

تصميم نظام المياه المبردة ونظام إدارة الهواء المطروود لتعزيز كفاءة الطاقة وجودة الهواء الداخلي

**Design of Chilled Water System and Exhaust Air Management
System to Enhance Energy Efficiency and Indoor Air Quality**

بحث تكميلي لنيل درجة البكالوريوس مرتبة الشرف في
الهندسة الميكانيكية

إعداد الطلاب :

صلاح الدين طارق علي إبراهيم
مصطفى أحمد مرتضى محمد
أنس محمد أبو رباح محمد

إشراف:

د/ عوض الله أحمد عثمان

كلية الهندسة

جامعة الشيخ عبدالله البدرى



يونيو 2025م

الآية

بسم الله الرحمن الرحيم

قال تعالى :

(يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ وَاللَّهُ بِمَا

تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ)

صدق الله العظيم

سورة المجادلة الآية (11)

الاهداء

إلى أعر الناس واقربهم إلى قلبي إلى والدتي العزيزة
ووالدي العزيز اللذان كانا عوناً وسنداً لي وكان لدعائها المبارك
أعظم الأثر في تسيير سفينة البحث حتى ترسو على هذه الصورة
إلى الذين هم سراج الأيام .. الذين يدعون لنا بظهر الغيب
الذين يحملون الهم معنا ليل نهار
إلى من بهم تطمئن قلوبنا وتهداً نفوسنا
وهم يستمعون لنا بصدور رحبة ونفوس طيبة نبثهم
الأحزان والأفراح ... إلى إخواني وأهلي
وعشيرتي وأحبابي
إلى من بهم عرفت الإخوة في الله.. إلى من هم
أوسمة على صدر الزمن.. ومن هم معرفتي بالبشرية

الشكر والتقدير

نحمد الله عز وجل الذي وفقنا في إتمام هذا البحث العلمي، ونحمده على نعمة الصحة والعافية
فالحمد لله حمداً كثيراً.

نقدم جزيل الشكر والتقدير إلى الدكتور المشرف/ عوض الله أحمد

على كل ما قدمه لنا من توجيهات ومعلومات قيمة ساهمت إثراء موضوع دراستنا في جوانبها
المختلفة.

كما نتقدم بجزيل الشكر إلى أعضاء لجنة المناقشة الموقرة، وإلى أساتذة كلية الهندسة.

كذلك الشكر موصول للذين في إخراج هذا الجهد المتواضع، وإلى أسرنا التي جاهدت
وتكبدت المشاق في سبيل وصولنا لما بلغنا ونسأل الله أن يعيننا على مكافأتهم بأحسن مما
قدموا لنا وجزاهم الله عنا كل خير.

فهرس المحتويات

الرقم	الموضوع	رقم الصفحة
	الآية	I
	الاهداء	II
	الشكر والتقدير	III
	فهرس الموضوعات	IV
	فهرس الاشكال	VI
	فهرس الجداول	IX
	المستخلص	X
	Abstract	XI
الباب الاول : المقدمة		
1-1	المقدمة	1
2-1	أهداف البحث	2
3-1	منهجية البحث	3
الباب الثاني : نظام المياه المبردة		
1-2	مفهوم نظام المياه المبردة	4
2-2	مكونات نظام المياه المبردة	5
3-2	آلية عمل نظام المياه المبردة	19
4-2	مزايا نظام المياه المبردة	22
5-2	مقارنة بين نظام المياه المبردة والأنظمة الأخرى	24
6-2	التحديات والحلول في تصميم نظام المياه المبردة	28
7-2	إدارة الطاقة وكفاءة الطاقة في ظام المياه المبردة	33
الباب الثالث : أنظمة طرد الهواء		
1-3	مفهوم أنظمة طرد الهواء	35
2-3	مكونات أنظمة طرد الهواء	36
3-3	آلية عمل أنظمة طرد الهواء	43
4-3	أنواع أنظمة طرد الهواء	44
5-3	مزايا أنظمة طرد الهواء	46
6-3	التحديات والحلول في تصميم أنظمة طرد الهواء	49
الباب الرابع : حساب الأحمال الحرارية ومتطلبات التهوية		
1-4	الخصائص المعمارية	55
2-4	الخصائص المناخية	57
3-4	حساب الأحمال الحرارية للمبنى	63
4-4	حساب متطلبات التهوية للمبنى	74

الباب الخامس : تصميم نظام المياه المبردة		
77	إختيار الوحدات الطرفية (FCU)	1-5
79	تصميم شبكة مجاري الهواء وإختيار مخارج الهواء	2-5
90	إختيار الشيلر	3-5
92	تصميم شبكة أنابيب وإختيار أقطار الأنابيب	4-5
96	إختيار المضخات	5-5
101	إختيار خزان التمدد	6-5
105	نماذج ثلاثية الأبعاد لنظام المياه المبردة	7-5
الباب السادس : تصميم نظام طرد الهواء		
106	إختيار مراوح طرد الهواء	1-6
109	تصميم شبكة مجاري الهواء وإختيار مخارج الهواء	2-6
116	مخططات ونماذج تصميمية لنظام طرد الهواء	3-6
119	نماذج تصميمية متكاملة للنظامين	4-6
الباب السابع : الخاتمة والتوصيات		
120	الخاتمة	1-7
121	التوصيات	2-7
122	المراجع	

فهرس الأشكال

رقم الصفحة	اسم الشكل	رقم الشكل
4	نظام المياه المبردة	1-2
6	الشيلر المبرد بالهواء	2-2
6	الشيلر المبرد بالماء	2-3
7	ضواغط الشيلر	2-4
8	المبردات الإمتصاصية	2-5
9	برج التبريد ذات الدفع القسري	2-6
11	أنواع المضخات	2-7
12	المبادلات الحرارية	2-8
13	أنواع خزانات التمدد	2-9
15	الوحدة الطرفية (FCU)	2-10
16	وحدة معالجة الهواء (AHU)	2-11
19	الصمامات المستخدمة في أنظمة المياه المبردة	2-12
25	نظام التمدد المباشر (DX System)	2-13
27	نظام تدفق التبريد المتغير (VRF System)	2-14
36	نظام طرد الهواء	1-3
36	أغطية الهواء	2-3
37	أنواع مخارج الهواء	3-3
37	المروحة المحورية	3-4
38	مراوح الطرد المركزي	3-5
39	مروحة القناة الهوائية	3-6
40	معدات التحكم في تدفق الهواء	3-7
41	أنظمة إدارة المباني	3-8
42	أنظمة إستعادة الطاقة	2-9
59	المخطط التصميمي للسطح	1-4
59	المخطط التصميمي الرأسي للطابق الأرضي	2-4
60	المخطط التصميمي الرأسي للطابق الأول	3-4
60	المخطط التصميمي للمخطط الأمامي	4-4
61	المخطط التصميمي الجانبي – الإتجاه الغربي	4-5

61	المخطط التصميمي الجانبي – الإتجاه الشرقي	4-6
62	النموذج التصميمي ثلاثي الأبعاد (3D)	4-7
68	تبويب الطقس	4-8
69	تبويب الحيز	4-9
70	تبويب النظام	4-10
71	تقرير برامج الهاب (HAP)	4-11
78	كتالوج شركة (SKM)	1-5
82	واجهة برنامج (Duct Sizer)	2-5
84	طول مجرى الهواء الفعال	3-5
85	نموذج لحساب طول مجرى الهواء الفعال	4-5
86	نموذج لحساب الفقد الاستاتيكي الخارجي (ESP)	5-5
89	كتالوج الشركة الأندوليسية	5-6
89	وحدة (FCU) وتصميم مجرى الهواء	5-7
91	كتالوج شركة (SKM)	5-8
93	واجهة برنامج (Pipe Sizer)	5-9
94	مخطط تصميمي لتوزيع شبكة المياه المبردة في الطابق الأرضي	5-10
95	مخطط تصميمي لتوزيع شبكة المياه المبردة في الطابق الأول	5-11
95	الشيلرات مع توصيل شبكة المياه	5-12
96	الوحدات الطرفية (FCUs) مع توصيل شبكة المياه	5-13
99	حساب الارتفاع (Head) من شيت دار الهندسة	5-14
100	المضخة المختارة من موقع (Grundfos)	5-15
101	المضخات (Pumps) مع توصيل شبكة المياه	5-16
102	حساب حجم خزان التمدد من شيت دار الهندسة	5-17
103	خزان التمدد من موقع شركة (Wessles)	5-18
104	خزان التمدد وفاصل الهواء	4-19
105	نموذج ثلاثي الأبعاد (3D) لنظام المياه المبردة	5-20
105	نموذج ثلاثي الأبعاد (3D) لنظام المياه المبردة	5-21
107	كتالوج شركة (CAPATIVEAIR)	1-6
108	كتالوج شركة (CAPATIVEAIR)	2-6
111	طول مجرى الهواء الفعال	3-6
112	نموذج لحساب طول مجرى الهواء الفعال	4-6

113	نموذج لحساب الفقد الإستاتيكي الخارجي (ESP)	5-6
115	كتالوج شركة الأندوليسية	6-6
116	مخطط تصميمي لتوزيع مجاري الهواء في الطابق الأرضي	6-7
116	مخطط تصميمي لتوزيع مجاري الهواء في الطابق الأول	5-8
117	نموذج ثلاثي الأبعاد (3D) لنظام طرد الهواء	6-9
117	نموذج ثلاثي الأبعاد (3D) (لوحة (Roof Top Fan) ومجاري الهواء	6-9
118	نموذج ثلاثي الأبعاد (3D) لوحة (Wall Mounted Fan)	6-11
119	نموذج ثلاثي الأبعاد (3D) لنظامي المياه المبردة وطرد الهواء	6-12
119	نموذج ثلاثي الأبعاد (3D) لنظامي المياه المبردة وطرد الهواء	6-13

فهرس الجداول

رقم الصفحة	اسم الجدول	رقم الجدول
25	مقارنة بين نظام المياه المبردة ونظام التمدد المباشر (DX System)	1-2
27	مقارنة بين نظام المياه المبردة و نظام تدفق التبريد المتغير (VRF)	2-2
55	توزيع مساحة وحجم المبنى	1-4
58	توزيع درجات الحرارة و الرطوبة النسبية خلال العام	2-4
72	توزيع أحمال الطابق الارضي:	3-4
73	توزيع أحمال الطابق الاول	4-4
74	لمناطق (دورات المياه) وحجمها وعدد الوحدات الصحية لكل دورة مياه للطابق الأرضي	5-4
75	لمناطق (دورات المياه) وحجمها وعدد الوحدات الصحية لكل دورة مياه للطابق الأول	6-4
75	حساب تدفق الهواء (CFM) للطابق الأرضي	7- 4
76	حساب تدفق الهواء (CFM) للطابق الأول	8-4
78	مواصفات الوحدات الطرفية (FCU) المختارة من الكتالوج للطابق الأرضي	1-5
79	مواصفات الوحدات الطرفية (FCU) المختارة من الكتالوج للطابق الأرضي	2-5
88	مقاس مخارج الهواء من كتالوج شركة الأندوليسية للطابق الأرضي	3-5
88	مقاس مخارج الهواء من كتالوج شركة الأندوليسية للطابق الأول	4-5
91	مواصفات الشيلر المختار من الكتالوج	5-5
104	مواصفات خزان التمدد المختار من الموقع	6-5
106	نوع المراوح المستخدمة في الطابق الأرضي	1-6
107	نوع المراوح المستخدمة في الطابق الأول	2-6
108	خصائص مروحة (Roof Top Fan) المختارة من الكتالوج	3-6
108	خصائص مروحة (Wall Mounted Fan) المختارة من الكتالوج	4-6
114	مقاس مخارج الهواء من كاتالوج شركة الأندوليسية للطابق الأرضي	5-6
114	مقاس مخارج الهواء من كاتالوج شركة الأندوليسية للطابق الأول	6-6

المستخلص:

يتناول هذا المشروع تصميم نظام مياه مبردة متكامل إلى جانب نظام فعال لإدارة الهواء المطرود، وذلك بهدف تحسين كفاءة الطاقة وضمان جودة الهواء الداخلي في المباني الحديثة. تم التركيز على استخدام وحدات طرفية (FCU) لتوزيع التبريد بشكل فعال، مع إختيار أجهزة تهوية مناسبة لطرد الهواء الملوث من المناطق الحساسة. يعتمد التصميم على المعايير الهندسية الحديثة، مع مراعاة تقليل استهلاك الطاقة والانبعاثات الكربونية. كما تم استخدام برنامج (HAP) لإجراء الحسابات الحرارية وتحليل الأحمال، بالإضافة إلى دراسة توزيع مجاري الهواء وشبكة الأنابيب بشكل متوازن. يسهم هذا المشروع في دعم توجهات البناء المستدام وتحقيق بيئة داخلية صحية ومريحة.

Abstract:

This project focuses on the design of an integrated chilled water system along with an efficient exhaust air management system, aiming to enhance energy efficiency and ensure indoor air quality in modern buildings. The design prioritizes the use of Fan Coil Units (FCUs) for effective cooling distribution and the selection of appropriate ventilation fans to remove contaminated air from sensitive zones. The project follows contemporary engineering standards, emphasizing energy reduction and minimal carbon emissions. HAP software was utilized for thermal calculations and load analysis, while duct and piping networks were designed with a focus on balance and efficiency. This project supports sustainable building practices and provides a healthy and comfortable indoor environment.

الباب الأول

المقدمة (Introduction)

1-1 المقدمة (Introduction):

في ظل التحديات البيئية المتزايدة وارتفاع معدلات استهلاك الطاقة في قطاع المباني، أصبح من الضروري اعتماد حلول هندسية مستدامة توازن بين الراحة الحرارية، الكفاءة التشغيلية، والمحافظة على جودة البيئة الداخلية. ويُعد تصميم أنظمة التكييف والتهوية الحديثة ركيزة أساسية في تحقيق هذا الهدف، لا سيما الأنظمة التي تعتمد على شبكات المياه المبردة (Chilled Water Systems) وأنظمة إدارة الهواء المطرود (Exhaust Air Management Systems)، لما توفره من مرونة تشغيلية وفعالية في استهلاك الطاقة. تُستخدم أنظمة المياه المبردة على نطاق واسع في المباني المتوسطة والكبيرة، نظراً لقدرتها على تحقيق تبريد مركزي عالي الكفاءة، حيث يتم تبريد المياه في وحدات التبريد المركزية (Chillers) وتوزيعها إلى وحدات مناولة الهواء والمبادلات الحرارية الطرفية، مما يسمح بالتحكم الدقيق في درجات الحرارة واستهلاك الطاقة على حد سواء. ويُعد هذا النظام خياراً مثالياً في المشاريع التي تتطلب تحكماً مركزياً وموثوقية تشغيلية عالية.

من ناحية أخرى، يُعد نظام إدارة الهواء العادم جزءاً لا يتجزأ من منظومة التهوية المتكاملة، إذ يضمن التخلص الفعال من الهواء المحمل بالرطوبة، الروائح، والملوثات الداخلية، مما يساهم بشكل مباشر في تحسين جودة الهواء الداخلي (IAQ). وتزداد أهمية هذا النظام عند ربطه بتقنيات استرجاع الطاقة (Energy Recovery Systems)، التي تسمح بإعادة استخدام جزء من الطاقة الحرارية الموجودة في الهواء المطرود لتكييف الهواء النقي الداخل، مما يُساهم في خفض الحمل الحراري وتقليل استهلاك الطاقة الكلي.

إن التصميم المتكامل لهذين النظامين لا يُعد مجرد خيار تقني، بل يمثل توجهاً نحو الهندسة المستدامة، من خلال تقليل البصمة الكربونية للمبنى، وتعزيز مستوى الصحة والراحة للمستخدمين. كما يتماشى مع متطلبات المعايير الدولية مثل (ASHRAE 62.1, ASHRAE 90.1)، بالإضافة إلى برامج الاعتماد البيئي مثل (LEED, WELL Building Standard)، والتي تؤكد جميعها على أهمية الكفاءة الطاقية وجودة الهواء الداخلي في تقييم الأداء البيئي للمباني.

2-1 أهداف البحث (Research Objectives):

1. حساب الأحمال الحرارية ومتطلبات التهوية للمبنى بدقة لتحديد متطلبات التبريد والتهوية الفعلية بالاعتماد على بيانات الموقع، مواد البناء، الأحمال الداخلية، وبيئة التشغيل، وذلك باستخدام برامج متخصصة مثل: برنامج (HAP).

2. تصميم نظام تكييف مركزي باستخدام المياه المبردة (Chilled Water System) يشمل إختيار قدرة وحدات التبريد (Chillers)، تصميم شبكة توزيع المياه، تحديد مواقع المبادلات الحرارية الطرفية ووحدات مناولة الهواء بما يضمن الكفاءة التشغيلية.

3. تصميم نظام طرد الهواء (Exhaust Air System) يتضمن تحديد مواقع سحب الهواء الملوث، إختيار مراوح الطرد، وتصميم المسارات الهوائية، مع دمج تقنيات استرجاع الطاقة لتحسين جودة الهواء الداخلي وتقليل استهلاك الطاقة.

3-1 منهجية البحث (Research Methodology):

يعتمد هذا البحث على منهجية تحليلية وتصميمية تهدف إلى تطوير حلول فعالة ومستدامة في مجال أنظمة التكييف والتهوية. وقد تم اتباع الخطوات التالية لتحقيق أهداف المشروع:

1. الدراسة النظرية: تم جمع المعلومات والبيانات المتعلقة بأنظمة المياه المبردة وأنظمة طرد الهواء من خلال مراجعة الأدبيات العلمية، والكودات الهندسية المعتمدة مثل: كودات (SMACNA, ASHRAE).

2. تحليل المتطلبات المعمارية والمناخية: تم تحليل خصائص المبنى من حيث المساحة، والاستخدام،

والموقع الجغرافي، وظروف المناخ المحلي لتحديد الأحمال الحرارية ومتطلبات التهوية المناسبة.

3. تصميم النظام: تم استخدام برامج متخصصة مثل: برنامج (HAP) لتحديد الأحمال الحرارية، ومن ثم

تصميم شبكة المياه المبردة (Chilled Water Network) ووحدات التكييف الطرفية (FCU) ، بالإضافة

إلى تحديد أماكن ونوع مراوح طرد الهواء المناسبة.

4. النمذجة والتحقق: تم إعداد المخططات التنفيذية باستخدام برنامج (Revit MEP)، مع التأكد من تكامل

الأنظمة.

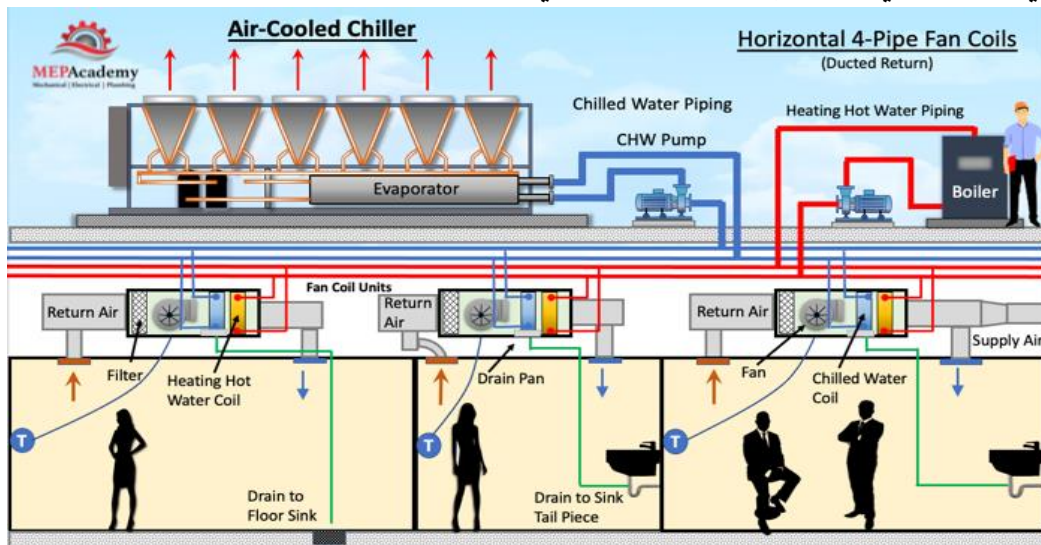
الباب الثاني

نظام المياه المبردة (Chilled Water System)

1-2 مفهوم نظام المياه المبردة (Concept of the Chilled Water System):

نظام الماء المبرد هو تقنية تبريد مركزية تستخدم على نطاق واسع في تطبيقات التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC) لتنظيم الظروف الحرارية في المرافق واسعة النطاق. على عكس أنظمة التمدد المباشر، التي تعتمد على التبادل الحراري من المبرد إلى الهواء، تستخدم أنظمة المياه المبردة الماء كوسيط وسيط لنقل الحرارة لامتصاص الطاقة الحرارية ونقلها بكفاءة.

