None
Cooling Coil Entering Dry-Bulb Temperature	31 °C
Cooling Coil Entering Wet-Bulb Temperature	26 °C
Cooling Coil Leaving Dry-Bulb Temperature	12 °C
Cooling Coil Leaving Wet-Bulb Temperature	13 °C
Mixed Air Dry-Bulb Temperature	31 °C
<b>Calculated Results</b>	
Peak Cooling Total Load (ton)	<b>11.0</b>
Peak Cooling Month and Hour	August 12:00 م
Peak Cooling Sensible Load (ton)	5.1
Peak Cooling Latent Load (ton)	5.9
Peak Cooling Airflow (L/s)	798.0

Peak Heating Load (W)	<b>-373</b>
Peak Heating Airflow (L/s)	672.7
Peak Ventilation Airflow (L/s)	672.7
<b>Checksums</b>	
Cooling Load Density (W/m <sup>2</sup> )	182.72
Cooling Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	3.76
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	20.57
Cooling Area / Load (m <sup>2</sup> /kW)	5.47
Heating Load Density (W/m <sup>2</sup> )	-1.76
Heating Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	3.17
Ventilation Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	3.17
Ventilation / Person (L/s)	4.9

Cooling Components	Total (ton)	Percentage	North (ton)	South (ton)	East (ton)	West (ton)	Northeast (ton)	Southeast (ton)	Northwest (ton)	Southwest (ton)
Wall	0.3	2.33%	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Window	0.5	4.70%	0.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Door	0.0	0.38%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Roof	0.1	1.22%	-	-	-	-	-	-	-	-
Skylight	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partition	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Infiltration	0.5	4.66%	-	-	-	-	-	-	-	-
Ventilation	3.9	35.54%	-	-	-	-	-	-	-	-
Lighting	0.6	5.77%	-	-	-	-	-	-	-	-
Power	0.3	2.87%	-	-	-	-	-	-	-	-
People	4.6	41.72%	-	-	-	-	-	-	-	-
Plenum	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Fan Heat	0.1	0.81%	-	-	-	-	-	-	-	-
Reheat	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	<b>11.0</b>	<b>100%</b>	<b>0.2</b>	<b>0.3</b>	<b>0.2</b>	<b>0.1</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
Heating Components	Total (W)	Percentage	North (W)	South (W)	East (W)	West (W)	Northeast (W)	Southeast (W)	Northwest (W)	Southwest (W)
Wall	1,793	4.63%	665	655	230	243	0	0	0	0
Window	628	1.62%	269	135	135	90	0	0	0	0
Door	270	0.70%	0	270	0	0	0	0	0	0
Roof	1,152	2.98%	-	-	-	-	-	-	-	-
Skylight	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partition	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Infiltration	1,309	3.38%	-	-	-	-	-	-	-	-
Ventilation	14,012	36.21%	-	-	-	-	-	-	-	-
Lighting	-2,240	-5.79%	-	-	-	-	-	-	-	-
Power	-1,112	-2.87%	-	-	-	-	-	-	-	-
People	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	16,186	-41.82%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	<b>-373</b>	<b>100%</b>	<b>935</b>	<b>1,059</b>	<b>365</b>	<b>333</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

## Default Spaces

Space Name	Area (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Peak Cooling Load (ton)	Cooling Airflow (L/s)	Peak Heating Load (W)	Heating Airflow (L/s)
<a href="#">1 Space</a>	190	576.03	6.6	752.7	-14,320	602.1
<a href="#">2 Space</a>	8	24.90	0.2	14.1	53	26.3
<a href="#">3 Space</a>	14	41.97	0.4	31.2	-118	44.3

## Space Summary - 1 Space

Input Data	
Area (m <sup>2</sup> )	190
Volume (m <sup>3</sup> )	576.03
Wall Area (m <sup>2</sup> )	280
Roof Area (m <sup>2</sup> )	185
Door Area (m <sup>2</sup> )	10
Partition Area (m <sup>2</sup> )	0
Window Area (m <sup>2</sup> )	15
Skylight Area (m <sup>2</sup> )	0
Lighting Load (W)	2,659
Power Load (W)	1,104
Number of People	133
Sensible Heat Gain / Person (W)	81
Latent Heat Gain / Person (W)	81
Infiltration Airflow (L/s)	54.0
Space Type	Dining Area - Hotel
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (ton)	6.6
Peak Cooling Month and Hour	August 12:00 م
Peak Cooling Sensible Load (ton)	3.8
Peak Cooling Latent Load (ton)	2.8
Peak Cooling Airflow (L/s)	752.7
Peak Heating Load (W)	-14,320
Peak Heating Airflow (L/s)	602.1

Cooling Components	Total (ton)	Percentage	North (ton)	South (ton)	East (ton)	West (ton)	Northeast (ton)	Southeast (ton)	Northwest (ton)	Southwest (ton)
Wall	0.2	3.56%	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Window	0.4	6.72%	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Door	0.0	0.64%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Roof	0.1	1.80%	-	-	-	-	-	-	-	-
Skylight	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partition	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Infiltration	0.4	6.67%	-	-	-	-	-	-	-	-
Lighting	0.6	8.72%	-	-	-	-	-	-	-	-
Power	0.2	3.62%	-	-	-	-	-	-	-	-
People	4.5	68.27%	-	-	-	-	-	-	-	-
Plenum	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	6.6	100%	0.1	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Heating Components	Total (W)	Percentage	North (W)	South (W)	East (W)	West (W)	Northeast (W)	Southeast (W)	Northwest (W)	Southwest (W)
Wall	1,543	6.64%	507	617	228	191	0	0	0	0
Window	494	2.13%	180	135	135	45	0	0	0	0
Door	270	1.16%	0	270	0	0	0	0	0	0
Roof	1,025	4.41%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partition	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Skylight	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Infiltration	1,125	4.84%	-	-	-	-	-	-	-	-
Lighting	-2,032	-8.75%	-	-	-	-	-	-	-	-
Power	-844	-3.63%	-	-	-	-	-	-	-	-
People	-	-68.44%	-	-	-	-	-	-	-	-
	15,900									
Total	-	100%	687	1,022	362	236	0	0	0	0
	14,320									

## Space Summary - 2 Space

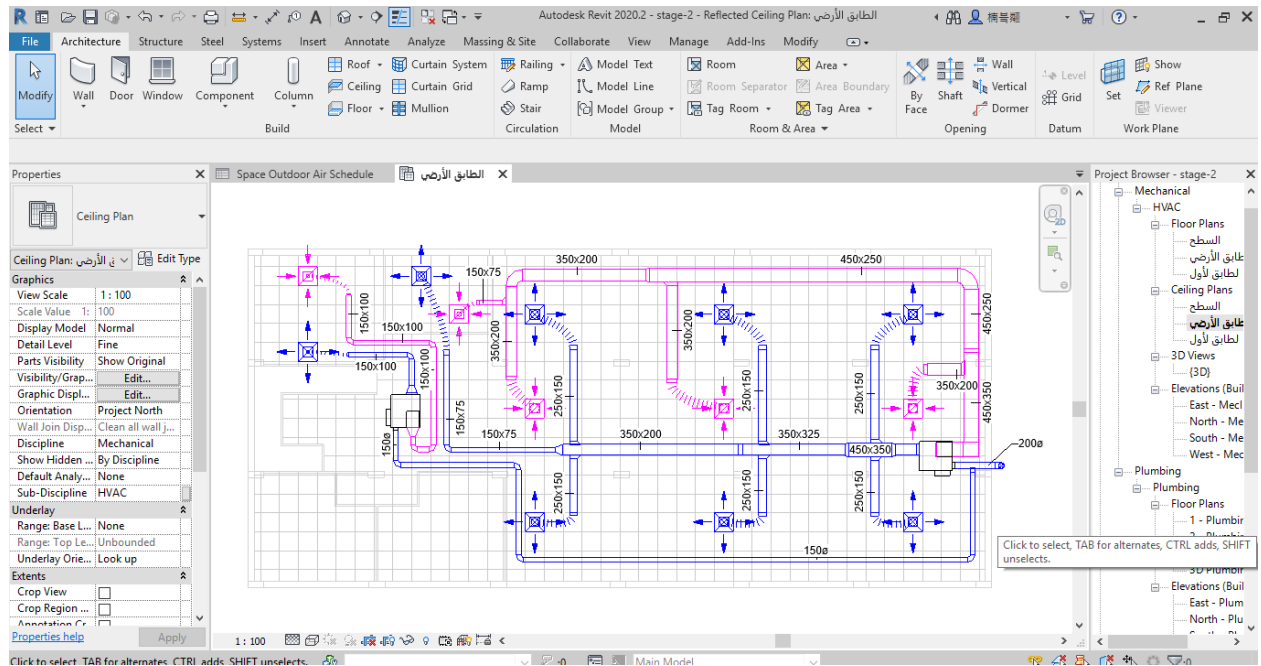
Input Data	
Area (m²)	8
Volume (m³)	24.90
Wall Area (m²)	17
Roof Area (m²)	9
Door Area (m²)	2
Partition Area (m²)	0
Window Area (m²)	1
Skylight Area (m²)	0
Lighting Load (W)	98
Power Load (W)	134
Number of People	1
Sensible Heat Gain / Person (W)	73
Latent Heat Gain / Person (W)	59
Infiltration Airflow (L/s)	3.4
Space Type	Office - Enclosed
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (ton)	0.2
Peak Cooling Month and Hour	August 04:00 م
Peak Cooling Sensible Load (ton)	0.1
Peak Cooling Latent Load (ton)	0.0
Peak Cooling Airflow (L/s)	14.1
Peak Heating Load (W)	53
Peak Heating Airflow (L/s)	26.3

Cooling Components	Total (ton)	Percentage	North (ton)	South (ton)	East (ton)	West (ton)	Northeast (ton)	Southeast (ton)	Northwest (ton)	Southwest (ton)
Wall	0.0	12.19%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Window	0.0	13.80%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Door	0.0	0.00%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Roof	0.0	8.89%	-	-	-	-	-	-	-	-
Skylight	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partition	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Infiltration	0.0	17.99%	-	-	-	-	-	-	-	-
Lighting	0.0	15.98%	-	-	-	-	-	-	-	-
Power	0.0	21.79%	-	-	-	-	-	-	-	-
People	0.0	9.37%	-	-	-	-	-	-	-	-
Plenum	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>0.2</b>	<b>100%</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
Heating Components	Total (W)	Percentage	North (W)	South (W)	East (W)	West (W)	Northeast (W)	Southeast (W)	Northwest (W)	Southwest (W)
Wall	96	20.74%	74	19	2	0	0	0	0	0
Window	45	9.68%	45	0	0	0	0	0	0	0
Door	0	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0
Roof	47	10.18%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partition	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Skylight	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Infiltration	70	15.09%	-	-	-	-	-	-	-	-
Lighting	-77	-16.49%	-	-	-	-	-	-	-	-
Power	-104	-22.49%	-	-	-	-	-	-	-	-
People	-25	-5.33%	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>53</b>	<b>100%</b>	<b>119</b>	<b>19</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

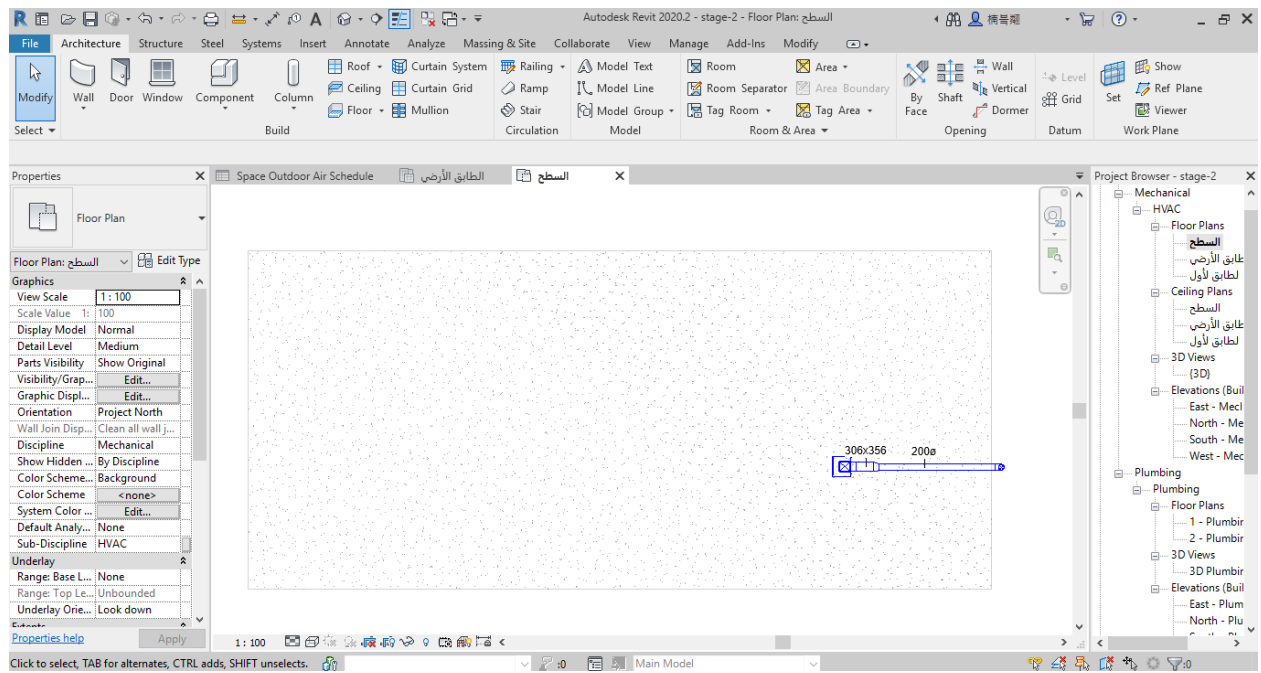
## Space Summary - 3 Space

Input Data	
Area (m²)	14
Volume (m³)	41.97
Wall Area (m²)	28
Roof Area (m²)	14
Door Area (m²)	2
Partition Area (m²)	0
Window Area (m²)	3
Skylight Area (m²)	0
Lighting Load (W)	181
Power Load (W)	226
Number of People	3
Sensible Heat Gain / Person (W)	73
Latent Heat Gain / Person (W)	59
Infiltration Airflow (L/s)	5.5
Space Type	Food Preparation
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (ton)	0.4
Peak Cooling Month and Hour	August 05:00 م
Peak Cooling Sensible Load (ton)	0.3
Peak Cooling Latent Load (ton)	0.1
Peak Cooling Airflow (L/s)	31.2
Peak Heating Load (W)	-118
Peak Heating Airflow (L/s)	44.3

Cooling Components	Total (ton)	Percentage	North (ton)	South (ton)	East (ton)	West (ton)	Northeast (ton)	Southeast (ton)	Northwest (ton)	Southwest (ton)
Wall	0.0	10.44%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Window	0.1	38.03%	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Door	0.0	0.00%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Roof	0.0	6.61%	-	-	-	-	-	-	-	-
Skylight	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partition	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Infiltration	0.0	12.42%	-	-	-	-	-	-	-	-
Lighting	0.0	8.40%	-	-	-	-	-	-	-	-
Power	0.0	10.51%	-	-	-	-	-	-	-	-
People	0.0	13.58%	-	-	-	-	-	-	-	-
Plenum	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>0.4</b>	<b>100%</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.1</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
Heating Components	Total (W)	Percentage	North (W)	South (W)	East (W)	West (W)	Northeast (W)	Southeast (W)	Northwest (W)	Southwest (W)
Wall	154	15.50%	84	18	0	52	0	0	0	0
Window	90	9.03%	45	0	0	45	0	0	0	0
Door	0	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0
Roof	80	8.04%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partition	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Skylight	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Infiltration	114	11.49%	-	-	-	-	-	-	-	-
Lighting	-131	-13.20%	-	-	-	-	-	-	-	-
Power	-164	-16.49%	-	-	-	-	-	-	-	-
People	-261	-26.26%	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>-118</b>	<b>100%</b>	<b>128</b>	<b>18</b>	<b>0</b>	<b>97</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>



الشكل (4-5): مسقط للطابق الأرضي يظهر تصميم نظام ال HVAC في الحالة الثانية



الشكل (4-6): مسقط للسطح يظهر توضع وحدة ال AHU في الحالة الثانية

### 📌 الحالة الثالثة: الدراسة تتم بدون عازل حراري للجدران مع تغيير مواصفات الحيزات

المعمارية حيث تم استبدال صالة المطعم ب صالة رياضية والمطبخ بغرفة ساونا:

في هذا السيناريو، تم دراسة تأثير تطبيق تغيير في نمط استخدام المبنى، حيث شمل التغيير تعديل استخدام المساحات الموجودة في الطابق الأرضي وتحديث قيم المعاملات الحرارية ذات الصلة. استنادًا إلى هذه التعديلات، قام برنامج Revit بإنتاج تقرير جديد يحتوي على أحمال التدفئة والتبريد، وتدفقات الهواء المطلوبة، وغيرها من القيم الحرارية المهمة. بناءً على نتائج هذا التقرير، تم تعديل تصميم نظام ال HVAC داخل البرنامج، مما يتيح تقييم حجم التغيير وتأثيره على أداء النظام قبل تنفيذ أي تعديل فعلي في الموقع. كما توضح الجداول والصور المرفقة التغيرات الناتجة في الأحمال والتصميم بشكل دقيق.