هذه الأنظمة مفيدة بشكل خاص نظراً لقابليتها للتوسع، مما يجعلها مناسبة تماماً للتطبيقات في المباني التجارية ومصانع التصنيع الصناعية ومرافق الرعاية الصحية ومراكز البيانات ومختبرات الأبحاث والمؤسسات التعليمية. تعمل بنيتها المركزية على تحسين كفاءة الطاقة من خلال تمكين التوزيع الدقيق للأحمال واستيعاب متطلبات التبريد المتغيرة عبر البنى التحتية الشاملة. من خلال فصل توليد التبريد عن التوزيع، توفر أنظمة المياه المبردة تنظيمًا دقيقاً لدرجة الحرارة ومرونة تشغيلية وموثوقية محسنة. بالإضافة إلى ذلك، فإنها تسهل دمج التقنيات الموفرة للطاقة مثل تخزين الطاقة الحرارية واستعادة الحرارة المهدرة، مما يساهم في أداء المباني المستدام وتقليل التأثير البيئي.



شكل (1-2) يوضح نظام المياه المبردة

2-2 مكونات نظام المياه المبردة (Chilled Water System Component):

1-2-2 المبرد (Chiller):

المبرد هو المكون الرئيسي لنظام المياه المبردة. وهو آلة مصممة لإزالة الحرارة من الماء من خلال دورة تبريد، مما يجعل الماء باردًا بدرجة كافية (عادةً بين 6-12 درجة مئوية) لأغراض التبريد في أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC). تعتبر المبردات ضرورية للتبريد على نطاق واسع في المباني التجارية والعمليات الصناعية وتطبيقات التبريد المناطقية.

مكونات المبرد:

1. المبخر (Evaporator):

ينقل الحرارة من الماء المبرد إلى المبرد (الغاز)، مما يؤدي إلى تبريد الماء.

2. الضاغط (Compressor):

يزيد ضغط ودرجة حرارة المبرد.

3. المكثف (Condenser):

يطلق الحرارة الممتصة إلى البيئة (إما عن طريق الهواء أو الماء).

4. صمام التمدد (Expansion Valve):

يقلل ضغط المبرد، مما يسمح له بالتبريد أكثر.

5. لوحة التحكم (Control Panel):

تدير عمليات المبرد لتحقيق الأداء الأمثل والكفاءة.

أنواع المبردات:

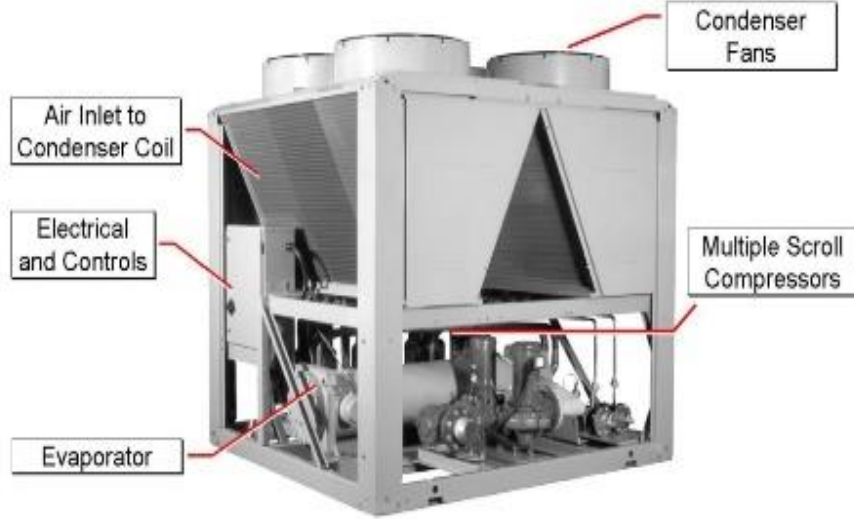
1. بناءً على طريقة طرد الحرارة:

- المبردات المبردة بالهواء (Air-Cooled Chillers):

تستخدم المراوح لطرد الحرارة إلى الهواء المحيط.

مناسبة للتركيب في الأماكن الخارجية.

تتطلب صيانة أقل ولكنها أقل كفاءة في استهلاك الطاقة مقارنة بالمبردات المبردة بالماء.



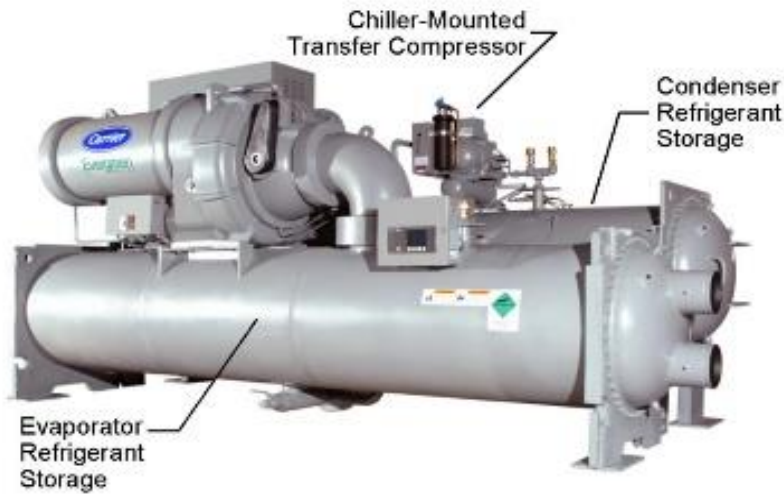
شكل (2-2) يوضح الشيلر المبرد بالهواء

- المبردات المبردة بالماء (Water-Cooled Chillers):

تستخدم برج تبريد لطرد الحرارة إلى الجو عبر الماء.

عالية الكفاءة للعمليات واسعة النطاق.

تتطلب مساحة أكبر وصيانة أكثر بسبب برج التبريد.



شكل (3-2) يوضح الشيلر المبرد بالماء

2. بناءً على نوع الضاغط:

- المبردات الطاردة المركزية (Centrifugal Chillers):

تستخدم ضاغطاً طارداً مركزياً، وتعتبر الأفضل للأنظمة عالية السعة.

- المبردات اللولبية (Screw Chillers):

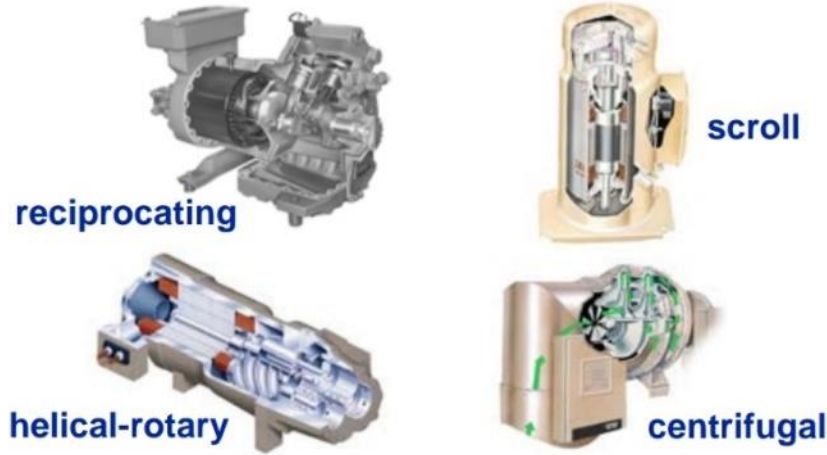
تستخدم ضاغطاً لولبياً دواراً، وتعتبر مثالية للأنظمة متوسطة الحجم.

- المبردات الحلزونية (Scroll Chillers):

تستخدم ضواغط حلزونية، وتعتبر مناسبة للأنظمة الصغيرة أو التطبيقات المعيارية.

- المبردات الترددية (Reciprocating Chillers):

تستخدم ضواغط مكبسية، وتعتبر مناسبة للتطبيقات ذات السعة الصغيرة.



شكل (2-4) يوضح ضواغط الشيلر

3. بناءً على دورة المبرد:

- المبردات ذات الضغط البخاري (Vapor Compression Chillers):

تستخدم الضغط الميكانيكي للتبريد، وتعمل بالكهرباء أو الغاز.

- المبردات الامتصاصية (Absorption Chillers):

تستخدم الحرارة (مثل البخار أو الماء الساخن) لدفع دورة التبريد. مناسبة للتطبيقات التي تتوفر فيها الحرارة

المهدرة أو الطاقة المتجددة.

أنواعها:

1. المبردات الامتصاصية ذات التأثير الواحد.
2. المبردات الامتصاصية ذات التأثير المزدوج.
3. المبردات الامتصاصية ذات الاحتراق المباشر.



شكل (2-5) يوضح المبردات الإمتصاصية

2-2-2 أبراج التبريد (Cooling Towers):

في نظام أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC) المبرد بالماء، يمتص ماء المكثف الحرارة من بخار المبرد ويحوّله مرة أخرى إلى سائل. ثم يقوم برج التبريد بطرد الحرارة الممتصة. يجب على برج التبريد أيضًا طرد حرارة الضغط الناتجة عن دورة التبريد.

أنواع أبراج التبريد:

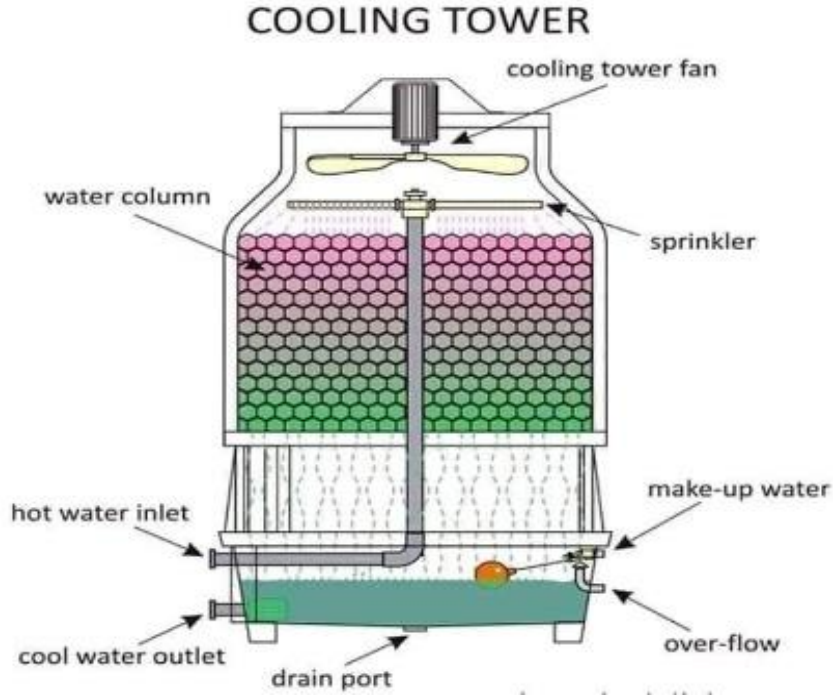
1. بناءً على طريقة دخول الهواء:

- أبراج التبريد ذات السحب القسري (Induced-Draft):

تحتوي على مراوح محورية في الأعلى لسحب الهواء عبر وسائط التعبئة.

- أبراج التبريد ذات الدفع القسري (Forced-Draft):

تدفع الهواء عبر وسائط التعبئة باستخدام مراوح طرد مركزي أو محورية موجودة في قاعدة مدخل الهواء.



شكل (2-6) يوضح برج التبريد ذات الدفع القسري

2. بناءً على طريقة إزالة الحرارة:

- أبراج التبريد ذات الدائرة المفتوحة.

- أبراج التبريد ذات الدائرة المغلقة.

- أبراج التبريد ذات التدفق العرضي:

يتدفق الهواء أفقيًا بينما يتساقط الماء عموديًا.

- أبراج التبريد ذات التدفق العكسي:

يتدفق الهواء لأعلى، عكس اتجاه تساقط الماء.

3-2-2 المضخات (Pumps):

المضخات هي مكونات أساسية في نظام المياه المبردة، حيث تضمن الحركة الفعالة للمياه المبردة عبر النظام. وهي مسؤولة عن تدوير المياه المبردة من المبرد إلى وحدات التبريد والعودة. تشمل الأنواع الرئيسية المستخدمة في هذه الأنظمة:

تصنيف المضخات:

1. بناءً على مبدأ العمل:

- المضخات الديناميكية الدوارة (Rotodynamic Pumps):

تحويل الطاقة الحركية إلى ضغط.

أنواعها:

1. المضخات الطاردة المركزية.

2. المضخات المحورية.

3. المضخات المختلطة.

- المضخات الإزاحة الموجبة (Positive Displacement Pumps):

تتحكم في حجم ثابت من السوائل في كل دورة.

أنواعها:

1. المضخات الترددية.

2. المضخات الدوارة.

3. بناءً على الوظيفة:

- مضخات الرفع.

- مضخات التدوير.

- مضخات التعزيز.

4. بناءً على التصميم:

- تصميم المروحة: مفتوحة، شبه مغلقة، مغلقة.



شكل (2-7) يوضح أنواع المضخات

4-2-2 مبادلات الحرارة (Heat Exchangers):

المبادل الحرارة هو جهاز يستخدم لنقل الحرارة بين سائلين أو أكثر دون خلطهما. في نظام المياه المبردة، تعتبر مبادلات الحرارة ضرورية لنقل الطاقة الحرارية بين الماء المبرد والسوائل الأخرى، مثل الهواء أو الماء، مع الحفاظ على فصلها.

أنواع مبادلات الحرارة:

1. مبادلات الحرارة ذات الأنابيب والأغلفة.

2. مبادلات الحرارة ذات الصفائح.

3. مبادلات الحرارة الملحومة.

4. مبادلات الحرارة المبردة بالهواء.

5. مبادلات الحرارة ذات الأنابيب المزدوجة.



شكل (2-8) يوضح المبادلات الحرارية

5-2-2 خزانات التمدد (Expansion Tanks):

خزان التمدد هو مكون حاسم في أنظمة المياه المغلقة، مثل نظام المياه المبردة، حيث يساعد في إدارة التقلبات في الضغط الناتجة عن تغيرات درجة الحرارة. وظيفته الرئيسية هي امتصاص التمدد الحراري للماء عند تسخينه ومنع الضغط الزائد من إتلاف النظام.

1. امتصاص التمدد الحراري:

عند تسخين (أو تبريد) الماء في النظام، يتمدد ويتقلص. يقوم خزان التمدد بامتصاص هذا التغير في الحجم لمنع تراكم الضغط الذي قد يتسبب في إتلاف الأنابيب والمضخات ومكونات النظام الأخرى.

2. الحفاظ على ضغط النظام:

يساعد خزان التمدد في الحفاظ على ضغط ثابت وآمن داخل النظام. يعمل كحاجز بين إمداد الماء وأجهزة تخفيف الضغط في النظام، مما يضمن ألا يتجاوز الضغط الحدود المحددة.

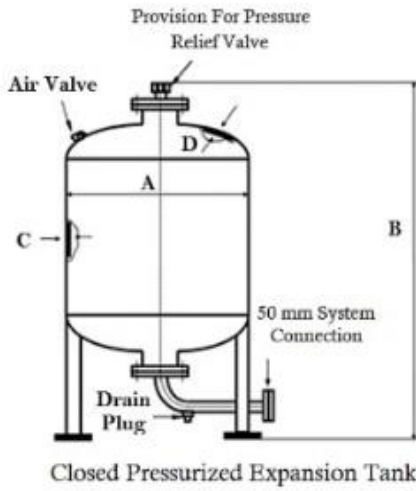
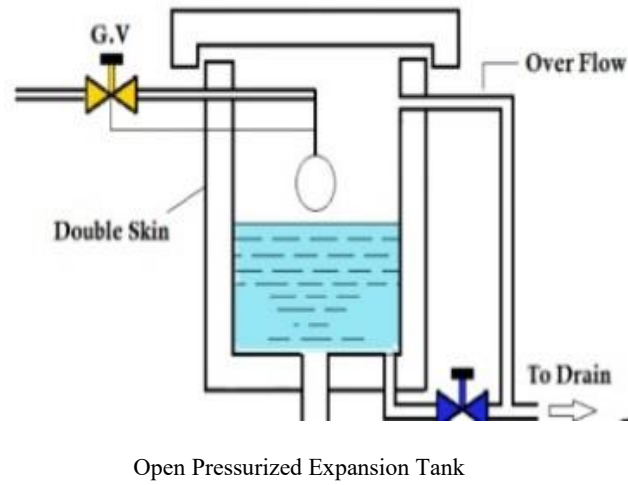
3. منع ظاهرة المطرقة المائية:

يمكن لخزانات التمدد تقليل خطر حدوث ظاهرة المطرقة المائية (ارتفاعات الضغط المفاجئة) الناتجة عن التغيرات المفاجئة في تدفق الماء أو درجة الحرارة.

أنواع خزانات التمدد:

1. خزانات التمدد المفتوحة.

2. خزانات التمدد المغلقة.



شكل (2-9) يوضح أنواع خزانات التمدد

6-2-2 شبكة الأنابيب (Piping Network):

المواد المستخدمة في الأنابيب:

1. الفولاذ.

2. النحاس.

3. البلاستيك (CPVC، PEX، HDPE).

4. الأنابيب المعزولة مسبقاً.

7-2-2 نظام العزل (Insulation System):

مكونات نظام العزل:

1. مواد العزل (Insulation Materials):

العنصر الأساسي للنظام، ويتم إختياره بناءً على التطبيق وظروف التشغيل.

المواد الشائعة:

- الرغوة المطاطية المرنة: مرنة، مقاومة للرطوبة، ومناسبة لأنابيب المياه المبردة.
- الألياف الزجاجية: خفيفة الوزن، مقاومة للحريق، وتستخدم في القنوات والأنابيب الكبيرة.
- الصوف الصخري: ممتاز للتطبيقات ذات درجات الحرارة العالية ومقاومة للحريق.
- البولي يوريثان: يوفر عزلاً حرارياً قوياً ومناسب للإستخدام الخارجي.
- البولي إيثيلين: اقتصادي ويستخدم لأنابيب صغيرة القطر في الأماكن الداخلية.

2. التغليف الواقي (Protective Jacketing):

طبقة تحمي مواد العزل من التلف الميكانيكي أو الكيميائي أو البيئي.

الأنواع:

- ألواح الألمنيوم أو المعدن للتطبيقات الخارجية.
- الأغلفة البلاستيكية للحماية من الرطوبة.
- الطلاء الفينيل للمتانة الميكانيكية.

3. المواد اللاصقة والمثبتات (Adhesives and Fasteners):

تستخدم لتثبيت مواد العزل حول الأنابيب والقنوات.

4. الحواجز (Barriers):

- الحواجز البخارية (Vapor Barriers): تمنع تسرب الرطوبة إلى مواد العزل.
- الحواجز الحرارية (Thermal Barriers): تقلل انتقال الحرارة.

5. الطبقة الداخلية (Inner Layer):

تُستخدم أحياناً بين الأنبوب أو القناة ومواد العزل لدعم إضافي وحماية.

6. العزل الصوتي (Acoustic Insulation):

بعض الأنظمة تحتوي على مواد عازلة للصوت لتقليل الضوضاء الناتجة عن تدفق الماء أو الهواء.

7. الطبقة النهائية (Finish Layer):

طبقة نهائية لتحسين مظهر النظام العازل وزيادة متانته.

2-2-8 الوحدات الطرفية (Terminal Units):

الوحدات الطرفية في نظام المياه المبردة هي الأجهزة التي تستقبل المياه المبردة من المبرد وتستخدمها

لتبريد الهواء داخل المبنى. هذه الوحدات هي النقطة التي يحدث فيها التكييف الفعلي ويتم توزيع الهواء

المبرد.

أنواع الوحدات الطرفية:

1. وحدات الملفات المروحية (Fan Coil Units - FCU):

- التعريف: وحدة صغيرة ومستقلة تستخدم لتبريد أو تدفئة الغرف الفردية أو المناطق الصغيرة داخل المبنى.

- الوظيفة: تستخدم مروحة لدفع الهواء عبر ملف يحتوي على مياه مبردة أو ساخنة لتنظيم درجة حرارة

الغرفة.



شكل (2-10) يوضح الوحدة الطرفية (FCU)

2. وحدات معالجة الهواء (Air Handling Units - AHU):

- التعريف: نظام أكبر وأكثر تعقيدًا يعمل على تكييف وتوزيع الهواء عبر المبنى بأكمله.