#### تركيبة الجدران الخارجية:

المادة	السماكة mm	$\lambda$ w/m.k
حجر كلسي	50	1.53
مؤونة اسمنتية	30	1.4
بلوك من البيتون مفرغ	200	1
مؤونة اسمنتية	30	1.4

$$Ri = 0.13 \frac{W}{m^2 K}$$

$$Ro = 0.03 \frac{W}{m^2 K}$$

#### معامل انتقال الحرارة للجدران الخارجية:

$$U = \frac{1}{Ri + \sum \frac{Li}{\lambda_i} + Ro}$$

$$U = \frac{1}{0.13 + \frac{0.050}{1.53} + 2 * \frac{0.030}{1.4} + \frac{0.200}{1} + 0.03} = 1.14 \frac{W}{m^2 K}$$

#### تركيبة السقف:

## المقطع 1 - 1 :

المادة	السماكة بـ mm	$\lambda$ w/m.k
بلاطة بحص	20	1.6
رمل	30	0.3
مونة اسمنتية	20	1.4
بيتون مسلح	210	1.85
مونة اسمنتية	20	1.4

معامل انتقال الحرارة عبر السقف:

$$U_1 = \frac{1}{Ri + \sum \frac{Li}{\lambda i} + Ro}$$

$$= \frac{1}{0.17 + \frac{0.02}{1.6} + \frac{0.030}{0.3} + 2 * \frac{0.02}{1.4} + \frac{0.21}{1.85} + 0.03}$$

$$= 1.14 \frac{W}{m^2 K}$$

## المقطع 2 - 2 :

المادة	السماكة بـ mm	$\lambda$ w/m.k
بلاطة بحص	20	1.6
رمل	30	0.3
مونة اسمنتية	20	1.4
هوردي	150	0.95
بيتون مسلح	60	1.85
مونة اسمنتية	20	1.4

معامل انتقال الحرارة عبر السقف:



$$U_2 = \frac{1}{Ri + \sum \frac{L_i}{\lambda_i} + Ro}$$

$$= \frac{1}{0.17 + \frac{0.02}{1.6} + \frac{0.030}{0.3} + 2 * \frac{0.02}{1.4} + \frac{0.150}{0.95} + \frac{0.06}{1.85} + 0.03}$$

$$= 0.8 \frac{W}{m^2 K}$$

وكمثال على ذلك، يحسب معامل الانتقال الحراري للسقف الموزدي والمبين في الشكل

$$U = \frac{U_1 A_1 + U_2 A_2}{A} \quad (W/m^2 \cdot K)$$

حيث :

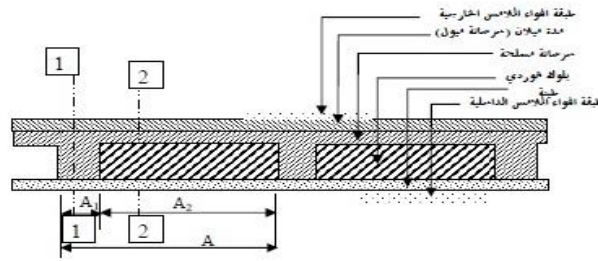
$U_1$  = معامل الانتقال الحراري لجزء العنصر الذي مقطعه (1-1)

$A_1$  = مجموع مساحة الجزء الذي مقطعه (1-1)

$U_2$  = معامل الانتقال الحراري لجزء العنصر المقده الذي مقطعه (2-2)

$A_2$  = مجموع مساحة الجزء الذي مقطعه (2-2)

$A$  = مجموع المساحات ( $A_1 + A_2$ )



مقطع في سقف موزدي

وبالتالي:

$$U = \frac{(1.14 \times 0.16) + (0.8 \times 0.4)}{(0.16 + 0.4)}$$

$$= 0.9 \frac{W}{m^2 K}$$

الأبواب خشبية معامل انتقال الحرارة لها:

$$U = 2.19 \frac{W}{m^2 K}$$

النوافذ من الزجاج العادي المفرد مع الألمنيوم معامل انتقال الحرارة لها:

$$U = 5.9 \frac{W}{m^2 K}$$

مزودة بستائر قماشية معامل التظليل لها 0.5

نورد فيما يلي الأحمال الحرارية للحالة الثالثة:

## Project Summary

Location and Weather	
Project	Project Name
Address	LATTAKIA
Calculation Time	28 آب, 2025 م
Report Type	Detailed
Latitude	35.36°
Longitude	35.46°
Summer Dry Bulb	32 °C
Summer Wet Bulb	27 °C
Winter Dry Bulb	4 °C
Mean Daily Range	5 °C

## Building Summary

Inputs	
Building Type	Gymnasium
Area (m²)	212
Volume (m³)	642.90
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (ton)	17.5
Peak Cooling Month and Hour	م 03:00 أغسطس
Peak Cooling Sensible Load (ton)	10.4
Peak Cooling Latent Load (ton)	7.1
Maximum Cooling Capacity (ton)	17.5
Peak Cooling Airflow (L/s)	2,514.2
Peak Heating Load (W)	-8,852
Peak Heating Airflow (L/s)	724.0
Checksums	
Cooling Load Density (W/m²)	289.47
Cooling Flow Density (L/(s·m²))	11.84
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	40.91
Cooling Area / Load (m²/kW)	3.45
Heating Load Density (W/m²)	-41.69
Heating Flow Density (L/(s·m²))	3.41

## الطابق الأرضي - Level Summary

Inputs	
Area (m²)	212
Volume (m³)	642.90
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (ton)	14.0
Peak Cooling Month and Hour	م 03:00 أغسطس
Peak Cooling Sensible Load (ton)	9.3
Peak Cooling Latent Load (ton)	4.7
Peak Cooling Airflow (L/s)	2,514.2

Peak Heating Load (W)	<b>-15,122</b>
Peak Heating Airflow (L/s)	724.0
<b>Checksums</b>	
Cooling Load Density (W/m <sup>2</sup> )	231.88
Cooling Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	11.84
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	51.07
Cooling Area / Load (m <sup>2</sup> /kW)	4.31
Heating Load Density (W/m <sup>2</sup> )	-71.23
Heating Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	3.41

## Zone Summary - Default

<b>Inputs</b>	
Area (m <sup>2</sup> )	212
Volume (m <sup>3</sup> )	642.90
Cooling Setpoint	23 °C
Heating Setpoint	21 °C
Supply Air Temperature	12 °C
Number of People	59
Infiltration (L/s)	62.8
Air Volume Calculation Type	VAV - Single Duct
Relative Humidity	58.00% (Calculated)
<b>Psychrometrics</b>	
Psychrometric Message	None
Cooling Coil Entering Dry-Bulb Temperature	24 °C
Cooling Coil Entering Wet-Bulb Temperature	19 °C
Cooling Coil Leaving Dry-Bulb Temperature	9 °C
Cooling Coil Leaving Wet-Bulb Temperature	10 °C
Mixed Air Dry-Bulb Temperature	24 °C
<b>Calculated Results</b>	
Peak Cooling Total Load (ton)	<b>17.5</b>
Peak Cooling Month and Hour	August 03:00 p
Peak Cooling Sensible Load (ton)	10.4
Peak Cooling Latent Load (ton)	7.1
Peak Cooling Airflow (L/s)	2,514.2
Peak Heating Load (W)	<b>-8,852</b>
Peak Heating Airflow (L/s)	724.0
Peak Ventilation Airflow (L/s)	301.0
<b>Checksums</b>	
Cooling Load Density (W/m <sup>2</sup> )	289.47
Cooling Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	11.84
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	40.91
Cooling Area / Load (m <sup>2</sup> /kW)	3.45
Heating Load Density (W/m <sup>2</sup> )	-41.69
Heating Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	3.41
Ventilation Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	1.42
Ventilation / Person (L/s)	5.1

Cooling Component s	Total (ton)	Percentage	North (ton)	South (ton)	East (ton)	West (ton)	Northeast (ton)	Southeast (ton)	Northwest (ton)	Southwest (ton)
Wall	2.3	12.91%	0.5	1.1	0.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
Window	0.9	5.40%	0.3	0.3	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Door	0.1	0.79%	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Roof	2.0	11.65%	-	-	-	-	-	-	-	-

Skylight	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partition	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Infiltration	0.7	4.26%	-	-	-	-	-	-	-	-
Ventilation	3.2	18.29%	-	-	-	-	-	-	-	-
Lighting	0.8	4.45%	-	-	-	-	-	-	-	-
Power	0.4	2.09%	-	-	-	-	-	-	-	-
People	6.7	38.56%	-	-	-	-	-	-	-	-
Plenum	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Fan Heat	0.3	1.60%	-	-	-	-	-	-	-	-
Reheat	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	17.5	100%	0.8	1.5	0.4	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
Heating Component s	Total (W)	Percentage	North (W)	South (W)	East (W)	West (W)	Northeast (W)	Southeast (W)	Northwest (W)	Southwest (W)
Wall	5,853	12.57%	2,171	2,138	751	793	0	0	0	0
Window	1,867	4.01%	800	400	400	267	0	0	0	0
Door	270	0.58%	0	270	0	0	0	0	0	0
Roof	3,295	7.07%	-	-	-	-	-	-	-	-
Skylight	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partition	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Infiltration	1,309	2.81%	-	-	-	-	-	-	-	-
Ventilation	6,270	13.46%	-	-	-	-	-	-	-	-
Lighting	-2,738	-5.88%	-	-	-	-	-	-	-	-
Power	-1,284	-2.76%	-	-	-	-	-	-	-	-
People	23,694	-50.87%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	-8,852	100%	2,972	2,807	1,151	1,060	0	0	0	0

## Default Spaces

Space Name	Area (m²)	Volume (m³)	Peak Cooling Load (ton)	Cooling Airflow (L/s)	Peak Heating Load (W)	Heating Airflow (L/s)
<a href="#">1 Space</a>	190	576.03	12.9	2,322.1	-16,115	622.5
<a href="#">2 Space</a>	8	24.90	0.3	61.8	397	37.5
<a href="#">3 Space</a>	14	41.97	0.8	130.4	597	64.0

## Space Summary - 1 Space

Input Data	
Area (m²)	190
Volume (m³)	576.03
Wall Area (m²)	280
Roof Area (m²)	185
Door Area (m²)	10
Partition Area (m²)	0
Window Area (m²)	15
Skylight Area (m²)	0
Lighting Load (W)	2,863
Power Load (W)	1,104
Number of People	57
Sensible Heat Gain / Person (W)	208
Latent Heat Gain / Person (W)	319
Infiltration Airflow (L/s)	54.0

Space Type	Playing Area Gymnasium
<b>Calculated Results</b>	
Peak Cooling Total Load (ton)	<b>12.9</b>
Peak Cooling Month and Hour	August 03:00 μ
Peak Cooling Sensible Load (ton)	8.3
Peak Cooling Latent Load (ton)	4.6
Peak Cooling Airflow (L/s)	2,322.1
Peak Heating Load (W)	<b>-16,115</b>
Peak Heating Airflow (L/s)	622.5

Cooling Components	Total (ton)	Percentage	North (ton)	South (ton)	East (ton)	West (ton)	Northeast (ton)	Southeast (ton)	Northwest (ton)	Southwest (ton)
Wall	2.0	15.31%	0.4	1.0	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Window	0.7	5.60%	0.2	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Door	0.1	1.07%	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Roof	1.8	13.82%	-	-	-	-	-	-	-	-
Skylight	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partition	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Infiltration	0.6	4.94%	-	-	-	-	-	-	-	-
Lighting	0.7	5.51%	-	-	-	-	-	-	-	-
Power	0.3	2.12%	-	-	-	-	-	-	-	-
People	6.7	51.63%	-	-	-	-	-	-	-	-
Plenum	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>12.9</b>	<b>100%</b>	<b>0.6</b>	<b>1.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
Heating Components	Total (W)	Percentage	North (W)	South (W)	East (W)	West (W)	Northeast (W)	Southeast (W)	Northwest (W)	Southwest (W)
Wall	5,036	13.33%	1,656	2,015	743	622	0	0	0	0
Window	1,467	3.88%	533	400	400	133	0	0	0	0
Door	270	0.71%	0	270	0	0	0	0	0	0
Roof	2,932	7.76%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partition	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Skylight	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Infiltration	1,125	2.98%	-	-	-	-	-	-	-	-
Lighting	-2,505	-6.63%	-	-	-	-	-	-	-	-
Power	-966	-2.56%	-	-	-	-	-	-	-	-
People	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23,474	-62.14%	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>-</b>	<b>100%</b>	<b>2,189</b>	<b>2,685</b>	<b>1,143</b>	<b>756</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	<b>16,115</b>									

## Space Summary - 2 Space

Input Data	
Area (m²)	8
Volume (m³)	24.90
Wall Area (m²)	17
Roof Area (m²)	9
Door Area (m²)	2
Partition Area (m²)	0
Window Area (m²)	1
Skylight Area (m²)	0
Lighting Load (W)	98
Power Load (W)	134
Number of People	1

Sensible Heat Gain / Person (W)	73	
Latent Heat Gain / Person (W)	59	
Infiltration Airflow (L/s)	3.4	
Space Type	Office - Enclosed	
Calculated Results		
Peak Cooling Total Load (ton)	0.3	
Peak Cooling Month and Hour	August 03:00 p	
Peak Cooling Sensible Load (ton)	0.3	
Peak Cooling Latent Load (ton)	0.0	
Peak Cooling Airflow (L/s)	61.8	
Peak Heating Load (W)	397	
Peak Heating Airflow (L/s)	37.5	

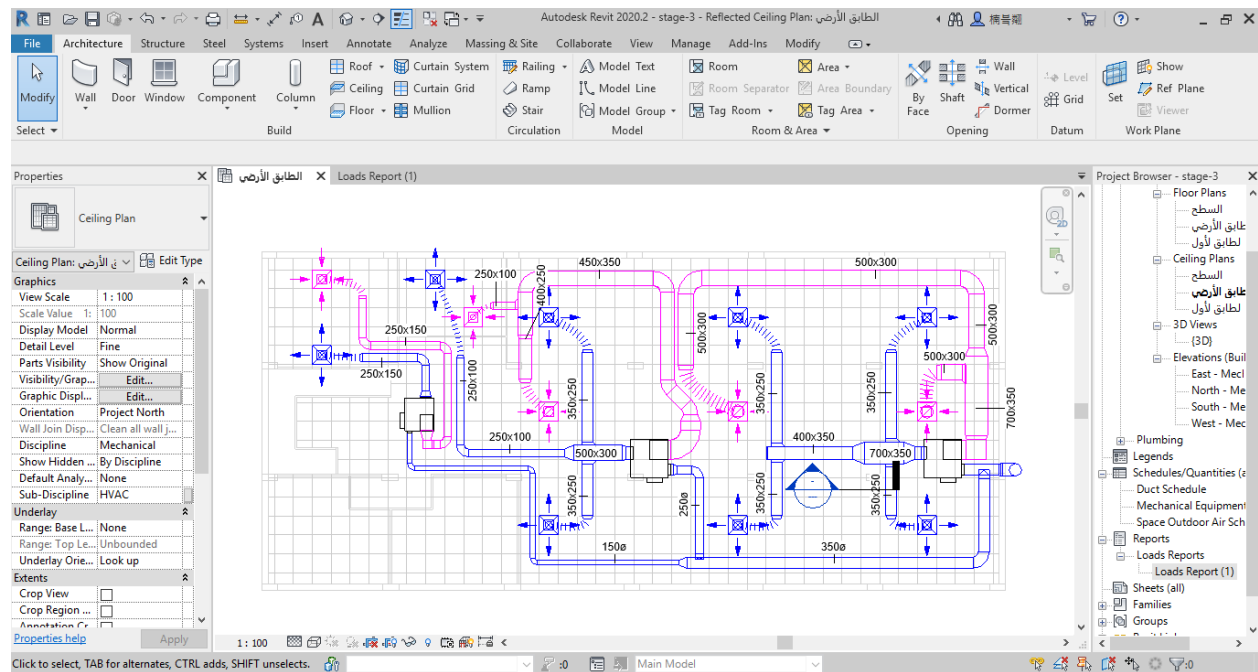
Cooling Components	Total (ton)	Percentage	North (ton)	South (ton)	East (ton)	West (ton)	Northeast (ton)	Southeast (ton)	Northwest (ton)	Southwest (ton)
Wall	0.1	27.69%	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Window	0.0	12.69%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Door	0.0	0.00%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Roof	0.1	26.90%	-	-	-	-	-	-	-	-
Skylight	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partition	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Infiltration	0.0	11.57%	-	-	-	-	-	-	-	-
Lighting	0.0	7.18%	-	-	-	-	-	-	-	-
Power	0.0	9.79%	-	-	-	-	-	-	-	-
People	0.0	4.17%	-	-	-	-	-	-	-	-
Plenum	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	<b>0.3</b>	<b>100%</b>	<b>0.1</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
Heating Components	Total (W)	Percentage	North (W)	South (W)	East (W)	West (W)	Northeast (W)	Southeast (W)	Northwest (W)	Southwest (W)
Wall	314	34.58%	243	63	8	0	0	0	0	0
Window	133	14.69%	133	0	0	0	0	0	0	0
Door	0	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0
Roof	135	14.87%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partition	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Skylight	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Infiltration	70	7.71%	-	-	-	-	-	-	-	-
Lighting	-87	-9.56%	-	-	-	-	-	-	-	-
Power	-118	-13.04%	-	-	-	-	-	-	-	-
People	-50	-5.56%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	<b>397</b>	<b>100%</b>	<b>377</b>	<b>63</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