- الوظيفة: تعتبر وحدة معالجة الهواء المركزية، حيث تدير التبريد والتدفقة والترشيح والتحكم في الرطوبة والتهوية للمساحات الكبيرة أو المباني بأكملها.



شكل (11-2) يوضح وحدة معالجة الهواء (AHU)

9-2-2 نظام التحكم (Control System):

التحكم في أنظمة المياه المبردة ضروري لتحقيق الكفاءة الطاقة والأداء العالي. يتضمن وحدات رقمية متقدمة ومجموعة من المستشعرات والصمامات لإدارة العمليات. هذه الأنظمة تنسق عمل المبردات والمضخات وأبراج التبريد والصمامات لتحقيق:

1. الكفاءة التشغيلية:

ضمان تشغيل النظام بأعلى كفاءة ممكنة.

2. توفير الطاقة:

تقليل استهلاك الطاقة من خلال التحكم الذكي في الأحمال.

3. المراقبة المستمرة:

مراقبة أداء النظام في الوقت الفعلي لتحديد أي مشكلات أو انحرافات.

4. المرونة:

التكيف مع متطلبات الحمل المتغيرة والظروف البيئية.

2-2-10 أنواع المستشعرات (Types of Sensors):

توفر المستشعرات البيانات الحرجة لتشغيل النظام. تشمل الأنواع الرئيسية:

1. مستشعرات درجة الحرارة (Temperature Sensors):

- الوظيفة: قياس درجة الحرارة عند نقاط الدخول والخروج.

- الأجهزة الشائعة: (RTD) (مقاومة قياس درجة الحرارة)، الثرمستور.

2. مستشعرات الرطوبة (Humidity Sensors):

- الوظيفة: مراقبة مستويات الرطوبة في المناطق المكيفة لضمان الراحة الحرارية وجودة الهواء.

3. مستشعرات تدفق السوائل (Liquid Flow Sensors):

- الوظيفة: قياس معدل تدفق الماء داخل الأنابيب.

- الأجهزة الشائعة: مقياس التدفق التوربيني، مقياس التدفق بالموجات فوق الصوتية.

4. مستشعرات الضغط (Pressure Sensors):

- الوظيفة: قياس الضغط عند النقاط الرئيسية لضمان استقرار النظام.

5. مستشعرات التيار الكهربائي والطاقة (Electric Current and Power Sensors):

- الوظيفة: قياس استهلاك الطاقة للمكونات مثل المبردات والمضخات.

6. مستشعرات تدفق الغاز (Gas Flow Sensors):

- الوظيفة: قياس تدفق الغاز في الأنظمة التي تستخدم مبردات تعتمد على الغاز.

2-2-11 أنواع الصمامات (Types of Valves):

تنظم الصمامات تدفق الماء داخل النظام. تشمل الأنواع الرئيسية:

1. صمامات التحكم (Control Valves):

- الوظيفة: تنظيم تدفق الماء بناءً على متطلبات الحمل.

- الأنواع الشائعة: الصمامات ثنائية الاتجاه، الصمامات ثلاثية الاتجاه.
- 2. الصمامات المستقلة عن الضغط (Pressure-Independent Valves):
 - الوظيفة: الحفاظ على تدفق ثابت على الرغم من التغيرات في الضغط.
- 3. صمامات العزل (Isolation Valves):
 - الوظيفة: عزل أجزاء من النظام أثناء الصيانة.
 - الأنواع: الصمامات الكروية، الصمامات الفراشية.
- 4. صمامات الأمان (Safety Valves):
 - الوظيفة: إطلاق الضغط الزائد لمنع تلف النظام.
- 5. صمامات تنفيس الهواء (Air Relief Valves):
 - الوظيفة: إزالة الهواء المحبوس من النظام.
- 6. الصمامات المتوازنة (Balancing Valves):
 - الوظيفة: ضمان توزيع متساوٍ للتدفق عبر الأقسام المختلفة.
- 7. الصمامات الأحادية الاتجاه (Check Valves):
 - الوظيفة: منع التدفق العكسي للمياه المبردة.
- 8. صمامات التصفية (Strainer Valves):
 - الوظيفة: تصفية الشوائب والجسيمات من المياه المبردة.
- 9. صمامات الالتفاف (Bypass Valves):
 - الوظيفة: تحويل التدفق عندما لا تكون الأقسام قيد الاستخدام.
- 10. صمامات التصريف (Drain Valves):
 - الوظيفة: تصريف النظام أثناء الصيانة أو التنظيف.

11. الصمامات المؤازرة (Motorized Valves):

- الوظيفة: ضبط معدل التدفق لتلبية متطلبات النظام.



شكل (2-12) يوضح

2-3 آلية عمل نظام المياه المبردة

(Operation Principle of the Chilled Water System):

نظام المياه المبردة (Chilled Water System) يعمل على مبدأ نقل الحرارة من المناطق المراد تبريدها إلى الخارج بإستخدام الماء كمادة نقل للحرارة. فيما يلي شرح تفصيلي لآلية عمل النظام:

2-3-1 تبريد الماء في الوحدة المبردة (Chiller):

يتم تبريد الماء في الوحدة المبردة (Chiller) عن طريق دورة تبريد تعتمد على مبدأ انتقال الحرارة.

دورة التبريد الأساسية:

في حالة مبردات الضغط البخاري (Vapor Compression Chillers):

- يتم ضغط غاز التبريد (Refrigerant) في الضاغط (Compressor)، مما يرفع درجة حرارته.
- يمر الغاز الساخن عبر المكثف (Condenser)، حيث يفقد الحرارة ويتحول إلى سائل.
- بعد ذلك، يمر السائل عبر صمام التمدد (Expansion Valve)، حيث ينخفض ضغطه ودرجة حرارته.

- يدخل السائل البارد إلى المبخر (Evaporator)، حيث يمتص الحرارة من الماء المار عبر المبخر، مما يؤدي إلى تبريد الماء.

في حالة مبردات الامتصاص (Absorption Chillers):

- يتم استخدام مصدر حراري (مثل البخار أو الماء الساخن) لدفع دورة التبريد بدلاً من الضاغط.
 - يتم امتصاص الحرارة من الماء المار عبر المبخر باستخدام محلول كيميائي (عادةً بروميد الليثيوم).
- نتيجة العملية:

يخرج الماء من الوحدة المبردة بدرجة حرارة منخفضة (عادةً بين 6-8 درجة مئوية).

ضخ المياه المبردة إلى المناطق المراد تبريدها:

- يتم ضخ المياه المبردة من الوحدة المبردة عبر شبكة من الأنابيب إلى وحدات معالجة الهواء (AHUs) أو الملفات المبردة (FCUs) المنتشرة في المبنى.

وحدات معالجة الهواء (AHUs):

- تمر المياه المبردة عبر ملفات التبريد داخل الوحدة.
- يتم سحب الهواء الدافئ من المناطق المراد تبريدها وتمريضه فوق الملفات المبردة، حيث يفقد الحرارة

ويصبح باردًا.

- يتم توزيع الهواء البارد مرة أخرى إلى المناطق المطلوبة عبر مجاري الهواء.

الملفات المبردة (FCUs):

- تعمل بنفس المبدأ ولكن على نطاق أصغر، حيث يتم تبريد الهواء مباشرة في الغرف أو المناطق الصغيرة.

عودة المياه الدافئة إلى الوحدة المبردة:

بعد أن تمتص المياه المبردة الحرارة من الهواء في وحدات معالجة الهواء أو الملفات المبردة، ترتفع درجة حرارتها وتصبح مياه دافئة.

- يتم ضخ هذه المياه الدافئة مرة أخرى إلى الوحدة المبردة عبر أنابيب العودة.

- في الوحدة المبردة، يتم تبريد المياه الدافئة مرة أخرى عن طريق دورة التبريد، وتكرر العملية.

التخلص من الحرارة الزائدة (في حالة وجود برج تبريد):

- في بعض الأنظمة، يتم استخدام برج التبريد (Cooling Tower) للتخلص من الحرارة الزائدة.

- يتم تمرير المياه الساخنة من المكثف (في حالة مبردات الضغط البخاري) أو من الوحدة المبردة إلى برج التبريد.

- في برج التبريد، يتم تبريد المياه عن طريق تبخير جزء منها أو عن طريق تبادل الحرارة مع الهواء الخارجي.

- يتم إعادة المياه المبردة إلى الوحدة المبردة لإكمال الدورة.

التحكم في النظام:

- يتم التحكم في درجة حرارة المياه المبردة وكمية التبريد المطلوبة عن طريق أجهزة استشعار ووحدات تحكم آلية.

- يمكن ضبط النظام لتلبية احتياجات التبريد المختلفة في أوقات مختلفة من اليوم أو في مناطق مختلفة من المبنى.

2-4 مزايا نظام المياه المبردة (Advantages of the Chilled Water System):

تُعرف أنظمة المياه المبردة بكفاءتها العالية وموثوقيتها وقدرتها على التكيف في تطبيقات التبريد واسعة النطاق. فيما يلي المزايا الرئيسية التي تجعلها الخيار المفضل للمباني التجارية والصناعية والسكنية، بالإضافة إلى أهميتها في البحث والتطبيق العملي:

1. تعزيز كفاءة الطاقة:

تظهر أنظمة المياه المبردة كفاءة طاقة أعلى مقارنة بأنظمة التبريد التقليدية، خاصة عند دمجها مع تقنيات متقدمة مثل محركات السرعة المتغيرة (VSDs) والمبردات (Chillers) عالية الكفاءة. يؤدي ذلك إلى تقليل استهلاك الطاقة، وخفض التكاليف التشغيلية، وتقليل انبعاثات الكربون، مما يجعلها خيارًا مستدامًا للمباني الحديثة.

2. القدرة على التوسع والتكيف:

يمكن توسيع هذه الأنظمة بسهولة لتلبية احتياجات التبريد المتنوعة عن طريق تعديل عدد المبردات (Chillers) أو معدلات تدفق المياه. هذه المرونة تجعلها مناسبة لمجموعة واسعة من التطبيقات، من المباني الصغيرة إلى المجمعات الصناعية الكبيرة.

3. التحكم المركزي والتشغيل الآلي:

يسمح التكامل مع أنظمة إدارة المباني (BMS) بتنظيم دقيق لدرجة الحرارة، والمراقبة في الوقت الفعلي، وإجراء التعديلات التلقائية. هذا يعزز أداء النظام، ويحسن استخدام الطاقة، ويضمن مستويات راحة متسقة في جميع أنحاء المبنى.

4. تقليل التأثير البيئي:

باستخدام المياه كوسيط تبريد رئيسي، تقلل أنظمة المياه المبردة الاعتماد على المبردات الضارة. وهذا يساهم في خفض انبعاثات غازات الدفيئة ويتوافق مع اللوائح البيئية العالمية مثل بروتوكول مونتريال ولوائح (F-Gas).

5. المتانة والموثوقية على المدى الطويل:

تم تصميم أنظمة المياه المبردة لعمر تشغيلي طويل، حيث يتم بناء مكوناتها بشكل متين لضمان أداء موثوق لأكثر من 20 عامًا مع الصيانة المناسبة. هذا يقلل من الحاجة إلى الاستبدال المتكرر ويخفض تكاليف دورة الحياة.

6. تشغيل هادئ ومريح:

عادةً ما يتم تركيب المكونات الميكانيكية مثل المبردات (chillers) والمضخات في غرف محطات مركزية بعيدة عن المساحات المشغولة. هذا يضمن تشغيلًا أكثر هدوءًا، مما يعزز الراحة في البيئات مثل المكاتب والمستشفيات والمباني السكنية.

7. تحسين جودة الهواء الداخلي:

تستخدم أنظمة المياه المبردة وحدات معالجة الهواء (AHUs) ووحدات الملفات المروحية (FCUs) المجهزة بأنظمة ترشيح متقدمة. تعمل هذه الأنظمة على إزالة الملوثات والمواد المسببة للحساسية بشكل فعال، مما يحسن جودة الهواء الداخلي ويعزز بيئات أكثر صحة.

8. فعالية التكلفة للتطبيقات واسعة النطاق:

على الرغم من أن تكاليف التثبيت الأولية قد تكون أعلى، فإن أنظمة المياه المبردة توفر وفورات كبيرة على المدى الطويل بسبب كفاءتها في استخدام الطاقة وانخفاض متطلبات الصيانة. هذا يجعلها مجدية اقتصاديًا للتطبيقات واسعة النطاق مثل مراكز التسوق ومراكز البيانات والمنشآت الصناعية.

9. التقسيم والتبريد المخصص:

تسمح هذه الأنظمة بالتبريد المستقل لمناطق مختلفة داخل المبنى، مما يضمن الراحة المثلى وكفاءة الطاقة عن طريق تبريد المناطق التي تحتاج إليها فقط. هذه القدرة على التقسيم مفيدة بشكل خاص في المباني متعددة المستأجرين والمنشآت ذات احتياجات التبريد المتنوعة.

10. التكامل مع مصادر الطاقة المتجددة:

يمكن دمج أنظمة المياه المبردة بسهولة مع مصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية الحرارية أو الأنظمة الجيوتحرارية. هذا يقلل بشكل أكبر من استهلاك الطاقة ويدعم الانتقال إلى حلول تبريد مستدامة وصديقة للبيئة.

11. تصميم يوفر المساحة:

إستخدام أنابيب أصغر لنقل المياه، مقارنة بأنظمة التبريد القائمة على الهواء التي تتطلب مجاري كبيرة، يوفر مساحة قيمة داخل المباني. هذا يسمح بتصاميم معمارية أكثر مرونة وإستخداماً فعالاً للمساحة المتاحة.

12. صيانة مبسطة وتقليل وقت التعطل

تبسيط إجراءات الصيانة من خلال المكونات المركزية يقلل من وقت التعطل والاضطرابات التشغيلية. هذا يضمن أداءً متسقاً ويقلل من التأثير على عمليات المبنى.

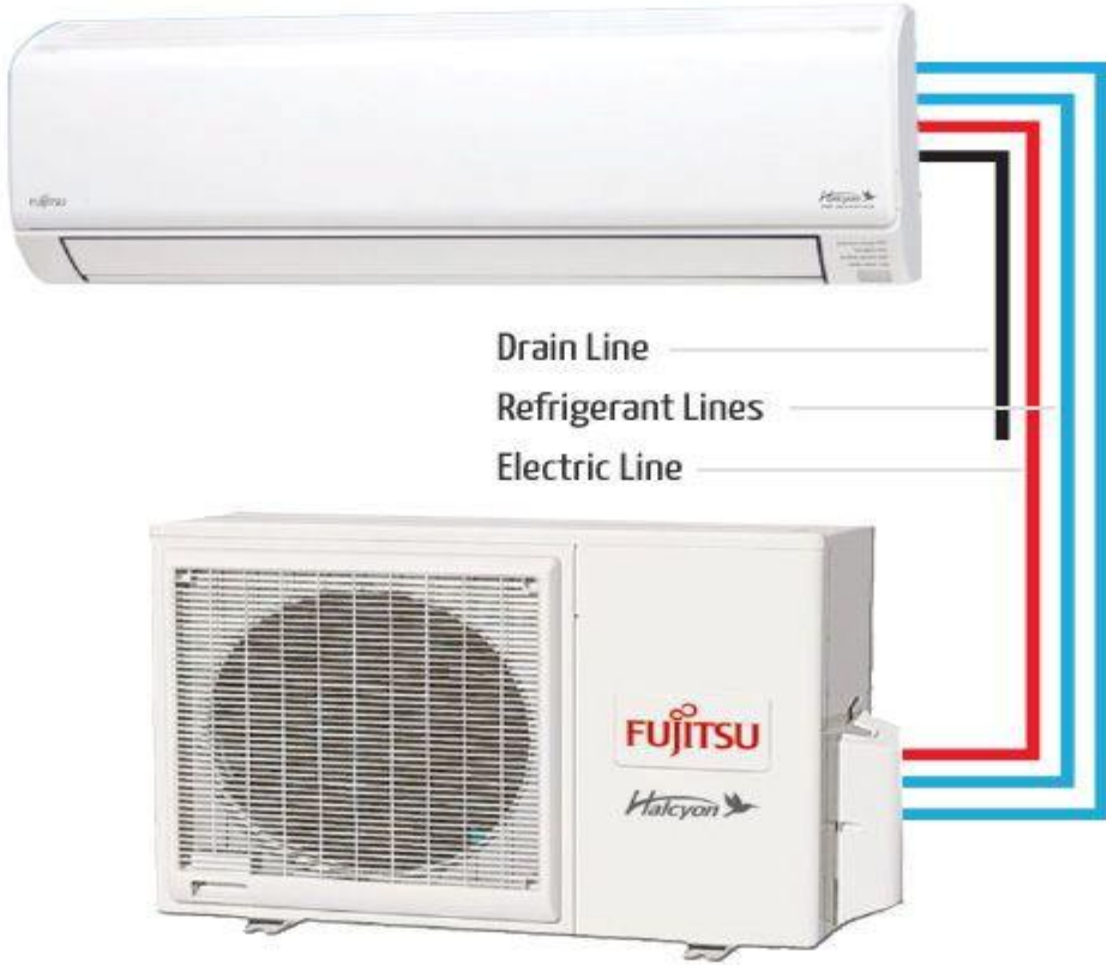
2-5 مقارنة بين نظام المياه المبردة والأنظمة الأخرى

:(Comparison Between Chilled Water System and Other System)

2-5-1 مقارنة بين نظام المياه المبردة نظام التمدد المباشر (DX System):

نظام التمدد المباشر (DX) هو نوع من أنظمة التكييف حيث يمتص غاز التبريد الحرارة مباشرة من الهواء الداخلي ويزيلها. يُستخدم هذا النظام عادةً في المباني الصغيرة إلى المتوسطة الحجم ويتكون من ضاغط، ومبخّر، ومكثف.

Indoor Unit (Evaporator)



Outdoor Unit (Condensor)

شكل (2-13) يوضح نظام التمدد المباشر (DX System)

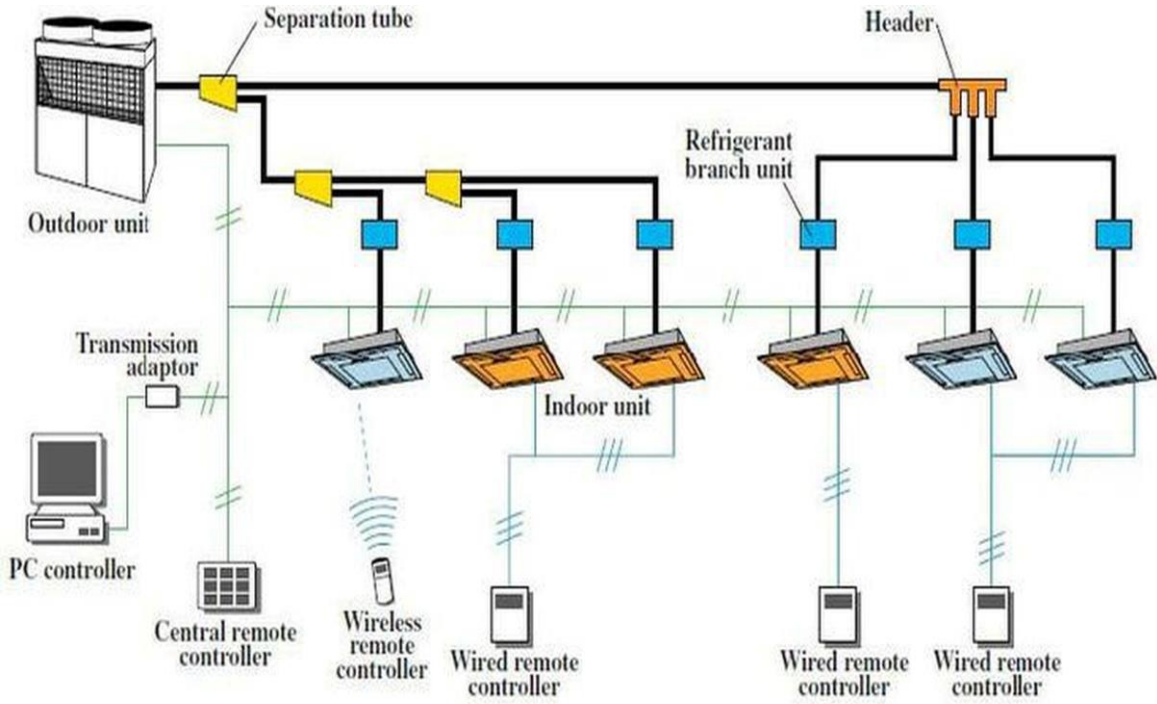
الجدول (2-1) يوضح مقارنة بين نظام المياه المبردة ونظام التمدد المباشر (DX System):

العنصر	نظام المياه المبردة	نظام التمدد المباشر (DX System)
الآلية	يستخدم الماء كوسيط تبريد رئيسي يوزع عبر الأنابيب.	يبرد الهواء مباشرة باستخدام غاز التبريد في الوحدة الداخلية.
الإستخدام المثالي	المباني الكبيرة مثل المستشفيات والمطارات والمجمعات التجارية.	المنزل والفلل والمحلات التجارية الصغيرة.
كفاءة الطاقة	عالية جداً، خاصة للمشاريع الكبيرة.	متوسطة إلى منخفضة عند الإستخدام على نطاق واسع.

تكلفة التركيب الأولية	مرتفعة جدًا بسبب الحاجة إلى المبردات (Chillers) والأنابيب وأبراج التبريد.	منخفضة إلى متوسطة حسب الحجم.
تكلفة التشغيل	منخفضة بسبب الكفاءة العالية في استهلاك الطاقة.	مرتفعة بسبب الاستهلاك العالي للكهرباء.
الصيانة	معقدة وتتطلب مهندسين متخصصين.	أبسط لكنها معرضة للأعطال المتكررة.
مرونة التصميم	مرن جدًا مع توزيع الأنابيب لمسافات طويلة.	محدود، حيث يتطلب قرب الوحدات الداخلية والخارجية من بعضها.
جودة الهواء	ممتازة مع وحدات مناولة هواء متقدمة وفلاتر.	متوسطة، حيث تعتمد على وحدة واحدة لكل منطقة.
المساحة المغطاة	يغطي مساحات كبيرة بكفاءة.	مناسب فقط للمساحات الصغيرة والمتوسطة.
قابلية التوسع مستقبلاً	سهل التوسعة عن طريق إضافة المزيد من المبردات أو الوحدات.	صعب، حيث يتطلب وحدات إضافية لكل منطقة.
الأداء في المناخات الحارة	فعال جدًا بسبب نظام التبريد القائم على الماء.	يقل الأداء في درجات الحرارة العالية.
التحكم بالمناطق المختلفة	يوفر تحكمًا مستقلًا لكل منطقة عبر وحدات مناولة الهواء.	محدود، حيث تتحكم كل وحدة في منطقتها فقط.
الضوضاء	هادئ نسبيًا لأن معظم المعدات مركزية.	قد تصدر الوحدات الداخلية والخارجية ضوضاء ملحوظة.
الأثر البيئي	منخفض مع أنظمة التبريد الحديثة الموفرة للطاقة.	متوسط بسبب الاستهلاك العالي للكهرباء.
العمر الافتراضي	طويل جدًا مع الصيانة الدورية.	متوسط، حيث يتأثر بالأعطال المتكررة.

2-5-2 مقارنة بين نظام المياه المبردة و نظام تدفق التبريد المتغير (VRF):

نظام تدفق التبريد المتغير (VRF) هو تقنية تكييف متقدمة تستخدم غاز التبريد كوسيط للتبريد والتدفئة. يسمح بالتحكم الدقيق في درجة الحرارة من خلال تغيير تدفق غاز التبريد إلى الوحدات الداخلية المختلفة، مما يجعله مثاليًا للمباني متوسطة إلى كبيرة الحجم التي تتطلب تبريدًا متنوعًا.



شكل (2-14) يوضح نظام تدفق التبريد المتغير (VRF System)

الجدول (2-2) يوضح مقارنة بين نظام المياه المبردة و نظام تدفق التبريد المتغير (VRF):

العنصر	نظام المياه المبردة	نظام تدفق التبريد المتغير (VRF)
الآلية	يستخدم الماء كوسيط تبريد رئيسي يوزع عبر الأنابيب.	يستخدم غاز التبريد بتدفق متغير إلى وحدات داخلية متعددة.
الإستخدام المثالي	المباني الكبيرة مثل المستشفيات والمطارات والمجمعات التجارية.	المباني المتوسطة مثل المكاتب والمجمعات السكنية.
كفاءة الطاقة	عالية جدًا، خاصة للمشاريع الكبيرة.	عالية للمباني المتوسطة إلى الكبيرة.
تكلفة التركيب الأولية	مرتفعة جدًا بسبب الحاجة إلى المبردات والأنابيب وأبراج التبريد.	مرتفعة نسبيًا بسبب التكنولوجيا المتقدمة.

تكلفة التشغيل	منخفضة بسبب الكفاءة العالية في استهلاك الطاقة.	متوسطة مع ميزات توفير الطاقة.
الصيانة	معقدة وتتطلب مهندسين متخصصين.	تحتاج إلى صيانة متقدمة لكنها أقل عرضة للأعطال المتكررة.
مرونة التصميم	مرن جداً مع توزيع الأنابيب لمسافات طويلة.	مرن جداً مع تحكم مستقل في كل منطقة.
جودة الهواء	ممتازة مع وحدات مناولة هواء متقدمة وفلاتر.	جيدة مع وحدات وفلاتر متقدمة.
المساحة المغطاة	يغطي مساحات كبيرة بكفاءة.	يغطي مساحات متوسطة مع توزيع مرن.
قابلية التوسع مستقبلاً	سهل التوسعة عن طريق إضافة المزيد من المبردات أو الوحدات.	متوسطة، حيث يمكن إضافة وحدات جديدة إلى النظام.
الأداء في المناخات الحارة	فعال جداً بسبب نظام التبريد القائم على الماء.	يحافظ على أداء جيد نسبياً.
التحكم بالمناطق المختلفة	يوفر تحكماً مستقلاً لكل منطقة عبر وحدات مناولة الهواء.	دقيق ومرن في التحكم بالمناطق المتعددة.
الضوضاء	هادئ نسبياً لأن معظم المعدات مركزية.	هادئ بسبب تصميم الوحدات المتقدمة.
الأثر البيئي	منخفض مع أنظمة التبريد الحديثة الموفرة للطاقة.	منخفض نسبياً مع تقنيات توفير الطاقة.
العمر الافتراضي	طويل جداً مع الصيانة الدورية.	طويل نسبياً بسبب التكنولوجيا المتقدمة.

2-6 التحديات والحلول في تصميم نظام المياه المبردة

:(Challenges and Solutions in Designing the Chilled Water System)

1. كفاءة النظام:

التحدي:

أنظمة المياه المبردة يمكن أن تكون كثيفة الاستهلاك للطاقة، خاصة إذا لم يتم تصميمها بشكل مثالي.

التصميم غير الفعال يؤدي إلى ارتفاع تكاليف التشغيل وزيادة استهلاك الطاقة.

الحلول:

- أنظمة التدفق المتغير: استخدام أنظمة التدفق الأولي أو الثانوي المتغير لتقليل طاقة الضخ عن طريق تعديل معدلات التدفق بناءً على الطلب.

- وحدات التبريد عالية الكفاءة: إختيار وحدات تبريد ذات معامل أداء عالي (COP) أو قيمة الحمل الجزئي المتكامل (IPLV).

- التخزين الحراري: دمج تخزين الطاقة الحرارية لنقل أحمال التبريد إلى ساعات الذروة المنخفضة، مما يقلل من تكاليف الطاقة.

- تحسين حجم الأنابيب: تحديد حجم الأنابيب بشكل صحيح لتقليل انخفاض الضغط وقوة الضخ.

2. التباين في الأحمال:

التحدي:

يمكن أن تختلف أحمال التبريد بشكل كبير خلال اليوم أو الموسم، مما يجعل من الصعب الحفاظ على كفاءة النظام والراحة.

الحلول:

- تقسيم وحدات التبريد: استخدام وحدات تبريد متعددة بسعات مختلفة لتتناسب مع متطلبات الحمل.

- محركات السرعة المتغيرة (VSDs): تركيب محركات سرعة متغيرة على المضخات ووحدات التبريد والمراوح لتعديل سرعتها بناءً على الحمل.

- التحكم القائم على الطلب: تنفيذ أنظمة تحكم متقدمة لتعديل تشغيل النظام ديناميكياً بناءً على بيانات الحمل في الوقت الفعلي.

3. جودة المياه والصيانة:

التحدي:

انخفاض جودة المياه يمكن أن يؤدي إلى التلوث والتآكل والترسبات في النظام، مما يقلل من الكفاءة ويزيد من تكاليف الصيانة.

الحلول:

- معالجة المياه: تنفيذ أنظمة معالجة كيميائية أو ترشيح للحفاظ على جودة المياه.
- الصيانة الدورية: جدولة فحوصات وتنظيف دوري للمبادلات الحرارية والأنابيب وأبراج التبريد.
- أنظمة الحلقة المغلقة: استخدام أنظمة الحلقة المغلقة حيثما أمكن لتقليل التلوث.

4. قيود المساحة:

التحدي:

المساحة المحدودة لتثبيت المعدات يمكن أن تعقد تصميم وتخطيط أنظمة المياه المبردة.

الحلول:

- معدات مدمجة: إختيار وحدات تبريد ومضخات ومبادلات حرارية مدمجة أو معيارية.
- تصميم رأسي: استخدام الأنابيب الرأسية وتركيب المعدات بشكل متكدر لتوفير مساحة الأرضية.
- التثبيت الخارجي: النظر في تركيب أبراج التبريد أو وحدات التبريد على الأسطح أو في الأماكن الخارجية.

5. توازن النظام:

التحدي:

التوزيع غير المتكافئ للتدفق في النظام يمكن أن يؤدي إلى تبريد غير كافٍ في بعض المناطق وتبريد مفرط في مناطق أخرى.

الحلول:

- صمامات التوازن: تركيب صمامات توازن لتنظيم معدلات التدفق في الفروع المختلفة للنظام.
- النمذجة الهيدروليكية: استخدام برامج النمذجة الهيدروليكية لتصميم نظام متوازن.

- الصمامات المستقلة عن الضغط: تنفيذ صمامات تحكم مستقلة عن الضغط (PICVs) للحفاظ على معدلات تدفق ثابتة.

6. التكلفة الأولية مقابل تكلفة دورة الحياة:

التحدي:

التكاليف الأولية العالية للمعدات عالية الكفاءة وأنظمة التحكم المتقدمة يمكن أن تثني عن الاستثمار، حتى إذا كانت توفر مدخرات طويلة الأجل.

الحلول:

- تحليل تكلفة دورة الحياة: إجراء تحليل لتكلفة دورة الحياة لتبرير الاستثمار الأولي في المعدات عالية الكفاءة.

- الحواجز والخصومات: استكشاف الحواجز الحكومية أو المرافق العامة لأنظمة الطاقة الفعالة.

- التنفيذ التدريجي: تنفيذ النظام على مراحل لتوزيع التكاليف مع مرور الوقت.

7. الضوضاء والاهتزازات:

التحدي:

وحدات التبريد والمضخات وأبراج التبريد يمكن أن تولد ضوضاء واهتزازات، مما يؤثر على راحة المستخدمين.

الحلول:

- عزل الاهتزازات: استخدام عوازل الاهتزازات والوصلات المرنة للمعدات.

- الوحدات الصوتية: تركيب وحدات صوتية أو حواجز حول المعدات الصاخبة.

- الموقع المناسب: وضع المعدات الصاخبة بعيداً عن المساحات المشغولة أو في غرف عازلة للصوت.

8. العوامل المناخية والبيئية:

التحدي:

الظروف الجوية القاسية أو اللوائح البيئية يمكن أن تؤثر على أداء النظام وتصميمه.

الحلول:

- تصميم خاص بالمناخ: تخصيص تصميم النظام لظروف المناخ المحلي مثل: (المبردات الجافة للمناخات الجافة).

- المواد المبردة الصديقة للبيئة: استخدام مواد مبردة ذات إمكانية منخفضة للاحتراق العالمي (GWP) للامتثال للوائح البيئية.

- استعادة الحرارة: تنفيذ أنظمة استعادة الحرارة لاستخدام الحرارة المهدرة في عمليات أخرى.

9. التكامل مع أنظمة المبنى:

التحدي:

يجب أن تندمج أنظمة المياه المبردة بسلاسة مع أنظمة المبنى الأخرى، مثل أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC)، والأنظمة الكهربائية وأنظمة الأتمتة.

الحلول:

- نمذجة معلومات البناء (BIM): استخدام (BIM) لتنسيق تصميم ودمج جميع أنظمة المبنى.

- البروتوكولات المفتوحة: إختيار المعدات وأنظمة التحكم التي تدعم بروتوكولات اتصال مفتوحة مثل:

(BACnet، Modbus) لتسهيل التكامل.

- التصميم التعاوني: إشراك جميع الأطراف المعنية (المهندسين الميكانيكيين والكهربائيين وأتمتة المباني)

في مرحلة التصميم المبكرة.

10. التوسع المستقبلي والمرونة:

التحدي:

قد يحتاج النظام إلى استيعاب التوسع المستقبلي أو التغييرات في استخدام المبنى، والتي يمكن أن يصعب التنبؤ بها.

الحلول:

- التصميم المعياري: تصميم النظام بمكونات معيارية يمكن توسيعها أو ترقيتها بسهولة.

- البنية التحتية ذات السعة الزائدة: توفير سعة إضافية في المضخات والأنابيب ووحدات التبريد لاستيعاب النمو المستقبلي.

- أنظمة التحكم المرنة: استخدام أنظمة تحكم قابلة للتطوير يمكنها التكيف مع التغييرات المستقبلية.

2-7 إدارة الطاقة وكفاءة الطاقة في نظام المياه المبردة

(Energy Management and Efficiency in the Chilled Water System):

تُعد إدارة الطاقة وكفاءة الطاقة عنصرين أساسيين في تشغيل أنظمة المياه المبردة، والتي تُستخدم على نطاق واسع لأغراض التبريد في المباني التجارية والصناعية والسكنية. فيما يلي عدة أسباب توضح أهميتها:

1. توفير التكاليف: تُعتبر الطاقة واحدة من أكبر النفقات التشغيلية في أنظمة المياه المبردة. يمكن أن تؤدي الإدارة الفعالة للطاقة إلى توفير كبير في التكاليف من خلال تقليل كمية الكهرباء المستهلكة من قبل الوحدات التبريدية (الشيلرات)، والضواغط، وأبراج التبريد، والمكونات الأخرى.

2. الأثر البيئي: يمكن أن يكون لأنظمة المياه المبردة بصمة بيئية كبيرة بسبب استهلاكها للطاقة وانبعاثات الغازات الدفيئة المرتبطة بها. تحسين كفاءة الطاقة يساعد في تقليل هذا الأثر، مما يساهم في مكافحة تغير المناخ.

3. أداء النظام: تضمن الإدارة الجيدة للطاقة تشغيل نظام المياه المبردة بأداء مثالي. وهذا يشمل الحفاظ على درجات الحرارة ومعدلات التدفق المناسبة، مما يمكن أن يطيل عمر المعدات ويقلل الحاجة إلى الإصلاحات والصيانة.

4. الامتثال للوائح: تفرض العديد من المناطق لوائح ومعايير تتطلب من المباني تحقيق معايير معينة لكفاءة الطاقة. تضمن الإدارة الفعالة للطاقة الامتثال لهذه اللوائح، مما يتجنب الغرامات والعقوبات المحتملة.

5. استجابة الطلب: يمكن لأنظمة المياه المبردة ذات الكفاءة العالية المشاركة في برامج استجابة الطلب، حيث تقلل استهلاك الطاقة خلال فترات الذروة استجابة لطلبات شركات المرافق. وهذا لا يساعد فقط في استقرار الشبكة الكهربائية، بل يمكن أن يوفر أيضًا حوافز مالية لمالك المبنى.

6. أهداف الاستدامة: تُحدد المنظمات بشكل متزايد أهدافًا للاستدامة لتقليل بصمتها الكربونية. تُعد أنظمة المياه المبردة ذات الكفاءة العالية جزءًا أساسيًا من تحقيق هذه الأهداف، حيث يمكنها تقليل استهلاك الطاقة والانبعاثات المرتبطة بها بشكل كبير.

7. تحسين الراحة: يمكن أن تؤدي الإدارة الفعالة للطاقة إلى تحسين التحكم في البيئة الداخلية، مما يعزز راحة المستخدمين. وذلك لأن النظام يمكنه الحفاظ على درجات الحرارة ومستويات الرطوبة بشكل أكثر فعالية.

8. أمن الطاقة: من خلال تقليل استهلاك الطاقة، تصبح المباني أقل اعتمادًا على الشبكة الكهربائية وأقل عرضة لتقلبات أسعار الطاقة وانقطاعات الإمداد.

لتحقيق هذه الفوائد، يمكن تطبيق استراتيجيات مختلفة في أنظمة المياه المبردة، مثل:

- الصيانة الدورية لضمان عمل جميع المكونات بكفاءة.
- الترقية إلى معدات عالية الكفاءة.
- تطبيق استراتيجيات تحكم متقدمة، مثل استخدام محركات متغيرة السرعة للضاغط والمراوح.
- استخدام التخزين الحراري لنقل أحمال التبريد إلى ساعات خارج أوقات الذروة.
- تحديث الأنظمة الحالية بتقنيات توفير الطاقة.
- إجراء عمليات تدقيق للطاقة لتحديد ومعالجة أوجه القصور في الكفاءة.

الباب الثالث

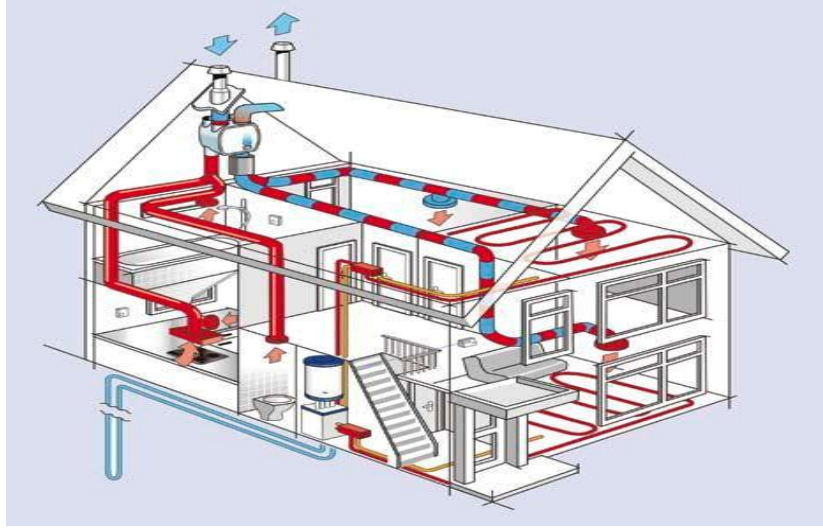
أنظمة طرد الهواء (Air Exhaust Systems)

3-1 مفهوم أنظمة طرد الهواء (Air Exhaust Systems Overview):

هي أنظمة تهوية مخصصة لإزالة الهواء الملوث أو غير المرغوب فيه من الأماكن المغلقة، عبر عملية ميكانيكية أو طبيعية. يعتمد الهدف الأساسي لهذه الأنظمة على تحسين جودة الهواء الداخلي (Indoor Air Quality - IAQ)، وضمان استبدال الهواء الملوث بالهواء النقي، مما يساهم في الحفاظ على بيئة صحية وآمنة.

من الناحية العلمية، يتراكم الهواء الملوث في الأماكن المغلقة العديد من الملوثات، مثل الغازات، الرطوبة، الروائح، والجسيمات العالقة. وتؤدي هذه الملوثات إلى تدهور جودة الهواء، مما يؤثر سلبًا على صحة الأفراد وأداء المبنى. لذا، يتم استخدام أنظمة طرد الهواء لتحفيز حركة الهواء (Airflow)، وإزالة هذه الملوثات عبر وسائل مختلفة، بما في ذلك التحكم في تدفق الهواء (Airflow)، درجة الحرارة (Temperature)، وضغط الهواء (Air Pressure) داخل المبنى.

أحد الآليات العلمية الرئيسية في هذه الأنظمة هو مبدأ التدفق الميكانيكي (Mechanical Airflow) أو الطبيعي (Natural Airflow) للهواء، حيث يعتمد على فرق الضغط (Pressure Differential) بين الداخل والخارج. في الأنظمة الميكانيكية (Mechanical Systems)، يتم تحريك الهواء باستخدام مراوح (Fans) لضمان استخراج الهواء الملوث. في المقابل، تعتمد الأنظمة الطبيعية (Natural Systems) على الفروقات الحرارية (Thermal Differences) أو الضغط بين المساحات الداخلية والخارجية لتحقيق تدفق هوائي (Airflow).