## Space Summary - 3 Space

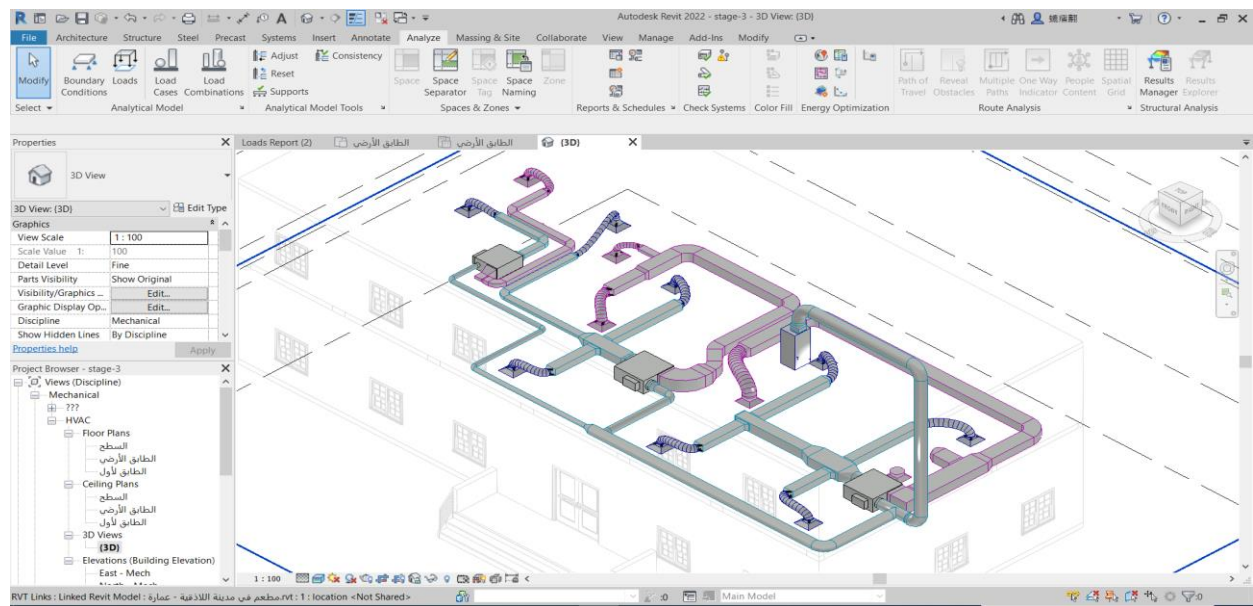
Input Data	
Area (m²)	14
Volume (m³)	41.97
Wall Area (m²)	28
Roof Area (m²)	14
Door Area (m²)	2
Partition Area (m²)	0
Window Area (m²)	3
Skylight Area (m²)	0
Lighting Load (W)	166
Power Load (W)	226
Number of People	2
Sensible Heat Gain / Person (W)	73

Latent Heat Gain / Person (W)	59	
Infiltration Airflow (L/s)	5.5	
Space Type	Restrooms	
Calculated Results		
Peak Cooling Total Load (ton)	0.8	
Peak Cooling Month and Hour	August 04:00 p	
Peak Cooling Sensible Load (ton)	0.7	
Peak Cooling Latent Load (ton)	0.1	
Peak Cooling Airflow (L/s)	130.4	
Peak Heating Load (W)	597	
Peak Heating Airflow (L/s)	64.0	

Cooling Components	Total (ton)	Percentage	North (ton)	South (ton)	East (ton)	West (ton)	Northeast (ton)	Southeast (ton)	Northwest (ton)	Southwest (ton)
Wall	0.2	25.85%	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Window	0.2	26.11%	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
Door	0.0	0.00%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Roof	0.2	20.53%	-	-	-	-	-	-	-	-
Skylight	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partition	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Infiltration	0.1	8.41%	-	-	-	-	-	-	-	-
Lighting	0.0	5.41%	-	-	-	-	-	-	-	-
Power	0.1	7.38%	-	-	-	-	-	-	-	-
People	0.0	6.32%	-	-	-	-	-	-	-	-
Plenum	0.0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	<b>0.8</b>	<b>100%</b>	<b>0.1</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.3</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
Heating Components	Total (W)	Percentage	North (W)	South (W)	East (W)	West (W)	Northeast (W)	Southeast (W)	Northwest (W)	Southwest (W)
Wall	503	30.88%	273	59	0	171	0	0	0	0
Window	267	16.38%	133	0	0	133	0	0	0	0
Door	0	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0
Roof	229	14.04%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partition	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Skylight	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Infiltration	114	7.01%	-	-	-	-	-	-	-	-
Lighting	-146	-8.99%	-	-	-	-	-	-	-	-
Power	-200	-12.25%	-	-	-	-	-	-	-	-
People	-170	-10.44%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	<b>597</b>	<b>100%</b>	<b>406</b>	<b>59</b>	<b>0</b>	<b>304</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>



الشكل (4-7): مسقط للطابق الأرضي يظهر تصميم نظام ال HVAC في الحالة الثالثة



الشكل (4-8): منظور ثلاثي الأبعاد للنظام في الحالة الثالثة



## ملخص واستنتاجات القسم العملي:

أظهرت المقارنة بين الصور والجداول المدرجة في الحالات الثلاث وجود فروق واضحة في أبعاد مجاري الهواء وتدفقات الهواء المطلوبة. ففي الحالة الأولى والثانية برز الاختلاف نتيجة انخفاض الحمل الحراري الناجم عن استخدام العزل الحراري، مما انعكس على أبعاد الدكتات وكميات التدفق. أما في الحالة الثالثة، فقد كانت التغييرات أكثر شمولاً، إذ شملت بالإضافة إلى تعديل أبعاد مجاري الهواء والحمل الحراري وتدفق الهواء المطلوب، إدراج وحدة VAV جديدة.

وقد أتاح استخدام البرنامج إجراء هذه التعديلات بسهولة، الأمر الذي ساعد على تكوين تصور دقيق لحجم النظام الجديد والتغييرات المطلوبة قبل التنفيذ الفعلي، وبالتالي إمكانية تقدير التكاليف وتحديد حجم العمل اللازم بشكل مبكر. وعليه، يتضح أن لتقنية الـ BIM دوراً محورياً في تسهيل تصميم مثل هذه الأنظمة ورفع كفاءتها منذ المراحل الأولى للمشروع.

### وهنا لابد من التنويه إلى:

1. يوفر البرنامج إمكانية إدخال القيم الحرارية الخاصة بكل عنصر من عناصر المبنى بصورة دقيقة، حيث تختلف هذه القيم تبعاً لخصائص المواد المستخدمة في الجدران والأبواب والزجاج، فضلاً عن نمط استخدام البناء ونسبة التسرب الحراري. ويتم ذلك عبر تبويب Analyze باستخدام أداة Heating and Cooling Loads، التي تُمكن من إدراج هذه المعطيات وتحليلها ضمن بيئة النمذجة.
2. بعد تحديد نوع المبنى والمعاملات الحرارية لجميع مكوناته، يتم الانتقال إلى كل فراغ (Space) على حدة لتحديد نمط الاستخدام والقيم المرتبطة به. وبناءً على هذه المدخلات، يقوم البرنامج بحساب عدد الأشخاص المتوقع وجودهم في الفراغ والأحمال الكهربائية المرتبطة به، اعتماداً على المساحة والبيانات المدخلة.
3. يتيح البرنامج مرونة عالية في تعديل مدخلات الاستخدام، مثل أوقات تواجد الأشخاص وأعدادهم، بما يتلاءم مع ظروف التشغيل الفعلية. غير أنه في هذه الدراسة تم الاعتماد على القيم الافتراضية التي يوفرها البرنامج، وذلك نظراً لكونها مبنية على معايير عالمية معتمدة، مما يعزز موثوقية النتائج ودقتها.
4. ينتج عن إدخال جميع البيانات إنشاء تقارير تفصيلية لكل فراغ من المبنى، تتضمن قيم أحمال التبريد والتدفئة بالوحدات المحددة مسبقاً. وتُعد هذه التقارير أداة أساسية في بناء النموذج الحراري واختيار المعدات

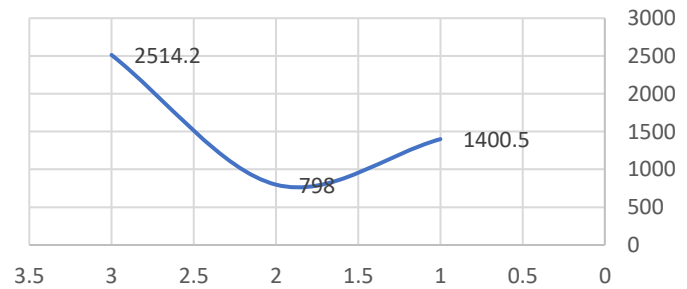
المناسبة بما يتوافق مع النتائج التصميمية، الأمر الذي يختصر الوقت والجهد المبذول في الحسابات اليدوية التقليدية.

5. يسهم البرنامج في تبسيط العملية التصميمية من خلال أتمتة الحسابات المعقدة وتوفير نتائج دقيقة، مما يقلل من احتمالية الوقوع في أخطاء التصميم. كما يتيح دمج النموذج المعماري مع النظام الحراري، وهو ما يساعد في تحديد مواقع مكونات نظام HVAC بدقة عالية، بالإضافة إلى إنشاء بعض هذه المكونات بصورة أوتوماتيكية وتوليد سيناريوهات تصميمية متعددة يمكن مقارنتها واختيار الأنسب منها.

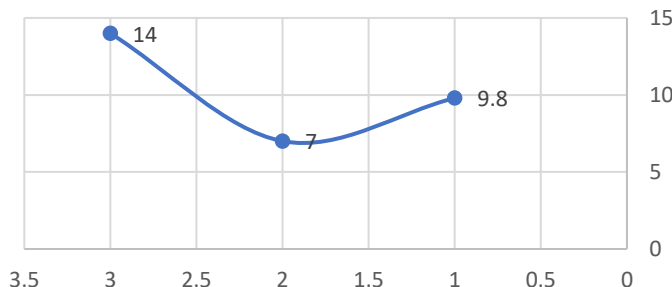
6. تكشف التقارير الصادرة عن البرنامج عن التأثير المباشر لكل عنصر من عناصر المبنى على الحمل الكلي وتدفق الهواء المطلوب، وهو ما يتيح فهماً أعمق للعلاقة بين خصائص مواد البناء وأداء النظام الحراري. وبذلك يسهم البرنامج في تحسين دقة التحليل، ورفع كفاءة التصميم، وتقليل استهلاك الطاقة، مما يعزز من استدامة المبنى وجودة أدائه الوظيفي.

ومن أجل التوضيح نأخذ قيم حمل التبريد المطلوب وتدفقات الهواء المطلوبة للطابق الأرضي في الحالات الثلاثة من أجل تصور حجم التغيير وتأثيره على نظام الـ HVAC وذلك من خلال المخططات البيانية:

مخطط ١ اختلاف تدفقات الهواء في السيناريوهات الثلاثة



مخطط ٢ اختلاف أحمال التبريد في السيناريوهات الثلاثة



## الفصل الخامس: الاستنتاجات والتوصيات

### الاستنتاجات:

- أنجزت هذه الدراسة تحقيقاً شاملاً حول الدور الجوهري لنمذجة معلومات البناء (BIM) كحجر أساس في تصميم أنظمة إدارة طاقة المباني (BEMS)، متخذةً من نظام التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC) دراسة حالة محورية لكونه العصب الأكثر استهلاكاً للطاقة في المباني الخدمية. انطلق البحث من إشكالية واضحة وهي الفجوة بين الإمكانيات النظرية لـ (BIM) والتطبيق العملي المحدود في المراحل التصميمية المبكرة لأنظمة (BEMS)، مما يؤدي إلى أنظمة أقل كفاءة وأكثر هدراً للطاقة.
- اعتمدت المنهجية على نموذج تطبيقي افتراضي لمبنى خدمي (فندق) تمت نمذجته وتحليله باستخدام برنامج (Autodesk Revit) لمحاكاة ثلاثة سيناريوهات مختلفة: السيناريو الأول (بدون عزل)، والسيناريو الثاني (بإضافة عزل حراري)، والسيناريو الثالث (بتغيير استخدام المبنى إلى صالة رياضية). ومن خلال نتائج المحاكاة ظهرت قوة وقيمة التكامل بين BIM وتصميم نظام HVAC الذي هو جزء من أنظمة الـ BEMS.

يمكن استخلاص الاستنتاجات الرئيسية التالية، والتي تشكل إجابة وافية على أسئلة البحث وفرضياته:

1. التكامل بين (BIM) و (BEMS) ليس رفاهية تقنية بل ضرورة استراتيجية لتحقيق الاستفادة أثبتت الدراسة أن الدمج العميق بين المنصتين ليس مجرد نقل بيانات، بل هو عملية تحويلية ترفع من مستوى الذكاء والكفاءة التشغيلية. لقد حقق هذا التكامل وفورات طاقة ملموسة، حيث أدى استخدام العزل الحراري في السيناريو الثاني إلى خفض الحمل الحراري الكلي للتبريد بنسبة 28.57% (من 9.8 طن إلى 7 طن) وتقليل تدفق الهواء المطلوب بنسبة 43%، مما ينعكس إيجاباً على تقليل سعة المعدات وخفض تكاليف التشغيل الرأسمالية والتشغيلية.

2. يوفر الـ BIM أساساً للمرونة في التصميم ويدعم اتخاذ القرار القائم على الأدلة: يكمن الاستنتاج الأبرز في أن نمذجة معلومات البناء (BIM) لم تعد تُستخدم كأداة ساكنة لتمثيل النماذج، بل تطورت لتصبح منصة تفاعلية ديناميكية تُسهّم في دعم قرارات التصميم والإدارة. لقد أظهر السيناريو الثالث (تحويل المطعم إلى

صالَة رياضية) كيف أن النموذج الرقمي مَكَّن من إعادة حساب الأحمال وتعديل تصميم النظام HVAC بشكل أني تقريباً استجابة لتغير المتطلبات الوظيفية. هذه المرونة التي كانت مستحيلة بالطرق التقليدية تقلل من الهدر في إعادة التصميم وتُمكن المهندس من تقييم الخيارات واختيار الأمثل منها بناءً على محاكاة دقيقة قبل التنفيذ الفعلي.

3. جودة الغلاف البنائي للمبنى هي عامل مضاعف للكفاءة ولا تقل أهمية عن كفاءة النظام الميكانيكي نفسه: على الرغم من تركيز الدراسة على النظام الميكانيكي، فإن النتائج سلطت ضوءاً قوياً على الأهمية الحاسمة للتصميم المعماري المرتكز على كفاءة الطاقة. كان الانخفاض الهائل في الأحمال عند إضافة العزل دليلاً واضحاً على أن توفير الطاقة يبدأ من الغلاف (العزل، النوافذ، التوجيه) قبل أن يبدأ من الآلة. يجب أن يكون التصميم الميكانيكي الفعال نتاجاً لتصميم معماري مستدام، وليس محاولة لتصحيح أخطائه.

4. أظهر تطبيق تقنية الـ BIM دوراً محورياً في إتاحة التعديلات التصميمية بشكل مرّن، خصوصاً في الحالتين الثانية والثالثة اللتين شهدتا تغييراً في أبعاد مجاري الهواء (Ducts) ومكوّنات النظام. فقد مَكَّن استخدام هذه التقنية من إجراء التعديلات اللازمة دون الحاجة إلى إعادة التصميم من البداية، إضافةً إلى اقتراح عدة سيناريوهات بديلة لتوزيع مكوّنات النظام ومسارات مجاري الهواء. وأسهم ذلك في تحليل أثر التعديلات على الحمل الحراري وتوزيع تدفق الهواء، فضلاً عن الكشف المبكر عن الأخطاء التصميمية والتعارضات المحتملة مع العناصر الإنشائية والمعمارية الأخرى. ونتيجة لذلك، تحقق تصميم أكثر دقة وجودة، مع خفض التكلفة وتقليل استهلاك الطاقة، مما يعزز من استدامة النظام وكفاءته التشغيلية.