شكل (1-3) يوضح نظام طرد الهواء

2-3 مكونات أنظمة طرد الهواء (Air Exhaust System Components):

تلعب أنظمة طرد الهواء دورًا أساسيًا في أنظمة التكييف والتهوية، حيث تعمل على إزالة الهواء الملوث والروائح للحفاظ على جودة الهواء الداخلي تعتمد هذه الأنظمة على مراوح الطرد، مجاري الهواء، وأنظمة التحكم الذكية لضمان كفاءة التشغيل وتقليل استهلاك الطاقة يتم تصميمها وفق معايير التهوية المستدامة لتحقيق أداء مثالي مع الحد من فقدان الطاقة.

1-2-3 مداخل الهواء إلى النظام (Air Intake & Capture Points):

- أغطية الطرد (Exhaust Hoods): تُستخدم في المطابخ والمختبرات الصناعية لسحب الهواء المحمل بالملوثات من المصدر مباشرة.



شكل (2-3) يوضح أغطية الهواء

- الفتحات الهوائية (Grilles, Registers, Diffusers): تعمل على تنظيم دخول الهواء إلى النظام، وغالبًا ما تكون مزودة بعناصر تحكم مثل اللوفرات لمنع دخول الأتربة والحشرات.

2-2-3 معدات حركة الهواء (Air Movement Equipment):

مراوح الطرد (Exhaust Fans)

تُعد مراوح الطرد العنصر الأساسي في تحريك الهواء داخل النظام، وتُختار بناءً على معدل تدفق الهواء (CFM) ومتطلبات الضغط الاستاتيكي.

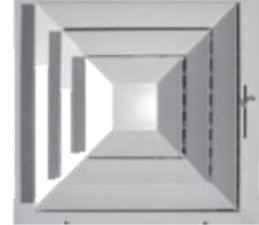
أنواع المراوح:



Grilles



Registers



Diffusers

شكل (3-3) يوضح أنواع مخارج الهواء

1. المراوح المحورية (Axial Fans): مناسبة للتطبيقات ذات الضغط المنخفض والتدفق الهوائي العالي، مثل تهوية الحمامات والمطابخ.



شكل (4-3) يوضح المروحة المحورية

- المزايا: كفاءة عالية، ضوضاء منخفضة.

- العيوب: غير فعالة في مواجهة المقاومة العالية.

2. المراوح الطاردة المركزية (Centrifugal Fans): تُستخدم في البيئات التي تتطلب ضغطاً استاتيكيًا مرتفعًا، مثل المطابخ الصناعية والمختبرات.

- الأنواع:

- شفرات منحنية للأمام (Forward-Curved Blades): للأحمال الخفيفة والضغط المنخفض.

- شفرات منحنية للخلف (Backward-Curved Blades): أكثر كفاءة وتُستخدم للضغط المرتفع.

3. مراوح السقف (Roof-Mounted Exhaust Fans): تُركب على الأسطح لطرد الهواء الساخن أو الملوث مباشرة إلى الخارج.

- الأنواع:

Backward-Curved Blades



Forward-Curved Blades



Roof-Mounted Exhaust Fans



شكل (3-5) يوضح مراوح الطرد المركزي

- مراوح بمحرك مباشر (Direct Drive Fans): مناسبة للأحمال الخفيفة والتطبيقات الصغيرة.

- مراوح بحزام نقل (Belt-Driven Fans): تُستخدم في الأنظمة الصناعية الكبيرة.

- مراوح القنوات الهوائية (Inline Duct Fans): تُثبت داخل القنوات لتحسين تدفق الهواء في الأنظمة الطويلة أو متعددة المداخل، مثل مواقف السيارات والمطابخ التجارية.



شكل (3-6) يوضح مروحة القناة الهوائية

3-2-3 مجاري الهواء (Ductwork):

تُستخدم لنقل الهواء داخل النظام، وتصميمها يؤثر بشكل مباشر على كفاءة الأداء.

أنواع مجاري الهواء:

- القنوات المعدنية المجلفنة (Galvanized Steel Ducts): الأكثر شيوعًا، مقاومة للحريق والتآكل.

- القنوات المصنوعة من الألمنيوم (Aluminum Ducts): خفيفة الوزن، مقاومة للصدأ، لكنها أقل متانة من القنوات الفولاذية.

- القنوات البلاستيكية (PVC Ducts): مناسبة للبيئات الكيميائية أو الرطبة، مثل المختبرات ومحطات المعالجة.

- القنوات المرنة (Flexible Ducts): تُستخدم في التطبيقات التي تتطلب تركيبًا مرئيًا أو عند الحاجة إلى توجيه الهواء في مساحات ضيقة.

4-2-3 العزل الحراري والصوتي (Duct Insulation & Soundproofing):

يتم عزل القنوات للحفاظ على كفاءة نقل الهواء ومنع تكوّن الرطوبة داخل القناة تُستخدم مواد مثل:

- الصوف الزجاجي (Glass Wool): يوفر عزلاً حراريًا جيدًا، ويحد من تكوّن التكثيف داخل مجاري الهواء.

- ألواح الألياف الزجاجية العازلة للصوت (Fiberglass Acoustic Panels): تُستخدم داخل القنوات لتقليل الضوضاء الناتجة عن تدفق الهواء.

3-2-5 معدات التحكم في تدفق الهواء (Airflow Control Components):

المخمدات الهوائية (Dampers):

- مخمدات التحكم (Control Dampers): تُستخدم لتنظيم تدفق الهواء داخل القنوات.

- مخمدات منع الرجوع (Backdraft Dampers): تمنع عودة الهواء عند توقف المراوح.

- مخمدات الحريق (Fire Dampers): تُغلق تلقائيًا عند ارتفاع درجة الحرارة لمنع انتشار الحريق عبر القنوات.

- كواتم الصوت (Silencers & Mufflers): تُركب داخل القنوات لتقليل الضوضاء الناتجة عن حركة الهواء.



Control Dampers



Backdraft Dampers



Fire Dampers



Silencers & Mufflers

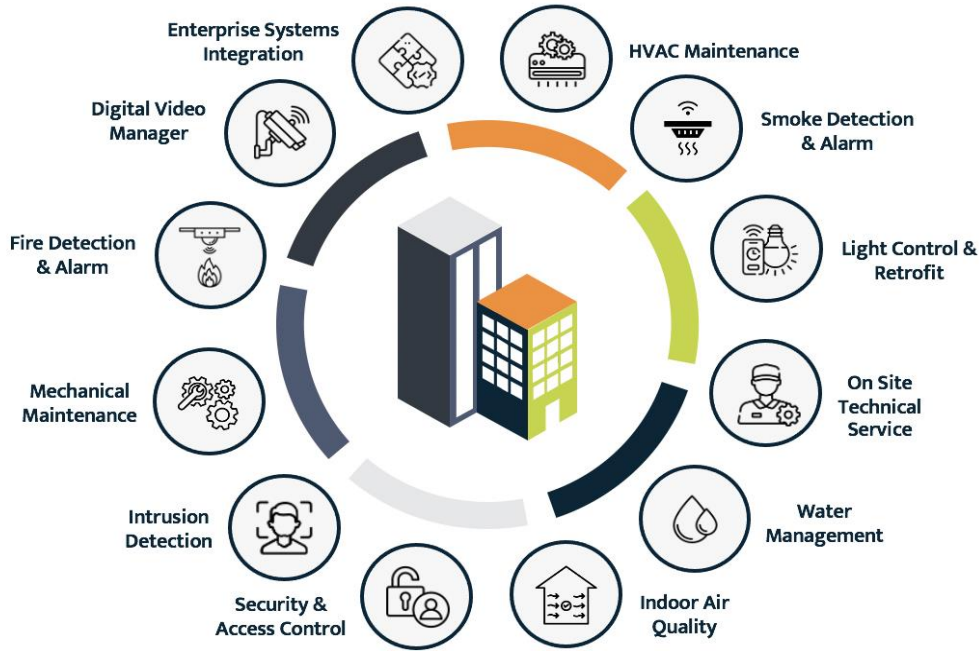
شكل (3-7) يوضح معدات التحكم في تدفق الهواء

3-2-6 أنظمة التحكم والتشغيل (Control & Automation Systems):

- وحدات التحكم في سرعة المراوح (Variable Speed Controllers): تسمح بالتحكم في سرعة المراوح وفقاً للحمل الفعلي.

- أنظمة إدارة المباني (Building Management Systems - BMS): أنظمة إلكترونية مركزية تراقب وتتحكم في التشغيل التلقائي لنظام التهوية والطرء.

Building Management System (BMS)



شكل (8-2) يوضح أنظمة إدارة المباني

3-2-7 منافذ تصريف الهواء (Air Exhaust Termination Points):

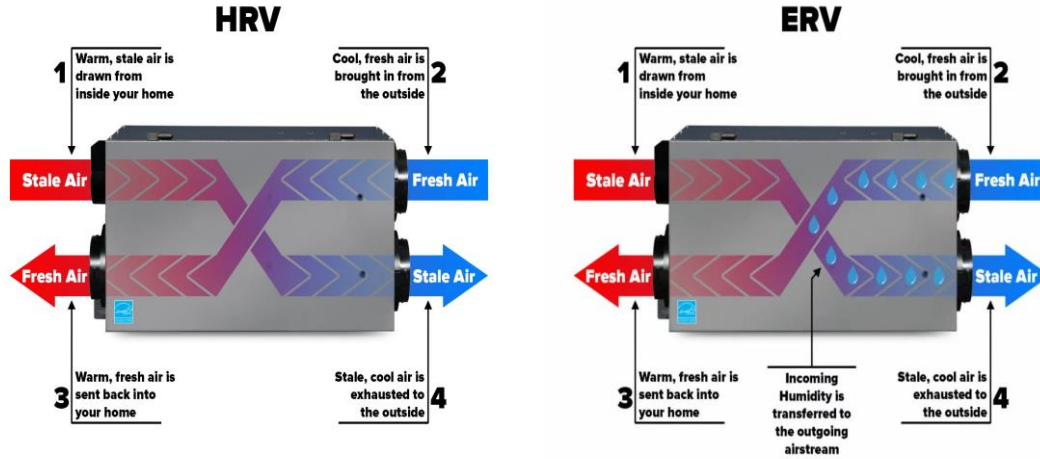
- شبكات الطرد والفتحات الهوائية (Exhaust Grilles & Louvers): تُركب على الجدران أو الأسطح لتنظيم تدفق الهواء الخارج.

- مرشحات الهواء (Air Filters): تشمل مرشحات HEPA ومرشحات الكربون النشط لإزالة الملوثات والروائح.

8-2-3 أنظمة استعادة الطاقة وأنظمة إعادة التدفئة

(Energy Recovery Systems – ERVs & HRVs)

تُستخدم هذه الأنظمة لتقليل فقدان الطاقة عند طرد الهواء المكيف، مما يحسن كفاءة استهلاك الطاقة.



شكل (2-9) يوضح أنظمة استعادة الطاقة

أنواع أنظمة استعادة الطاقة:

- مبادلات حرارية (Heat Exchangers): تنقل الحرارة من الهواء الطارد إلى الهواء النقي الداخل، مما

يقلل من الحمل الحراري على أنظمة التكييف.

- عجلات استعادة الطاقة (Energy Recovery Wheels): تدور بين تيار الهواء الطارد والهواء الداخل،

مما يتيح نقل كل من الحرارة والرطوبة.

- أجهزة استرداد الحرارة الحساسة (Sensible Heat Recovery Devices): تنقل الحرارة فقط دون

تأثير على مستوى الرطوبة.

- مبادلات الصفائح الحرارية (Plate Heat Exchangers): توفر فصلاً تاماً بين تيارات الهواء وتمنع

تداخل الملوثات.

تُستخدم هذه الأنظمة بشكل واسع في المباني التجارية والصناعية والمستشفيات، حيث تتطلب معدلات

تهوية عالية مع الحد الأدنى من فقدان الطاقة.

3-3 آلية عمل أنظمة طرد الهواء

:(Operation Mechanism of the Exhaust Air System)

1. جمع الهواء الملوث (Air Collection):

يتم تثبيت فتحات أو شبكات سحب الهواء (Air Intake Grilles or Registers) في المناطق التي تحتاج إلى التهوية، مثل المطابخ، الحمامات، والمناطق الصناعية أو الأماكن التي تحتوي على ملوثات هوائية.

يمكن أن تكون هذه الفتحات متصلة بمراوح طرد ميكانيكية (Exhaust Fans) أو تعمل بطريقة طبيعية اعتمادًا على فرق الضغط.

2. نقل الهواء الملوث (Air Transport):

يتم توصيل فتحات السحب بشبكة من مجاري الهواء (Ductwork) التي توجه الهواء إلى نقطة الطرد. يمكن استخدام فلاتر (Air Filters) لتنقية الهواء من الجسيمات قبل طرده، خاصة في الأماكن التي تتطلب معايير بيئية معينة.

3. طرد الهواء إلى الخارج (Air Exhaust to the Outside):

يتم طرد الهواء إلى الخارج من خلال فتحات مخصصة (Exhaust Vents) على جدران أو أسقف المبنى، أو عبر مداخن مرتفعة لضمان عدم رجوع الهواء الملوث إلى داخل المبنى. في بعض الأنظمة، يتم استخدام مراوح طرد (Exhaust Fans) لتسريع خروج الهواء وضمان تدفق مستمر.

4. تعويض الهواء المطرود (Makeup Air System – MAS):

لضمان عدم حدوث ضغط سلبي (Negative Pressure) داخل المبنى، يتم توفير هواء بديل من خلال فتحات تهوية أو أنظمة تكييف متكاملة (HVAC Systems)، مما يحافظ على التوازن في تدفق الهواء.

3-4 أنواع أنظمة طرد الهواء (Exhaust Air Systems Type):

3-4-1 أنظمة تهوية الطرد المحلية

(Local Exhaust Ventilation Systems – LEV Systems):

تُركّز على إزالة الملوثات من مصدر توليدها مباشرةً قبل انتشارها، مما يحد من تعرض الأفراد للمخاطر.

التطبيقات البارزة:

- المختبرات الكيميائية: أنظمة طرد الأبخرة السامة فوق أجهزة التفاعل، مثل: خزانات الغازات الخطرة في مختبرات الأبحاث الكيميائية والصيدلانية.
- المطابخ التجارية: أغطية إستخلاص (Hoods) مزودة بفلاتر لالتقاط الدهون والدخان، مثل: أنظمة التهوية في مطاعم المطاعم والفنادق الكبيرة.
- ورش اللحام: أنظمة طرد أبخرة اللحام والجسيمات المعدنية، وتُستخدم في المصانع التي تعتمد على عمليات القطع الحراري واللحام.

3-4-2 أنظمة التحكم في الضغط الهوائي (Air Pressure Control Systems):

أ. أنظمة الضغط السلبي (Negative Pressure Systems):

- تُستخدم في غرف العزل الطبي لمنع تسرب الملوثات إلى المناطق المجاورة، مثل: غرف عزل مرضى السل أو كوفيد-19 في المستشفيات.
- تُطبق في المختبرات عالية الخطورة مثل مختبرات المستوى الرابع (BSL-4) حيث يتم التعامل مع الفيروسات الخطيرة.

ب. أنظمة الضغط الإيجابي (Positive Pressure Systems):

- تُستخدم في الغرف النظيفة مثل: غرف العمليات الجراحية لمنع دخول الملوثات الخارجية.
- تُطبق في مصانع أشباه الموصلات لحماية الدوائر الإلكترونية الدقيقة من الغبار والجسيمات.

أنظمة إدارة الدخان (Smoke Control Systems)

تُصمَّم للتعامل مع حالات الطوارئ مثل:

- الحرائق عبر: إخلاء الدخان من المسارات الرئيسية (كالممرات والسلالم) باستخدام مراوح سحب الدخان.
- الحفاظ على رؤية واضحة لمسارات الهروب عبر تقنيات مثل: مراوح الدفع (Jet Fans) في المواقف المغلقة.

- التكامل مع أنظمة الإنذار لتفعيل الاستخلاص تلقائيًا عند اكتشاف الدخان.

3-4-3 أنظمة تجميع الغبار (Dust Collection Systems):

تعمل على التقاط الجسيمات الصلبة في المنشآت الصناعية، مما يقلل من المخاطر الصحية ويحسن جودة الهواء.

التطبيقات البارزة:

- مصانع الخشب والمناشر: لطرد نشارة الخشب ومنع تراكم الغبار القابل للاشتعال.
- مصانع الأسمدة والأسمدة: لاحتجاز الغبار الكيميائي، مما يقلل من التلوث البيئي.

التقنيات المستخدمة:

- فلاتر (HEPA): تلتقط الجسيمات الصغيرة جدًا بفعالية عالية، وتستخدم في البيئات التي تتطلب تنقية هواء دقيقة.

- أجهزة الفصل الدورانية (Cyclonic Separators): تفصل الجسيمات الثقيلة عن الهواء باستخدام القوة الطاردة المركزية.

3-4-4 أنظمة تهوية المواقف المغلقة (Parking Garage Ventilation System):

تُزيل غازات العادم الخطرة (مثل أول أكسيد الكربون CO، وثاني أكسيد الكربون CO₂) لضمان بيئة آمنة. طريقة التنفيذ:

مراوح سحب ميكانيكية موزعة في السقف أو الجدران، تعمل على تجديد الهواء.

أجهزة استشعار الغازات متصلة بنظام تحكم آلي لضبط سرعة المراوح حسب تركيز الملوثات.

- أنظمة الدفع والسحب (Push-Pull Ventilation) لتحسين توزيع الهواء ومنع التراكم الخطير للغازات.

3-4-5 أنظمة التهوية الصناعية المتخصصة (Industrial Ventilation Systems):

تُستخدم في البيئات الصناعية ذات التحديات الفريدة لضمان السلامة والكفاءة.

التطبيقات البارزة:

- المصاهر: أنظمة مقاومة للحرارة العالية، تستخدم طرد الغازات الساخنة من عمليات الصهر وصناعة المعادن.

- منشآت البتروكيماويات: أنظمة مضادة للانفجارات لطرد الأبخرة القابلة للاشتعال، مثل: أنظمة سحب الأبخرة في مصافي النفط والمصانع الكيميائية.

- البيئات الكيميائية القاسية: تُستخدم فيها مواد مقاومة للتآكل، مثل: الفولاذ المقاوم للأحماض والبلاستيك المقوى بالألياف.

الاعتبارات الرئيسية لإختيار نظام طرد الهواء:

يتم إختيار النظام بناءً على العوامل التالية:

- الخصائص الهندسية للموقع ومتطلبات التهوية.

- نوع الملوثات (غازات، جسيمات، أبخرة كيميائية).

- متطلبات الطاقة وكفاءة التشغيل.

- اللوائح المحلية ومعايير السلامة البيئية والصناعية.

3-5 مزايا أنظمة طرد الهواء (Air Exhaust Systems Advantages):

1. تحسين جودة الهواء الداخلي (Indoor Air Quality):

يساهم نظام طرد الهواء في إزالة الملوثات والمواد المسببة للحساسية مثل الغبار، الأبخرة، والمواد الكيميائية السامة من الهواء، مما يساعد على ضمان بيئة صحية وآمنة للسكان أو العاملين. ويعد هذا أمرًا بالغ الأهمية في الأماكن التي يتواجد فيها مصدر للملوثات مثل المطابخ والمراحيض والمصانع.

2. التحكم في الرطوبة (Moisture Control):

من خلال طرد الهواء المحمل بالرطوبة الزائدة، يساعد النظام على الحفاظ على بيئة جافة ويمنع تكوّن العفن والفطريات، مما يحمي الأثاث والهيكل من الأضرار الناتجة عن الرطوبة الزائدة. وهذا أمر ضروري في الأماكن التي تشهد ارتفاعًا في الرطوبة مثل الحمامات والطوابق السفلية.

3. تنظيم درجة الحرارة (Temperature Regulation):

أنظمة طرد الهواء تساعد في تخفيف الحرارة الناتجة عن العمليات الصناعية أو الأجهزة، مما يساهم في تقليل العبء على أنظمة التكييف والتبريد. يمكن أن يقلل ذلك من تكاليف الطاقة ويخلق بيئة عمل مريحة.

4. كفاءة الطاقة (Energy Efficiency):

أنظمة استرجاع الطاقة مثل أجهزة التهوية بالحرارة (HRVs) أو أجهزة استرجاع الطاقة (ERVs) تساعد على استعادة الطاقة من الهواء المطرود وإعادة استخدامها، مما يقلل من الحاجة للطاقة لتبريد أو تدفئة الهواء الداخل، وبالتالي تقليل التكاليف الكهربائية.