5. إمكانية التعميم والتطبيق العملي في مشاريع مماثلة: على الرغم من أن الدراسة اعتمدت على نموذج افتراضي، فإن النهج المُتبّع قابل للتطبيق على مشاريع حقيقية، خاصة في المباني الخدمية والتجارية التي تتميز باستهلاك عالٍ للطاقة. كما أن النتائج تُسهم في دعم الامتثال لمعايير الاستدامة العالمية مثل LEED و BREEAM و ISO 50001 من خلال تحسين كفاءة الطاقة وتقليل الانبعاثات الكربونية.

## التوصيات:

انبثقت عن هذه الاستنتاجات مجموعة من التوصيات الموجهة لفئات مختلفة من المعنيين:

أولاً: للتطوير المهني والممارسة العملية (المهندسين، المصممين، المقاولين):

1. الانتقال من النمذجة البصرية إلى النمذجة التحليلية: اعتماد (BIM) كمنصة تحليلية إلزامية في المراحل التصميمية الأولى للمشاريع متوسطة وكبيرة الحجم، وعدم الاكتفاء باستخدامه كأداة للرسم والتوثيق.
2. تبني ثقافة محاكاة السيناريوهات: استغلال القدرة التحليلية لأدوات مثل (Revit) لاختبار مجموعة واسعة من الخيارات التصميمية (مواد العزل، أنظمة الـ HVAC المختلفة، أنماط الإشغال) لتحديد الحل الأمثل اقتصادياً وبيئياً قبل الشروع في التنفيذ.
3. التخطيط للتكامل المستقبلي مع BEMS أثناء التصميم: اختيار المعدات والأنظمة التي تدعم بروتوكولات الاتصال المفتوحة (مثل BACnet, Modbus) لتسهيل دمجها لاحقاً في نظام إدارة طاقة مركزي ونكي.

4. دمج التحليلات الطاقية في سير العمل: يجب تضمين خطوات تحليل الطاقة وإدارة الأحمال كجزء لا يتجزأ من عملية التصميم باستخدام BIM ، وليس كعملية منفصلة أو لاحقة.

ثانياً: للبحث العلمي والتطوير الأكاديمي:

1. تعميق البحث في معايير التبادل البياناتي الدلالي (Semantic Data Interoperability): هناك حاجة ماسة لأبحاث تركز على تطوير معايير ونماذج تبادل (مثل IFC) قادرة على نقل البيانات التشغيلية والأدائية لأنظمة الـ HVAC بشكل كامل ودقيق بين منصات (BIM) و (BEMS) لتجاوز مشاكل عدم التوافق الحالية.
2. التوجه نحو نماذج التوأم الرقمي الديناميكية: دراسة الاتجاهات والتطورات المحتملة لأبحاث مستقبلية تدمج بين نموذج (BIM) وبيانات المستشعرات اللحظية (IoT) وأنظمة التحكم (BEMS) لإنشاء توأم رقمي حي يمكن من محاكاة وتوقع الأداء في الوقت الفعلي، والتحسين المستمر لكفاءة الطاقة.

3. دراسات الجدوى الاقتصادية الشاملة: إجراء أبحاث تكملية تحسب العائد على الاستثمار (ROI) الدقيق للتكامل بين (BIM) و (BEMS) على مدى دورة الحياة الكاملة للمبنى، مع الأخذ في الاعتبار التكاليف الأولية والوفورات التشغيلية وتكاليف الصيانة.

4. تطوير نماذج BIM أكثر دقة: هناك حاجة لتطوير نماذج BIM قادرة على محاكاة سلوك المستخدمين (User Behavior) بشكل أكثر دقة، حيث أن هذا العامل له تأثير كبير على استهلاك الطاقة كما أظهرته الدراسة.

5. دراسة تأثير تقنيات الذكاء الاصطناعي: يوصى بإجراء مزيد من الأبحاث حول دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي مع أنظمة BEMS لتطوير استراتيجيات تحكم تنبؤية وتكيفية أكثر ذكاءً وفعالية.

6. توسيع نطاق الدراسة: يمكن توسيع نطاق هذه الدراسة لتشمل أنواعاً أخرى من المباني (سكنية، صناعية) وأنظمة طاقة أخرى (الإضاءة، الطاقة المتجددة) لتقييم فعالية BIM في إدارة الطاقة بشكل شامل.

#### ثالثاً: لوائح السياسات والجهات المعيارية:

1. إدراج متطلبات التكامل (BIM-BEMS) في شهادات الاستدامة: تطوير أطر معيارية محلية (مثل كود البناء السعودي أو المواصفات الخليجية) تحفز على هذا التكامل، من خلال منح نقاط إضافية في أنظمة التقييم مثل (LEED, BREEAM, MOSTADAM) للمشاريع التي تتبناه.

2. دعم تطوير مكتبات قياسية لمكونات MEP: تشجيع وتنسيق الجهود بين المطورين والمصنعين لإنشاء مكتبات قياسية غنية وموثوقة للمكونات الميكانيكية والكهربائية (MEP) ضمن منصات (BIM)، تحتوي على جميع بيانات الأداء اللازمة لإجراء تحليلات دقيقة.

3. تشجيع أو إلزام باستخدام BIM: يجب على الجهات الحكومية تشجيع أو حتى إلزام استخدام BIM في المشاريع العامة والخاصة الكبرى، خاصة تلك التي تتعلق بالبنية التحتية والمباني الخدمية، نظراً لفوائدها الكبيرة في تحسين الكفاءة وتقليل الهدر.

4. وضع معايير للتكامل: يجب وضع معايير ومواصفات فنية واضحة لتسهيل التكامل بين نماذج BIM وأنظمة BEMS، لضمان التوافقية وتبادل البيانات بسلاسة.

5. تقديم حوافز : يمكن تقديم حوافز ضريبية أو مالية للمطورين والمالكين الذين يبنون مباني عالية الكفاءة في استخدام الطاقة باستخدام تقنيات BIM وBEMS.

ختاماً، تتجاوز هذه الأطروحة التحليل التقني لتقدم رؤية مستقبلية لصناعة البناء، حيث يتحول التركيز من مجرد الإنشاء إلى تحقيق الأداء الأمثل، ومن الاجتهاد الفردي إلى القرارات الدقيقة، ومن الممارسات التقليدية غير المنظمة إلى منهجيات ذكية قائمة على المعرفة. إن اعتماد النموذج المقترح يمثل خياراً استراتيجياً ذا أبعاد تقنية وأخلاقية واقتصادية، يسهم بشكل مباشر في تعزيز استدامة ومرونة البيئة المبنية.

1. Akinmejiwa, O., Gbadega, P., & Ajibola, A. (2024). Synergizing Renewable Energy Integration for Enhanced Energy Management and Control in Smart Grids: A Review. 2024 IEEE 5th International Conference on Electro-Computing Technologies for Humanity (NIGERCON ),(
2. Alhammad, M., Eames, M., & Vinai, R. (2024). Enhancing building energy efficiency through building information modeling (BIM) and building energy modeling (BEM) integration: A systematic review. *Buildings*, 14(3), 581 .
3. Asim, N., Badiei, M., Mohammad ,M., Razali, H., Rajabi, A., Chin Haw, L., & Jameelah Ghazali, M. (2022). Sustainability of heating, ventilation and air-conditioning (HVAC) systems in buildings—An overview. *International journal of environmental research and public health*, 19(2), 1016 .
4. Barchi, G., Miori, G., Moser, D., & Papantoniou, S. (2018). A small-scale prototype for the optimization of PV generation and battery storage through the use of a building energy management system. 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe) ,
5. Bouabdallaoui, Y., Lafhaj, Z., Yim, P., Ducoulombier, L., & Bennadji, B. (2021). Predictive maintenance in building facilities: A machine learning-based approach. *Sensors*, 21(4), 1044 .
6. Cho, H., Cabrera, D., Sardy, S., Kilchherr, R., Yilmaz, S., & Patel, M. K. (2021). Evaluation of performance of energy efficient hybrid ventilation system and analysis of occupants' behavior to control windows. *Building and Environment*, 188, 107434 .
7. Devaraj, S. M. (2023). The future of hvac systems: ai, cloud, and the internet of things (iot). *Technology (ijcet)*, 14(2), 269-278 .
8. Digitemie, W. N., & Ekemezie, I. O. (2024). A comprehensive review of Building Energy Management Systems (BEMS) for improved efficiency. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 21(3), 829-841 .
9. Dong, B., Prakash, V., Feng, F., & O'Neill, Z. (2019). A review of smart building sensing system for better indoor environment control. *Energy and Buildings*, 199, 29-46 .
10. Escrivá-Escrivá, G., Segura-Heras, I., & Alcázar-Ortega, M. (2010). Application of an energy management and control system to assess the potential of different control strategies in HVAC systems. *Energy and Buildings*, 42(11), 2 .2267-258
11. Gheji, S., Kamble, K., Gavde, A., & Mane, S. (2016). Basic classification of HVAC systems for selection guide. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 5(4), 6077-6086 .
12. González, J., Soares, C. A. P ., Najjar, M., & Haddad, A. N. (2021). BIM and BEM methodologies integration in energy-efficient buildings using experimental design. *Buildings*, 11(10), 491 .



13. Hossain, M., Weng, Z., Schiano-Phan, R., Scott, D., & Lau, B. (2020). Application of IoT and BEMS to visualise the environmental performance of an educational building. *Energies*, 13(15), 4009 .
14. Hwang, J., Kim, J., & Yoon, S. (2025). DT-BEMS: Digital twin-enabled building energy management system for information fusion and energy efficiency. *Energy*, 3 .136162 ,26
15. Ibrar, M., Abishu, H. N., Seid, A. M., Márquez-Sánchez, S., Fernandez, J. H., Corchado, J. M., & Erbad, A. (2024). Survey on demand response in the landscape of adaptive and intelligent building energy management systems. 2024 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC), 1203-1209 .
16. Jamil, M., & Mittal, S. (2017). Building energy management system: A review. 2017 14th IEEE India Council International Conference (INDICON) ,
17. Jia, R., Jin, B., Jin, M., Zhou, Y., Konstantakopoulos, I. C., Zou, H., Kim, J., Li, D., Gu, W., & Arghandeh, R. (2018). Design automation for smart building systems. *Proceedings of the IEEE*, 106(9), 1680-1699 .
18. Kailas, A., Cecchi, V., & Mukherjee, A. (2012). A survey of communications and networking technologies for energy management in buildings and home automation. *Journal of Computer Networks and Communications*, 2012(1), 932181 .
19. Ke, J., Qin, Y., Wang, B., Yang, S., Wu, H., Yang, H., & Zhao, X. (2020). Data-Driven Predictive Control of Building Energy Consumption under the IoT Architecture. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2020(1), 8849541 .
20. Kempf, J. (2024). Automating Building Energy Management for Accelerated Building Decarbonization: System Architecture and the Network Layer .
21. Kim ,D., Lee, J., Do, S., Mago, P. J., Lee, K. H., & Cho, H. (2022). Energy modeling and model predictive control for HVAC in buildings: A review of current research trends. *Energies*, 15(19), 7231 .
22. Kozlovska, M., Petkanic, S., Vranay, F., & Vranay, D. (2023 ).(Enhancing energy efficiency and building performance through BEMS-BIM integration. *Energies*, 16(17), 6327 .
23. Kumar, A., Kar, P., Warriar, R., Kajale, A., & Panda, S. K. (2017). Implementation of smart LED lighting and efficient data management system for buildings. *Energy Procedia*, 143, 173-178 .
24. Leong, C. Y. (2019). Fault detection and diagnosis of air handling unit: A review. *MATEC Web of Conferences* ,
25. Lu, F., Yu, Z., Zou, Y., & Yang, X. (2021). Cooling system energy flexibility of a nearly zero-energy office building using building thermal mass: Potential evaluation and parametric analysis. *Energy and Buildings*, 236, 110763 .

26. Macarulla, M., Casals, M., Forcada, N., & Gangoells, M. (2017). Implementation of predictive control in a commercial building energy management system using neural networks. *Energy and Buildings*, 151, 511-519 .
27. Mardiana-Idayu, A., & Riffat, S. (2012). Review on heat recovery technologies for building applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(2), 1241-1255 .
28. Mariano-Hernández, D., Hernández-Callejo, L., Zorita-Lamadrid, A., Duque-Pérez, O., & García, F. S. (2021). A review of strategies for building energy management system: Model predictive control, demand side management, optimization, and fault detect & diagnosis. *Journal of Building Engineering*, 33, 101692 .
29. Nandagopal, N. S. (2024). HVAC systems and equipment. In *HVACR Principles and Applications* (pp. 305-356). Springer .
30. O'Grady, T., Chong, H.-Y., & Morrison, G. M. (2021). A systematic review and meta-analysis of building automation systems. *Building and Environment*, 195, 107770 .
31. Ock, J., Issa, R. R., & Flood, I. (2016). Smart building energy management systems (BEMS) simulation conceptual framework. 2016 winter simulation conference (WSC) ,
32. Olatunde, T .M., Okwandu, A. C., Akande, D. O., & Sikhakhane, Z. Q. (2024). Review of energy-efficient HVAC technologies for sustainable buildings. *International Journal of Science and Technology Research Archive*, 6(02), 012-020 .
33. Park, K., Kim, Y., Kim, S., Kim, K ., Lee, W., & Park, H. (2011). Building energy management system based on smart grid. 2011 IEEE 33rd international telecommunications energy conference (INTELEC) ,
34. Petrushevski, F., Montazer, M., Seifried, S., Schiefer, C., Zucker, G., Preindl, T., Suter, G & .Kastner, W. (2018). Use cases for improved analysis of energy and comfort related parameters based on BIM and BEMS data. Workshop of the European Group for Intelligent Computing in Engineering ,
35. Saha, A., Kuzlu, M., Khamphanchai, W., Pipattanasomporn ,M., Rahman, S., Elma, O., Selamogullari, U., Uzunoglu, M., & Yagcitekin, B. (2014). A home energy management algorithm in a smart house integrated with renewable energy. *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, Europe* ,
36. Shao, J., Huang, Z., Chen, Y ., Li, D., & Xu, X. (2023). A practical application-oriented model predictive control algorithm for direct expansion (DX) air-conditioning (A/C) systems that balances thermal comfort and energy consumption. *Energy*, 269, 126748 .
37. Solgi, E., Fayaz, R., & Kari ,B. M. (2016). Cooling load reduction in office buildings of hot-arid climate, combining phase change materials and night purge ventilation. *Renewable Energy*, 85, 725-731 .

- 38.Sporr, A., Zucker, G., & Hofmann, R. (2019). Automated HVAC control creation based on building information modeling (BIM): Ventilation system. IEEE access, 7, 74747-74758 .
- 39.Sporr, A., Zucker, G., & Hofmann, R. (2020). Automatically creating HVAC control strategies based on Building Information Modeling (BIM): Heat provisioning and distribution. Energies, 13(17), 4403 .
- 40.Sun, R. Optimizing Building Energy Modeling (BEM) Workflow through Integrating HVAC systems Design and Building Information Modeling (BIM) using gbXML Schema Version 6.01 Carnegie Mellon University .[
- 41.Verbert, K., Babuška, R., & De Schutter, B. (2017). Combining knowledge and historical data for system-level fault diagnosis of HVAC systems. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 59, 260-273 .
- 42.Verma, A., Prakash, S., Srivastava, V., Kumar, A., & Mukhopadhyay, S. C. (2019). Sensing, controlling, and IoT infrastructure in smart building: A review. IEEE Sensors Journal, 19(20), 9036-9046 .
- 43.Westphalen, D., & Koszalinski, S. (2001). Energy consumption characteristics of commercial building hvac systems volume I :Chillers, refrigerant compressors, and heating systems. Final Report to the Department of Energy (Contract No. DE-AC01-96CE23798) .
- 44.Xie, X., Merino, J., Moretti, N., Pauwels, P., Chang, J. Y., & Parlikad, A. (2023). Digital twin enabled fault detection and diagnosis process for building HVAC systems. Automation in Construction, 146, 104695 .
- 45.Zahraoui, Y., Alhamrouni, I., Mekhilef, S., Basir Khan, M. R., Seyedmahmoudian, M., Stojcevski, A., & Horan, B. (2021). Energy management system in microgrids: A comprehensive review. Sustainability, 13(19), 10492 .
- 46.Zhang, H., Seal, S., Wu, D., Bouffard, F., & Boulet, B. (2022). Building energy management with reinforcement learning and model predictive control: A survey. IEEE access, 10, 27853-27862 .
- 47.Zhao, T., Qu ,Z., Liu, C., & Li, K. (2021). BIM-based analysis of energy efficiency design of building thermal system and HVAC system based on GB50189-2015 in China. International Journal of Low-Carbon Technologies, 16(4), 1277-1289 .