5. إزالة الروائح (Odor Elimination):

أنظمة طرد الهواء تساهم بشكل فعال في إزالة الروائح غير المرغوب فيها مثل روائح الطعام أو الملوثات الصناعية أو الروائح الكيميائية، مما يحسن من جودة الهواء ويزيد من الراحة داخل المباني.

6. التخفيف من المخاطر (Hazard Mitigation):

يساهم النظام في سحب الأبخرة السامة أو القابلة للاشتعال أو الغبار القابل للاحتراق من المناطق الخطرة مثل المختبرات أو المصانع، مما يقلل من مخاطر الحوادث الخطيرة مثل الحرائق أو الانفجارات ويحسن بيئة العمل بشكل عام.

7. الامتثال للمعايير التنظيمية (Regulatory Compliance):

يساعد نظام طرد الهواء في الالتزام بالمعايير الصحية والسلامة المهنية من خلال ضمان تقليل انبعاثات الملوثات والمحافظة على مستويات جودة الهواء ضمن الحدود المسموح بها في البيئة الداخلية، وذلك بما يتماشى مع القوانين واللوائح المحلية والدولية.

8. حماية المعدات (Equipment Protection):

من خلال إزالة الغازات الضارة والغبار والرطوبة من الهواء، تحمي أنظمة طرد الهواء الأجهزة والمعدات الصناعية الحساسة من التآكل والتلف. هذا يساعد في الحفاظ على أداء المعدات على المدى الطويل ويقلل من تكاليف الصيانة والإصلاح.

9. الوقاية من الحرائق (Fire Prevention):

يساعد النظام في تقليل تراكم المواد القابلة للاشتعال مثل الزيوت في المطابخ أو الأبخرة الكيميائية في المختبرات، مما يقلل من خطر حدوث حرائق ويعزز سلامة المكان.

10. الحفاظ على بيئات محكمة التحكم (Controlled Environments):

ضروري في البيئات ذات المتطلبات الدقيقة مثل المختبرات، المستشفيات، والغرف النظيفة. يساعد النظام في التحكم في مستوى التلوث، وكذلك مستويات الجسيمات الدقيقة والبكتيريا، مما يضمن بيئة مثالية للعمل الدقيق أو التعقيم.

11. تقليل التكثف (Condensation Reduction):

من خلال تخفيض مستويات الرطوبة في الهواء، يقلل النظام من تكوين التكثف على الأسطح، مما يساعد في منع تلف المياه وتآكل الهياكل والنمو الفطري.

12. تخفيف الحساسية والربو (Allergy and Asthma Relief):

أنظمة طرد الهواء مع فلاتر الهواء الفعالة يمكن أن تساعد في إزالة المواد المسببة للحساسية مثل حبوب اللقاح، وبر الحيوانات الأليفة، وعت الغبار، مما يساهم في تحسين صحة الجهاز التنفسي للأشخاص المعرضين للحساسية أو الربو.

13. تقليل الضوضاء (Noise Reduction):

بعض الأنظمة تتضمن تقنيات لتقليل الضوضاء الناتجة عن الأجهزة أو البيئة الصناعية، مما يساهم في تحسين بيئة العمل وراحتها. يمكن أن تكون هذه الأنظمة ضرورية في الأماكن التي تتطلب مستويات منخفضة من الضوضاء مثل المستشفيات أو المكاتب.

14. حماية البيئة (Environmental Protection):

تقوم أنظمة طرد الهواء بتصفية الانبعاثات الضارة قبل إطلاقها إلى البيئة الخارجية، مما يساعد في الامتثال للأنظمة البيئية وتقليل التأثيرات السلبية على البيئة مثل تلوث الهواء والماء.

15. تحسين الراحة والإنتاجية (Enhanced Comfort and Productivity):

يساهم تدفق الهواء المنتظم والمتحكم فيه في خلق بيئة مريحة، مما يحسن من راحة الأفراد ويحسن الإنتاجية من خلال تقليل تراكم ثاني أكسيد الكربون (CO_2) وضمان الهواء النقي.

3-6 التحديات والحلول في تصميم أنظمة طرد الهواء

Challenges and Solutions in the Design of Exhaust Air Systems)

:(Design

يؤثر تصميم أنظمة طرد الهواء بشكل مباشر على جودة الهواء الداخلي وكفاءة استهلاك الطاقة في المباني. فيما يلي التحديات الرئيسية التي تواجه تصميم هذه الأنظمة مع الحلول المقترحة.

3-6-1 تدفق الهواء غير المتوازن (Airflow Imbalance):

التحدي:

- سوء توزيع مخارج ومداخل الهواء يؤدي إلى مناطق ذات تهوية زائدة وأخرى تعاني من ركود.
- الضغط السلبي غير المدروس قد يسبب ارتجاع الهواء الملوث إلى داخل المساحة.

الحل:

- استخدام نمذجة تدفق الهواء (CFD – Computational Fluid Dynamics) لتحليل كفاءة النظام قبل تركيبه.

- تصميم نظام تعويض الهواء (Makeup Air System) للحفاظ على التوازن بين الطرد والإمداد.

- تركيب حساسات لمراقبة تدفق الهواء وضبطه أوتوماتيكياً.

- إحكام غلق مجاري الهواء (Duct Sealing): ضمان إغلاق المجاري بشكل محكم لتقليل التسربات التي تؤثر على توزيع الهواء.

- الفحص الدوري لضغط الهواء (Regular Pressure Checks): إجراء فحوصات دورية لضغط الهواء لضمان استقراره داخل المجاري.

- استخدام أجهزة كشف التسرب (Leak Detection Systems): تركيب أنظمة للكشف عن التسربات وإصلاحها بسرعة لتفادي تأثيرها على النظام.

3-6-2 استهلاك الطاقة العالي (High Energy Consumption):

التحدي:

- فقدان الهواء البارد أو الساخن أثناء الطرد يزيد من الأحمال الحرارية على أنظمة التكييف.
- تشغيل أنظمة الطرد باستمرار يؤدي إلى زيادة استهلاك الكهرباء.

الحل:

- استخدام أنظمة استرداد الحرارة (Heat Recovery Systems – HRS) لتقليل فقدان الطاقة.

- تركيب مراوح ذات كفاءة عالية (EC Motors – Electronically Commutated Motors) وتقنيات

التحكم في السرعة (VFD – Variable Frequency Drive).

- تحسين العزل الحراري للمبنى للحد من تسرب الهواء.

3-6-3 الضوضاء والاهتزازات (Noise & Vibrations):

التحدي:

- تصدر مراوح الطرد ضوضاء عالية قد تؤثر على راحة المستخدمين.

- الاهتزازات الناتجة عن تشغيل المراوح قد تؤثر على كفاءة النظام وتسبب تلفًا تدريجيًا.

الحل:

- تركيب مخمدات صوتية (Acoustic Attenuators) داخل مجاري الهواء.

- استخدام قواعد ماصة للاهتزازات (Vibration Isolators) تحت المراوح والمعدات.

- تصميم مسارات الهواء بطريقة تقلل من تغيرات الضغط المفاجئة، مما يقلل من الضوضاء الناتجة عن

تدفق الهواء.

3-6-4 تلوث الهواء الداخلي بسبب ارجاع الهواء الملوث (Contaminated Air Recirculation):

التحدي:

- في بعض التصميمات، قد يعود الهواء المطرود إلى داخل المبنى، محملاً بالملوثات والروائح.

- في المستشفيات والمباني الصناعية، قد يحتوي الهواء المطرود على ملوثات خطيرة مثل البكتيريا أو المواد

الكيميائية.

الحل:

- ضبط أماكن فتحات الطرد بعيدًا عن مداخل الهواء النقي (Fresh Air Intakes).

- استخدام مرشحات عالية الكفاءة (HEPA – High-Efficiency Particulate Air Filters) أو الكربون النشط لتنقية الهواء.

- الحفاظ على ضغط إيجابي في المناطق الحساسة لمنع ارتجاع الهواء الملوث.

3-6-5 الرطوبة وتكثف الماء داخل مجاري الهواء (Condensation & Humidity Issues):

التحدي:

- تكثف المياه داخل مجاري الطرد قد يؤدي إلى نمو العفن والبكتيريا.

- تسرب المياه من المجاري قد يسبب أضرارًا هيكلية للمبنى.

الحل:

- تركيب عوازل حرارية (Duct Insulation) لمنع التكثف داخل المجاري.

- التأكد من وجود نظام تصريف مياه متكثفة (Condensate Drainage System) فعال.

- تحسين معدل التهوية في المناطق الرطبة لتقليل احتمالية التكثف.

3-6-6 صعوبة الصيانة والتنظيف (Maintenance Challenges):

التحدي:

- بعض التصميمات تجعل الوصول إلى مراوح الطرد والمجاري صعبًا، مما يؤدي إلى تراكم الأوساخ والملوثات.

- عدم الصيانة الدورية يؤدي إلى انخفاض كفاءة النظام وزيادة استهلاك الطاقة.

الحل:

- تصميم مجاري الهواء بحيث تكون سهلة الوصول والتنظيف (Accessible Duct Design).

- وضع جدول صيانة دوري يشمل تنظيف المرشحات والمراوح والمجاري.

- استخدام مواد مضادة للبكتيريا والفطريات داخل المجاري للحد من الحاجة إلى التنظيف المتكرر.

3-6-7 تأثيرات الضغط السلبي (Negative Pressure Issues):

التحدي:

- قد يؤدي سحب الهواء المفرط إلى خلق ضغط سلبي داخل المبنى، مما يؤدي إلى صعوبة فتح الأبواب ونفاذ الهواء غير المرغوب فيه من الخارج.
- قد يتسبب الضغط السلبي في ارتجاع الغازات السامة (Backdrafting of Combustion Gases) مثل أول أكسيد الكربون.

الحل:

- استخدام أنظمة تعويض الهواء (Makeup Air Units – MAU) للحفاظ على توازن الضغط الداخلي.
- تركيب حساسات ضغط (Pressure Sensors) لمراقبة وضبط مستوى التهوية تلقائيًا.
- التأكد من عدم وجود تسربات هوائية غير مرغوبة من النوافذ والأبواب.

3-6-8 الامتثال للمعايير واللوائح التنظيمية

(Compliance with Standards & Regulations):

التحدي:

- تختلف متطلبات التهوية باختلاف نوع المبنى، مما يجعل الالتزام بالمعايير تحديًا معقدًا.
 - بعض المباني تتطلب أنظمة تهوية صارمة لضمان جودة الهواء الداخلي، مثل المستشفيات والمختبرات.
- الحل:

- الالتزام بمعايير التهوية الدولية مثل:
- للتهوية في المباني التجارية (ASHRAE 62.1).
- لمعايير التهوية في المستشفيات (ASHRAE 170).
- لمتطلبات السلامة من الحرائق في أنظمة التهوية (NFPA 90A).
- التأكد من أن معدلات التهوية تتناسب مع عدد الأشخاص واستخدام المساحة.

- إجراء اختبارات دورية لجودة الهواء والتأكد من توافق النظام مع أحدث اللوائح البيئية.

إلى جانب دورها الأساسي (Primary Role) في تحسين جودة الهواء الداخلي (Indoor Air Quality)

- (IAQ)، يمكن لأنظمة طرد الهواء أن تسهم في تقليل استهلاك الطاقة (Energy Consumption)

(Reduction) وتعزيز استدامة المبنى (Building Sustainability) عند تصميمها وتشغيلها بكفاءة.

الباب الرابع

حساب الأحمال الحرارية ومتطلبات التهوية

Calculation of Thermal Loads and Ventilation) (Requirements

1-4 الخصائص المعمارية (Architectural Features):

1-1-4 الموقع العام وتوزيع المساحات:

- المساحة الإجمالية: 1254م² موزعة على طابقين (بما في ذلك الطابق الأرضي)

الجدول (1-4) يوضح توزيع مساحة وحجم المبنى:

First Floor			Grand Floor		
First Floor	Grand Floor	Volume	Name	Area	Volume
Name	Area	Volume	Name	Area	Volume
Office 3	m ² 52	m ³ 155.37	storage	m ² 8	m ³ 28.99
storage	m ² 8	m ³ 28.99	Toilet 1-1	m ² 3	m ³ 8.81
Toilet 1-1	m ² 3	m ³ 9.06	Toilet 1-3	m ² 4	m ³ 10.85
Toilet 1-3	m ² 4	m ³ 11.16	Toilet 1-2	m ² 5	m ³ 13.75
Toilet 1-2	m ² 5	m ³ 14.14	Privet toilet 2	m ² 11	m ³ 31.77
Privet toilet 2	m ² 11	m ³ 32.67	Entrance 2	m ² 23	m ³ 69.94
Entrance 2	m ² 23	m ³ 69.86	Toilet 2-2	m ² 6	m ³ 17.66
Toilet 2-2	m ² 6	m ³ 17.07	Toilet 2-1	m ² 3	m ³ 8.72
Toilet 2-1	m ² 3	m ³ 8.96	Toilet 2-3	m ² 6	m ³ 17.92
Toilet 2-3	m ² 6	m ³ 18.43	Entrance 1	m ² 26	m ³ 77.11
Entrance 1	m ² 26	m ³ 77.03	conference room 1	m ² 37	m ³ 106.84
conference room 1	m ² 37	m ³ 106.80	Office 1	m ² 29	m ³ 85.90
Office 1	m ² 29	m ³ 85.90	Manager office 1	m ² 36	m ³ 126.33
Manager office 1	m ² 36	m ³ 119.17	Privet toilet 1	m ² 11	m ³ 30.15
Privet toilet 1	m ² 11	m ³ 31.00	Toilet 2	m ² 50	m ³ 140.75
Toilet 2	m ² 50	m ³ 143.96	Toilet 1	m ² 55	m ³ 153.85
storage 2	m ² 10	m ³ 36.10	Office 5	m ² 24	m ³ 69.64
Manager office 2	m ² 30	m ³ 104.07	storage 2	m ² 10	m ³ 36.11
kitchen 2	m ² 10	m ³ 33.78	Manager office 2	m ² 30	m ³ 104.71
Kitchen 1	m ² 17	m ³ 49.92	Kitchen 2	m ² 10	m ³ 33.60
Office 4	m ² 24	m ³ 73.39	storage	m ² 17	m ³ 49.85
Office 8	m ² 27	m ³ 80.85	Office 3	m ² 56	m ³ 164.67
Office 9	m ² 41	m ³ 121.97	Office 4	m ² 24	m ³ 73.46
Office 10	m ² 42	m ³ 126.38	Office 8	m ² 27	m ³ 80.91
Office 6	m ² 25	m ³ 74.98	Office 9	m ² 41	m ³ 122.00
Toilet 1	m ² 55	m ³ 158.72	Office 10	m ² 42	m ³ 126.42
Lobby-2	m ² 209	m ³ 702.90	Office 6	m ² 25	m ³ 75.05
Office 5	m ² 24	m ³ 69.60	Lobby-1	m ² 210	m ³ 766.96
Office 7	m ² 163	m ³ 483.13	Office 7	m ² 170	m ³ 501.97
Office 2	m ² 41	m ³ 120.04	Office 2	m ² 41	m ³ 120.06

- الوظيفة الأساسية: مبنى مكنتي (مكاتب إدارية)

- التوجيه الجغرافي: واجهة المبنى الرئيسية تتجه نحو الشمال الغربي (للحد من التعرض المباشر لأشعة الشمس الصيفية).

- إرتفاع المبنى: 11.5 مترًا (بما في ذلك الطابق الأرضي).

4-1-2 مواد البناء ومعامل إنتقال الحرارة:

- الجدران : الجدار المركب المعزول أحد أكثر أنواع الجدران الخارجية شيوعًا في المباني الإدارية التي تتطلب كفاءة حرارية عالية.

التركيب الطبقي لجدار Basic Wall (من الخارج إلى الداخل):

- تشطيب خارجي (External Finish):

- لياسة إسمنتية + دهان مقاوم للعوامل الجوية (سماكة 1,5 سم)

- طابوق خارجي (Outer Masonry Layer):

- طابوق مفرغ من الطين المحروق أو الأسمنتي (سماكة 10 سم)

- طبقة عزل حراري (Thermal Insulation Layer):

- مادة: بولي يوريثان (PU) (سماكة 7,5 سم)

- بلوك داخلي (Inner Block Layer):

- بلوك خرساني مفرغ أو صلب (سماكة 15 سم)

- لياسة داخلية + تشطيب داخلي:

- لياسة إسمنتية أو جبسية + دهان داخلي (سماكة 2سم)

المعامل الحراري للجدار 248, واط / متر مربع لكل كلفن)

الجدران الستارية (Curtain Walls):

يُستخدم هذا النوع من الجدران الخارجية بشكل شائع في المباني الإدارية الحديثة. يتكوّن من هيكل معدني خفيف يدعم الألواح الزجاجية المعزولة، ويتميّز بمظهره العصري وكفاءته في تقليل الحمل الحراري عند تنفيذ العزل بشكل جيد.

التركيب النموذجي للجدار الستاري (Curtain Wall):

- طبقة زجاج مزدوج (Double Glazing) بسمك 24 مم تتكوّن من:

- زجاج خارجي مقسى (6 مم).

- زجاج داخلي عاكس للحرارة (6 مم).

- إطار من الألمنيوم الحراري المعزول (Thermally Broken Aluminum Frame)

- ستارة خلفية (Back Panel) لدعم الأداء الحراري.

- النوافذ: نوافذ زجاجية من نوع كاسمنت مع إطار زخرفي (سماكة 1.9 سم ، معامل انتقال الحرارة

3.6886 واط / متر مربع لكل كلفن ، نسبة النفاذية الشمسية 0.78).

- نسبة النوافذ إلى الجدران: 30% (لتحقيق توازن بين الإضاءة الطبيعية وتقليل الحمل الحراري).

- السقف: (سماكة 30 سم، معامل انتقال الحرارة 3.4867 واط / متر مربع لكل كلفن).

2-4 الخصائص المناخية (Climatic Characteristics):

1-2-4 بيانات الموقع المناخية:

- الموقع الجغرافي: مدينة الخرطوم، جمهورية السودان (خط العرض: 15,5007° شمال ، خط الطول:

32,5599° شرق).

- المناخ: صحراوي حار (تصنيف كوبن: BWh).

2-2-4 البيانات الحرارية والرطوبة النسبية:

الجدول (2-4) يوضح توزيع درجات الحرارة و الرطوبة النسبية خلال العام:

الشهر	متوسط الحرارة (C°)	الرطوبة النسبية (%)
يناير	30	38
فبراير	25	41
مارس	20	45
أبريل	18	48
مايو	15	50
يونيو	20	52
يوليو	25	49
أغسطس	30	47
سبتمبر	28	46
أكتوبر	25	44
نوفمبر	28	40
ديسمبر	32	39

الإشعاع الشمسي والرياح:

- أقصى إشعاع شمسي: 225 واط/م² (في يونيو، زاوية ميل 17.7°).

- سرعة الرياح السائدة: 15 كم/ساعة (اتجاه شمالي جنوبي).

- أيام الذروة الحرارية: 120 يومًا سنويًا (درجة الحرارة < 35°C).

يتم عرض المخططات المعمارية عن طريق برنامج الريفيت (Revit).

برنامج الريفيت (Revit):

برنامج الريفيت هو برنامج نمذجة معلومات البناء (BIM) من شركة Autodesk، يُستخدم لتصميم وتوثيق

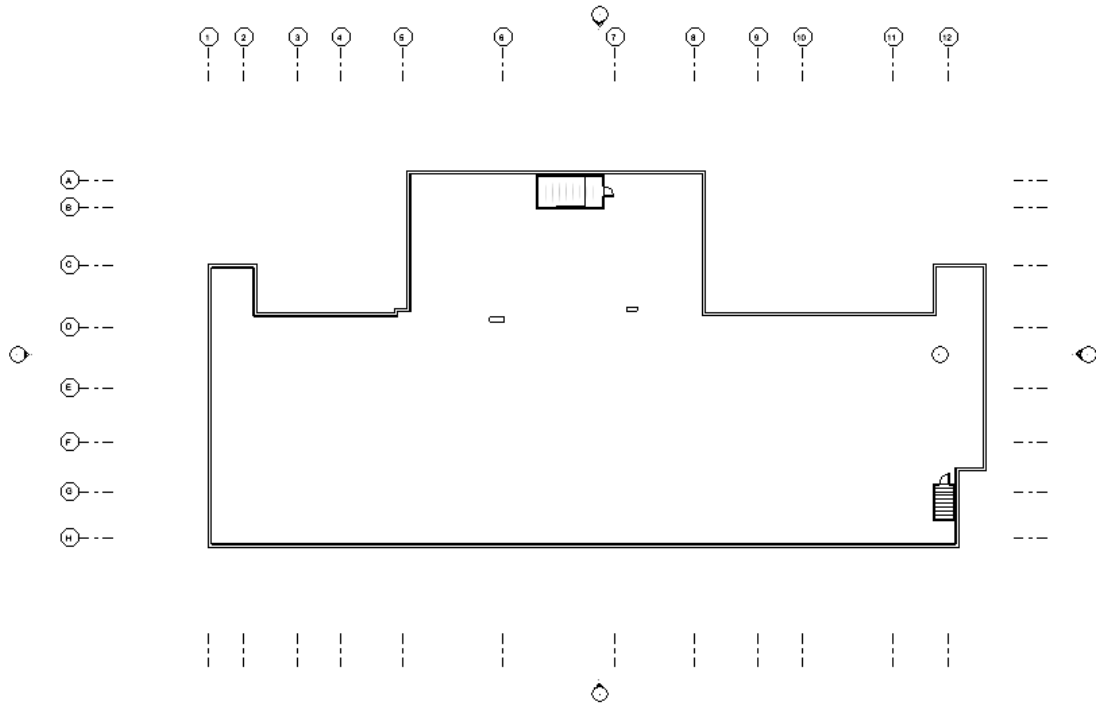
كافة مراحل المشروع المعماري والإنشائي. يتيح البرنامج إنشاء مخططات ثنائية الأبعاد ونماذج ثلاثية

الأبعاد متكاملة، مما يساهم في تحسين التنسيق بين مختلف التخصصات الهندسية وتحديث المعلومات

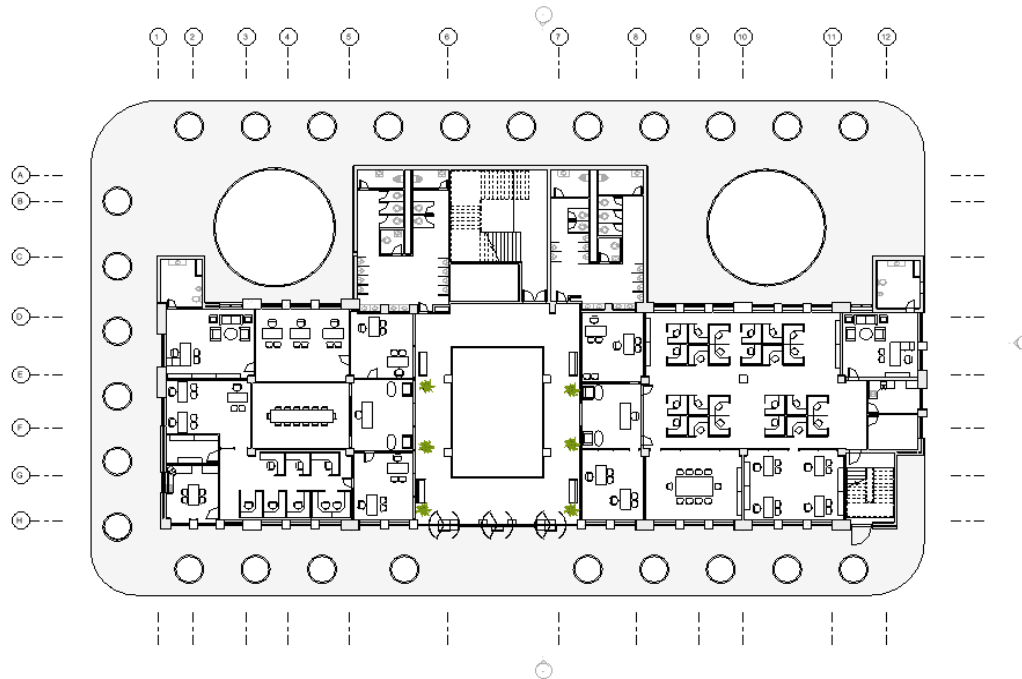
بشكل مستمر. تم عرض المخططات باستخدام الريفيت مع نماذج ثلاثية الأبعاد لتوضيح التصميم العام

والتفاصيل المعمارية للمشروع بشكل دقيق ومرئي.

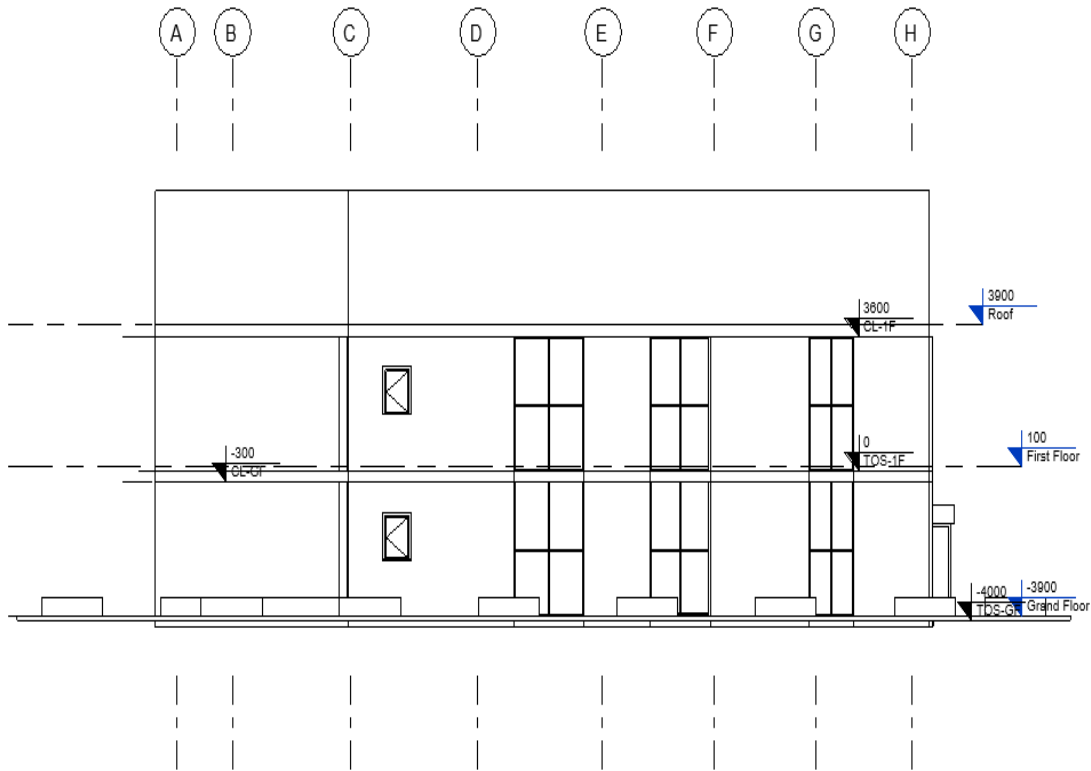
المخططات والنموذج التصميمي المعماري (Architectural Design Drawing and Model):



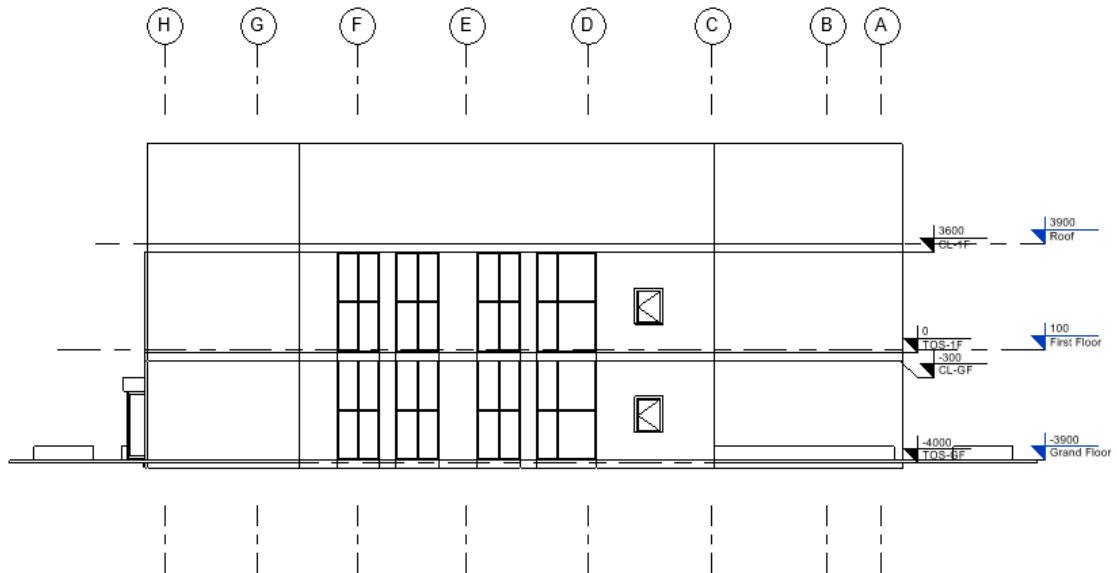
شكل (1-4) يوضح المخطط التصميمي للسطح



شكل (2-4) يوضح المخطط التصميمي الرأسي للطابق الأرضي



شكل (5-4) يوضح* المخطط التصميمي الجانبي – الإتجاه الغربي



شكل (6-4) يوضح* المخطط التصميمي الجانبي – الإتجاه الشرقي



شكل (7-4) يوضح "النموذج التصميمي ثلاثي الأبعاد (3D)

3-4 حساب الأحمال الحرارية للمبنى

:(Calculation of the Building's Thermal Loads)

1-3-4 تعريف حساب الأحمال الحرارية:

حساب الأحمال الحرارية هو عملية تحديد كمية الحرارة المكتسبة أو المفقودة داخل المبنى، والتي يجب تعويضها بواسطة نظام التكييف للحفاظ على الظروف الحرارية المريحة. تُستخدم هذه الحسابات لتحديد سعة أنظمة التبريد والتدفئة المناسبة، وتشمل عوامل مثل:

- الحرارة الناتجة عن الإشعاع الشمسي.
- الحرارة المنبعثة من الأشخاص والأجهزة.
- التبادل الحراري عبر الجدران والنوافذ.
- الحمل الحراري الناتج عن التهوية وتسلسل الهواء.

2-3-4 أنواع الأحمال الحرارية:

- الحمل الحراري الكلي (Total Load): مجموع الحمل الحساس والكامن.
- الحمل الحساس (Sensible Load): الحرارة التي تغير درجة الحرارة دون تغيير الرطوبة (مثل الحرارة من الأجهزة أو الشمس).
- الحمل الكامن (Latent Load): الحرارة المرتبطة بتغيير الرطوبة (مثل التنفس أو التبخر).
- حمل التهوية (Ventilation Load): الحمل الناتج عن الهواء الخارجي المُدخل للمبنى.
- الحمل الشمسي (Solar Load): الحرارة الناتجة عن الإشعاع الشمسي عبر النوافذ.
- الحمل الداخلي (Internal Load): الحرارة المنبعثة من الأشخاص والإضاءة والمعدات.

3-3-4 طرق حساب الأحمال الحرارية:

1. الطريقة اليدوية:

أولاً: الحمل الحراري الكلي (Total Heat Load):

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{sensible}} + Q_{\text{latent}}$$

ثانياً: الحمل الحسي (Sensible Heat Load):

$$Q_{\text{sensible}} = 1.23 \times V \times \Delta T$$

حيث:

Q_{sensible} : الحمل الحسي (Watt).

V: معدل تدفق الهواء (m³/min).

ΔT: الفرق في درجة الحرارة (C°).

ثالثاً: الحمل الكامن (Latent Heat Load):

$$Q_{\text{latent}} = 3010 \times V \times \Delta W$$

حيث:

ΔW: الفرق في نسبة الرطوبة النوعية (kg/kg).

رابعاً: الحمل الناتج عن الإشغال (Occupant Heat Load).

للشخص الواحد:

Sensible: حوالي 75 إلى 100 W.

Latent: حوالي 55 إلى 75 W.

خامساً: الحمل الناتج من المعدات (Equipment Load):

$$Q = \text{عدد الأجهزة} \times \text{القدرة الحرارية للجهاز (W)}.$$

سادساً: الحمل الناتج من الإنارة (Lighting Load):

$$Q = \text{القدرة الكهربائية للإنارة (W)} \times \text{عامل تحويل إلى حرارة (عادة 1.25)}.$$

سابعاً: الحمل الناتج من تسرب الهواء (Infiltration Load):

$$Q = 1.23 \times V_{\text{inf}} \times \Delta T$$

حيث V_{inf}: حجم الهواء المتسرب (m³/min).

يشمل الحمل الحسي: انتقال الحرارة عبر الجدران، التهوية، الأشخاص، الإضاءة، والمعدات

أما الحمل الكامن فيشمل: الرطوبة الناتجة عن الأشخاص والتهوية.

2. البرامج الحاسوبية. الطرق البرمجية - أشهر البرامج لحساب الأحمال الحرارية

- برنامج (HAP (Hourly Analysis Program):

يستخدم لحساب الأحمال الحرارية وتقدير أحجام أنظمة التكييف، ويعتمد على معايير (ASHRAE).

- برنامج (TRACE700 - TRANE):

برنامج متقدم لحساب الأحمال الحرارية وتحليل استهلاك الطاقة، ويوفر تقارير تحليلية لاستهلاك الطاقة والتكاليف.

- برنامج (Energy Plus):

برنامج مفتوح المصدر لحساب الأحمال الحرارية والتحليل الديناميكي للطاقة، ويستخدم في المشاريع الكبيرة وتصميم المباني المستدامة.

- برنامج (EQUEST):

يعتمد على (EnergyPlus) لكنه أسهل من حيث الاستخدام، ومناسب لدراسات كفاءة الطاقة وتحليل التصميم.

سيتم حساب الأحمال الحرارية في المشروع باستخدام برنامج (HAP) لضمان الدقة ومراعاة العوامل الديناميكية مثل التغيرات المناخية وأنماط الاستخدام، مع إرفاق التقارير والجدول النهائية كدليل على تحليل الحمل الحراري الأمثل.

4-3-4 برنامج (HAP (Hourly Analysis Program):

(HAP) اختصاراً لـ (Hourly Analysis Program) هو أداة برمجية متخصصة في مجال أنظمة التكييف والتهوية (HVAC)، طورته شركة (Carrier) العالمية. يُستخدم البرنامج بشكل رئيسي لـ:

- حساب الأحمال الحرارية الديناميكية للمباني على مدار الساعة والفصول.

- تصميم أنظمة التكييف بناءً على ذروة الأحمال ومتطلبات الراحة الحرارية.

- تحليل استهلاك الطاقة السنوي لتقييم كفاءة النظام.

4-3-5 المميزات الأساسية لبرنامج (HAP (Hourly Analysis Program):

- إدخال بيانات المبنى (الأبعاد، المواد، النوافذ، والتوجيه الجغرافي) عبر واجهة رسومية.

- دعم تكامل الملفات مع برامج التصميم مثل: (Revit و AutoCAD).
- تحليل الأحمال على مدار الساعة.
- محاكاة تأثير التغيرات المناخية (درجة الحرارة، الرطوبة، الإشعاع الشمسي) كل ساعة.
- مراعاة أنماط استخدام المبنى (مثل أوقات تشغيل الإضاءة والأجهزة).
- التوافق مع معايير (ASHRAE).
- استخدام جداول ومعاملات من كُتيب (ASHRAE) الأساسي مثل: (CLTD، CLF، SHGF).
- دعم معايير التهوية (ASHRAE Standard 62.1).
- توليد التقارير التفصيلية.
- تقارير الحمل الأقصى (Peak Load Reports) لكل منطقة.
- جداول تدفق الهواء (Airflow Schedules) ومواصفات ملفات التبريد.

4-3-6 خطوات استخدام البرنامج في المشروع:

- إدخال البيانات المناخية.
- إختيار موقع المبنى الجغرافي (مثل الرياض، جدة) لتحميل بيانات الطقس القصوى.
- نمذجة المبنى المستهدف.
- تقسيم المبنى إلى مناطق (Zones) حسب الوظيفة (مكاتب، قاعات، إلخ). تحديد خصائص المواد العازلة للجدران والأسقف والنوافذ.
- تحديد الأحمال الداخلية: عدد الأشخاص، معدل الإشغال، ونوع النشاط (مكتبي، صناعي، تجاري).
- استطاعة الإضاءة والمعدات الكهربائية وعوامل التنوع (Diversity Factors).
- تشغيل المحاكاة: تحليل الحمل الحراري لكل منطقة على مدار 8760 ساعة (سنة كاملة). تحديد ساعات الذروة والأحمال القصوى.

- استخراج النتائج: تحديد سعة أجهزة التكييف (Chillers، AHUs، FCUs). حساب معدل تدفق الهواء (CFM) ومواصفات ملفات التبريد (Coil Specifications).

7-3-4 مخرجات البرنامج الرئيسية:

1. تقرير الحمل الأقصى (Peak Load Report): يُظهر الحمل الحراري الكلي والحساس والكامن لكل منطقة في ساعة الذروة.
2. مواصفات ملف التبريد (Coil Load Data):
 - (Total Coil Load): إجمالي الحمل على الملف (شامل الحساس والكامن).
 - (Sensible Heat Ratio (SHR)): نسبة الحمل الحساس إلى الكلي.
3. درجات حرارة الهواء الداخلة والخارجة من الملف (Entering/Leaving DB/WB):
4. جداول تدفق الهواء (Airflow Schedules): تُحدد كمية الهواء المطلوبة لكل منطقة بناءً على الحمل الحساس.

8-3-4 أسباب إختيار برنامج (HAP) في هذا المشروع:

- الدقة العالية: دعم تحليل الأحمال الديناميكية المعقدة.
- معايير مُعتمدة: توافق النتائج مع أكواد (ASHRAE) العالمية.
- توفير الوقت: مقارنةً بالحسابات اليدوية التي تستغرق وقت أطول.

صور توضیح واجهه برنامج (HAP) ونوافذ البرنامج :

Weather Properties - [Khartoum Intel]

Design Parameters | Design Temperatures | **Design Solar** | Simulation

Design Day Maximum Solar Heat Gains BTU/(hr·ft²)

Month	Multiplier	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
Jan	1.00	29.9	29.9	59.2	141.1	211.9	249.1	247.5	222.5	190
Feb	1.00	32.5	32.5	99.9	173.9	229.8	250.4	232.1	188.8	151
Mar	1.00	35.0	55.5	142.2	201.9	232.9	234.0	199.5	136.5	90
Apr	1.00	39.0	102.3	172.9	215.0	224.3	199.3	150.2	75.0	44
May	1.00	53.4	132.7	189.3	217.4	212.5	175.6	111.9	43.9	40
Jun	1.00	66.9	142.1	192.3	214.1	203.5	162.5	96.7	41.2	40
Jul	1.00	55.4	131.2	184.3	209.9	204.4	170.8	109.7	43.6	41
Aug	1.00	41.0	102.2	167.3	205.8	213.1	193.5	144.6	72.1	44
Sept	1.00	36.3	52.3	136.2	195.3	224.5	220.9	191.5	131.8	90
Oct	1.00	33.4	33.4	96.5	174.3	222.1	236.1	225.2	181.8	148
Nov	1.00	30.5	30.5	57.4	144.9	204.4	242.5	246.8	219.3	194
Dec	1.00	28.8	28.8	44.4	128.5	199.5	244.8	252.0	232.5	210

OK Cancel Help

Weather Properties - [Khartoum Intel]

Design Parameters | Design Temperatures | Design Solar | **Simulation**

Simulation Weather: none Select From HAP Library...
Import a Weather File...

January 1st is... Wednesday

January

Holidays List

S	M	T	W	T	F	S
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

<< Prev Next >>

OK Cancel Help

Weather Properties - [Khartoum Intel]

Design Parameters | Design Temperatures | Design Solar | Simulation

Region: Middle East
Location: Sudan
City: Khartoum Intel

Latitude: 15.6 deg
Longitude: -32.6 deg
Elevation: 1265.0 ft

Summer Design DB: 109.8 °F
Summer Coincident WB: 67.2 °F
Summer Daily Range: 20.7 °F
Winter Design DB: 58.7 °F
Winter Coincident WB: 46.1 °F

Atmospheric Clearness: 1.00
Average Ground Reflectance: 0.20
Soil Conductivity: 0.800 BTU/(hr·ft·°F)

Design Clg Calculation Months: Jan to Dec

Time Zone (GMT +/-): -2.0 hours
Daylight Savings Time: Yes No
DST Begins: Apr 1
DST Ends: Oct 31

Data Source: User Modified

OK Cancel Help

Weather Properties - [Khartoum Intel]

Design Parameters | Design Temperatures | Design Solar | Simulation

Monthly Max/Min

Month	Dry Bulb		Wet Bulb	
	Max	Min	Max	Min
Jan	99.6	78.9	61.0	53.2
Feb	101.6	80.9	62.0	54.4
Mar	104.6	83.9	64.2	57.0
Apr	105.6	84.9	65.0	57.9
May	106.8	86.1	66.0	59.0
Jun	108.8	88.1	67.2	60.4
Jul	109.8	89.1	67.2	60.4
Aug	109.8	89.1	67.2	60.4
Sep	107.8	87.1	66.2	59.3
Oct	105.8	85.1	65.2	58.1
Nov	102.6	81.9	64.0	56.7
Dec	100.6	79.9	62.0	54.4

Hourly Detail View

Hour	Jan DB	Jan WB	Feb DB	Feb WB
0000	82.6	54.7	84.6	55.8
0100	81.6	54.3	83.6	55.4
0200	80.5	53.9	82.5	55.0
0300	79.7	53.5	81.7	54.7
0400	79.1	53.3	81.1	54.5
0500	78.9	53.2	80.9	54.4
0600	79.3	53.4	81.3	54.5
0700	80.3	53.8	82.3	55.0
0800	82.2	54.5	84.2	55.7
0900	84.9	55.6	86.9	56.7
1000	88.0	56.8	90.0	57.9
1100	91.5	58.1	93.5	59.2
1200	94.8	59.3	96.8	60.3
1300	97.3	60.2	99.3	61.2

OK Cancel Help

شكل (8-4) يوضح تبويب الطقس

Space Properties - [Break Area 1 - FF]

General | Internals | Walls, Windows, Doors | Roofs, Skylights | Infiltration | Floors | Partitions

Name: Break Area 1 - FF

Floor Area: 183.0 ft²

Avg Ceiling Height: 12.5 ft

Building Weight: 70.0 lb/ft²

Light Med. Heavy

OA Ventilation Requirements

Space Usage: <User-Defined>

OA Requirement 1: 0.0 CFM/person

OA Requirement 2: 0.00 CFM/ft²

Space usage defaults: ASHRAE Std 62.1-2016
Defaults can be changed via View/Preferences.

OK Cancel Help

Space Properties - [Break Area 1 - FF]

General | Internals | Walls, Windows, Doors | Roofs, Skylights | Infiltration | Floors | Partitions

Roof Gross Area ft²: 183.0

Roof Slope (deg):

Skylight Quantity: 0

Exposure: 1 H 2 not use 3 not use 4 not use

Construction Types for Exposure: 1 (H)

Roof: Built-up Roof + 8" HW Con

Skylight: (none)

OK Cancel Help

Space Properties - [Break Area 1 - FF]

General | Internals | Walls, Windows, Doors | Roofs, Skylights | Infiltration | Floors | Partitions

Wall Gross Area ft²: 236.1

Window 1 Quantity: 2

Window 2 Quantity: 0

Door Quantity: 0

Exposure: 1 S 2 W 3 not use 4 not use 5 not use 6 not use 7 not use 8 not use

Construction Types for Exposure: 1 (S)

Wall: Medium Weight Wall

Window 1: Crutain Wall 11.81 * 4.5

Shade 1: (none)

Window 2: (none)

Shade 2: (none)

Door: (none)

OK Cancel Help

Window Properties - [Crutain Wall 11.81 * 4.593]

Window Details

Name: Crutain Wall 11.81 * 4.593

Detailed Input: ☒

Height: 11.81 ft Width: 4.59 ft

Frame Type: Aluminum with thermal breaks

Internal Shade Type: Roller Shades - Light - Translucent

Overall U-Value: 0.814 BTU/(hr·ft²·°F)

Overall Shade Coefficient: 0.305

Glass Details

Glazing	Glass Type	Transmissivity	Reflectivity	Absorptivity
Outer Glazing	1/4" gray reflective	0.309	0.310	0.381
Glazing #2	not used			
Glazing #3	not used			

Gap Type: 1/4" Air Space

OK Cancel Help

Roof Properties - [Built-up Roof + 8" HW Concrete]

Roof Assembly Name: Built-up Roof + 8" HW Concrete

Outside Surface Color: Absorptivity: 0.700

Layers: Inside to Outside	Thickness in	Density lb/ft³	Specific Ht. BTU / (lb·°F)	R-Value (hr·ft²·°F)/BTU	Weight lb/ft²
Inside surface resistance	0.000	0.0	0.00	0.68500	0.0
4-in face brick	4.000	125.0	0.22	0.60000	41.7
Outside surface resistance	0.000	0.0	0.00	0.33300	0.0
Totals	4.000			1.62	41.7

Overall U-Value: 0.618 BTU/(hr·ft²·°F)

OK Cancel Help

Wall Properties - [Medium Weight Wall]

Wall Assembly Name: Medium Weight Wall

Outside Surface Color: Absorptivity: 0.700

Layers: Inside to Outside	Thickness in	Density lb/ft³	Specific Ht. BTU / (lb·°F)	R-Value (hr·ft²·°F)/BTU	Weight lb/ft²
Inside surface resistance	0.000	0.0	0.00	0.68500	0.0
0.75-in gypsum plaster	0.750	100.0	0.20	0.14900	6.3
Air space	0.000	0.0	0.00	0.91000	0.0
4-in LW concrete block	4.000	38.0	0.20	1.51000	12.7
4-in face brick	4.000	130.0	0.22	0.44400	43.3
Outside surface resistance	0.000	0.0	0.00	0.33300	0.0
Totals	8.750			4.03	62.3

Overall U-Value: 0.248 BTU/(hr·ft²·°F)

OK Cancel Help

Space Properties - [Break Area 1 - FF]

General | Internals | Walls, Windows, Doors | Roofs, Skylights | Infiltration | Floors | Partitions

Enter infiltration rate in any column:

	CFM	CFM/ft²	ACH
Design Cooling	0.00	0.00	0.00
Design Heating	0.00	0.00	0.00
Energy Analysis	0.00	0.00	0.00

Infiltration occurs: ☒ Only When Fan Off ☐ All Hours

OK Cancel Help

Space Properties - [Break Area 1 - FF]

General | Internals | Walls, Windows, Doors | Roofs, Skylights | Infiltration | Floors | Partitions

Overhead Lighting

Fixture Type: Recessed, vented

Wattage: 0.73 W/ft²

Ballast Multiplier: 1.10

Schedule: Lighting Schedule

Task Lighting

Wattage: 0.00 W/ft²

Schedule: (none)

Electrical Equipment

Wattage: 0.0 Watts

Schedule: (none)

People

Occupancy: 4.0 People

Activity Level: Seated at Rest

Sensible: 230.0 BTU/hr/person

Latent: 120.0 BTU/hr/person

Schedule: People Schedule - Break

Miscellaneous Loads

Sensible: 3150 BTU/hr

Schedule: People Schedule - Break

Latent: 700 BTU/hr

Schedule: People Schedule - Break

OK Cancel Help

شكل (9-4) يوضح تبويب الحيز

Air System Properties - [Break Area 1 - FF]

General | DOAS Components | Zone Components | Sizing Data | Equipment

Air System Name: Break Area 1 - FF

Equipment Type: Terminal Units

Air System Type: 2-Pipe Fan Coil

Number of Zones: 1

Ventilation:
 ☒ Direct Ventilation
 ☐ Dedicated Outdoor Air System (DOAS)

OK Cancel Help

Air System Properties - [Break Area 1 - FF]

General | DOAS Components | Zone Components | Sizing Data | Equipment

System Sizing Data

☒ System Sizing

☒ Zone Sizing

Sizing Data is:
 ☒ Computer - Generated
 ☐ User - Defined

Sizing Data:
 Cooling Supply Temperature: °F
 Supply Airflow Rate: CFM
 Ventilation Airflow Rate: CFM
 Heating Supply Temperature: °F
 Hot Deck Supply Airflow Rate: CFM

Hydronic Sizing Specifications:
 Chilled Water Delta-T: 10.0 °F
 Hot Water Delta-T: 20.0 °F

Safety Factors:
 Cooling Sensible: 10 %
 Cooling Latent: 10 %
 Heating: 10 %

OK Cancel Help

Air System Properties - [Break Area 1 - FF]

General | DOAS Components | Zone Components | Sizing Data | Equipment

☒ Spaces

☒ Thermostats

☒ Common Data

☒ Terminal Units

Space Assignments

Zone 1 of 1

Zone 1: Break Area 1 - FF

Break Area 1 - FF

Break Area 1 - GF

Break Area 2 - FF

Break Area 2 - GF

conference room 1 - F

conference room 1 - C

conference room 2 - F

conference room 2 - C

OK Cancel Help

Air System Properties - [Break Area 1 - FF]

General | DOAS Components | Zone Components | Sizing Data | Equipment

☒ Spaces

☒ Thermostats

☒ Common Data

☒ Terminal Units

Common Terminal Unit Data

☒ Cooling Coil

Design Supply Temp.: 58.0 °F

Coil Bypass Factor: 0.100

Cooling Source: Chilled Water

Schedule: J F M A M J J A S O N D

☒ Heating Coil

Design Supply Temp.: 95.0 °F

Heat Source: Hot Water

Schedule: J F M A M J J A S O N D

Fan Control:
 ☐ Fan Cycled
 ☒ Fan On

Ventilation Sizing Method: Sum of space OA airflows

OK Cancel Help

Air System Properties - [Break Area 1 - FF]

General | DOAS Components | Zone Components | Sizing Data | Equipment

☒ Spaces

☒ Thermostats

☒ Common Data

☒ Terminal Units

Thermostat and Zone Data

☒ All zones are the same

Zone Name: All Zones

Cooling T-stat Setpoints: occ. 75.0 °F unocc. 80.0 °F

Heating T-stat Setpoints: occ. 70.0 °F unocc. 65.0 °F

T-stat Throttling Range: 1.50 °F

Diversity Factor: 100 %

Direct Exhaust Airflow: 0.0 CFM

Direct Exhaust Fan KW: 0.0 KW

Shared Data

Thermostat Schedule: Fan/Thermostat Schedule

Unoccupied Cooling is:
 ☒ Available
 ☐ Not available

OK Cancel Help

Air System Properties - [Break Area 1 - FF]

General | DOAS Components | Zone Components | Sizing Data | Equipment

☒ Spaces

☒ Thermostats

☒ Common Data

☒ Terminal Units

Terminal Unit Data

☒ All zones are the same

Zone: All Zones

Terminal Type: Fan coil

Air Distribution:

Minimum Airflow: 0.00 CFM/person

Total Static: 0.00 in wg

Fan Overall Efficiency: 50 %

OK Cancel Help

شكل (10-4) يوضح "تبويب النظام"

تقرير برنامج (HAP) (Hourly Analysis Program):

التقرير التالي يظهر مثال لأكبر حمل حراري في المبنى:

Zone Sizing Summary for Office 7 - FF							
Project Name: Administrative Office Building-2025						03/13/2025	
Prepared by: Eng.Salah						05:06PM	
Air System Information							
Air System Name		Office 7 - FF		Number of zones		1	
Equipment Class		TERM		Floor Area		1826.2 ft²	
Air System Type		2P-FC		Location		Khartoum Intel, Sudan	
Sizing Calculation Information							
Calculation Months		Jan to Dec		Zone CFM Sizing		Sum of space airflow rates	
Sizing Data		Calculated		Space CFM Sizing		Individual peak space loads	
Terminal Unit Sizing Data - Cooling							
Zone Name	Total Coil Load (MBH)	Sens Coil Load (MBH)	Coil Entering DB / WB (°F)	Coil Leaving DB / WB (°F)	Water Flow @ 10.0 °F (gpm)	Time of Peak Coil Load	Zone CFM/ft²
Zone 1	142.9	137.4	77.5 / 64.9	59.8 / 58.6	28.59	Jun 1500	4.11
Terminal Unit Sizing Data - Heating, Fan, Ventilation							
Zone Name	Heating Coil Load (MBH)	Heating Coil Ent/Lvg DB (°F)	Htg Coil Water Flow @20.0 °F (gpm)	Fan Design Airflow (CFM)	Fan Motor (BHP)	Fan Motor (kW)	OA Vent Design Airflow (CFM)
Zone 1	0.0	0.0 / 0.0	0.00	7508	3.331	2.642	0
Zone Peak Sensible Loads							
Zone Name	Zone Cooling Sensible (MBH)	Time of Peak Sensible Cooling Load	Zone Heating Load (MBH)	Zone Floor Area (ft²)			
Zone 1	131.7	Jul 1500	19.1	1826.2			
Space Loads and Airflows							
Zone Name / Space Name	Mult.	Cooling Sensible (MBH)	Time of Peak Sensible Load	Air Flow (CFM)	Heating Load (MBH)	Floor Area (ft²)	Space CFM/ft²
Zone 1							
Office 7 - FF	1	131.7	Jul 1500	7508	19.1	1826.2	4.11

شكل (4-11) يوضح تقرير برامج الهاب (HAP)

مخرجات حساب الأحمال الحرارية للمبنى:

الجدول (3-4) يوضح توزيع أحمال الطابق الارضي:

Space Name	Area (ft ²)	Air Flow (CFM)	Total Coil Load (MBH)	Sensible Coil Load (MBH)	Coil Entering DB/WB (°F)	Coil Leaving DB/WB (°F)
Break Area 1 GF-	183.9	1006	19.4	18.1	65.4 / 77.6	59.0 / 60.2
Break Area 2 GF –	103.9	516	10.5	9.3	65.6 / 77.6	58.9 / 60.1
conference room 1 -GF	395.6	336	6.3	6.1	64.9 / 77.3	58.7 / 59.9
conference room 2-GF	438.1	1191	21.1	21	65.2 / 77.7	59.4 / 60.6
- Entrance 1 GF	280.5	294	5.4	5.2	65.1 / 77.3	59.0 / 60.2
Entrance 2 - GF	248.1	266	5	4.7	65.1 / 77.3	58.9 / 60.1
Manager office 1 -GF	388.5	1254	23.1	22.6	64.9 / 77.4	58.8 / 60.0
Manager office 2 – GF	321.9	1038	18.8	18.3	65.3 / 77.6	59.3 / 60.5
Office 1 -GF	314.6	851	16.1	15.4	64.8 / 77.2	58.5 / 59.7
Offioe10-GF	454.3	1326	24.8	23.9	64.7 / 77.2	58.5 / 59.7
Office 2 -GF	436.2	1004	18.9	18.3	64.8 / 77.4	58.5 / 59.7
Office 3-GF	598.8	1760	33.4	31.8	64.9 / 77.4	58.6 / 59.8
Office 4 – GF	262.6	834	15.2	14.8	65.4 / 77.8	59.4 / 60.6
Office 5 -GF	254.2	1034	19.2	18.7	64.5 / 77.0	58.3 / 59.5
Office 6-GF	273.1	371	7.1	6.6	65.1 / 77.3	58.8 / 60.0
Office 7 -GF	1826.2	3555	70.1	64.6	65.1 / 77.3	58.5 / 59.7
Office 8- GF	286.5	857	15.8	15.3	64.7 / 77.1	58.5 / 59.7

الجدول (4-4) يوضح توزيع أحمال الطابق الاول:

Space Name	Area (ft ²)	Air Flow (CFM)	Total Coil Load (MBH)	Sensible Coil Load (MBH)	Coil Entering DB/WB (°F)	Coil Leaving DB/WB (°F)
Break Area 1 -FF	183	1285	22.7	21.4	65.1 / 76.5	59.3 / 60.4
Break Area 2 -FF	103.9	673	13.6	12.5	64.7 / 77.1	57.9 / 59.1
conference room 1 -FF	395.6	1202	22.3	22.1	64.5 / 77.4	58.4 / 59.6
conference room 2- FF	438.1	1907	35.3	35.2	64.3 / 77.2	58.0 / 59.3
Entrance 1 -FF	280.5	906	16.7	16.5	64.7 / 77.5	58.6 / 59.8
Entrance 2 -FF	248.1	808	14.8	14.6	65.1 / 77.7	59.1 / 60.3
Manager office 1 – FF	388.5	2088	29	28.6	64.3 / 77.2	58.1 / 59.3
Manager office 2 -FF	321.9	1678	31.2	30.7	64.7 / 77.5	58.5 / 59.7
Office 1 -FF	314.6	1536	28.6	27.9	65.0 / 77.7	58.9 / 60.1
Office 10-FF	454.3	2076	39.1	38.2	64.5 / 77.2	58.2 / 59.4
Office 2 -FF	436.2	1938	36.4	35.7	64.3 / 77.1	58.0 / 59.2
Office 3 -FF	564.4	2659	50.7	49.1	64.5 / 77.2	58.1 / 59.3
Office 4 – FF	262.6	1256	23.4	22.9	64.8 / 77.5	58.6 / 59.8
Office 5 -FF	254.2	902	17	16.5	64.4 / 77.0	58.1 / 59.3
Office 6 -FF	273.1	967	18.1	17.7	64.5 / 77.2	58.2 / 59.4
Office 7 -FF	1826.2	7508	142.9	137.4	64.9 / 77.5	58.6 / 59.8
Office 8 – FF	286.5	1328	24.6	24.1	64.8 / 77.5	58.6 / 59.9

تعريف محتويات الجدول:

- Air Flow : كمية الهواء المطلوبة للمنطقة (وحدة القياس: CFM أو L/s).

- Total Coil Load : إجمالي الحمل الحراري على ملف التبريد (شامل الحمل الحساس والكامن).

- Sensible Coil Load : الجزء من الحمل الحراري المسؤول عن تغيير درجة الحرارة.

- Coil Entering DB/WB : درجة الحرارة الجافة (Dry Bulb) والرطوبة (Wet Bulb) للهواء الداخل

إلى الملف.

- Coil Leaving DB/WB : درجة الحرارة الجافة والرطوبة للهواء الخارج من الملف بعد التبريد.

4-4 حساب متطلبات التهوية

:(Calculation of the Building's Ventilation Requirements)

1-4-4 التهوية (Ventilation):

التهوية هي عملية استبدال أو تجديد الهواء داخل المبنى بهدف تحسين جودة الهواء الداخلي. تشمل إزالة الروائح، والحرارة الزائدة، والرطوبة، والملوثات، واستبدالها بهواء نقي من الخارج. وتُقسم إلى نوعين: تهوية طبيعية (عبر الفتحات والنوافذ) وتهوية ميكانيكية (باستخدام مراوح وأنظمة تحكم).

2-4-4 تدفق الهواء (CFM):

(CFM) هو اختصار لـ (Cubic Feet per Minute)، وهي وحدة قياس تدفق الهواء. يُستخدم هذا المصطلح لقياس كمية الهواء التي يتم نقلها أو تحريكها بواسطة نظام التهوية أو التكييف خلال دقيقة واحدة. على سبيل المثال، وحدة تكييف تُخرج (CFM 600) تعني أنها تدفع 600 قدم مكعب من الهواء كل دقيقة. - المناطق المستهدفة في المبنى هي دورات المياه (Bathroom).

الجدول (4-5) يوضح المناطق (دورات المياه) وحجمها وعدد الوحدات الصحية لكل دورة مياه للطابق الأرضي:

Name	Volume (ft ³)	Number of sanitary units / bathrooms
Toilet 1-1	ft ³ 311.19	1
Toilet 1-3	ft ³ 383.30	1
Toilet 1-2	ft ³ 485.53	1
Privet toilet 2	ft ³ 1121.79	1
Toilet 2-2	ft ³ 623.77	1
Toilet 2-1	ft ³ 307.84	1
Toilet 2-3	ft ³ 632.93	1
Privet toilet 1	ft ³ 1064.65	1
Toilet 2	ft ³ 4970.70	17
Toilet 1	ft ³ 5433.33	16

الجدول (4-6) يوضح المناطق (دورات المياه) وحجمها وعدد الوحدات الصحية لكل دورة مياه للطابق

الاول:

Name	Volume (ft ³)	Number of sanitary units / bathrooms
Toilet 1-1	ft ³ 320.02	1
Toilet 1-3	ft ³ 394.17	1
Toilet 1-2	ft ³ 499.30	1
Privet toilet 2	ft ³ 1153.62	1
Toilet 2-2	ft ³ 602.98	1
Toilet 2-1	ft ³ 316.58	1
Toilet 2-3	ft ³ 650.88	1
Privet toilet 1	ft ³ 1094.85	1
Toilet 2	ft ³ 5083.94	17
Toilet 1	ft ³ 5605.20	16

4-4-3 حساب معدل تدفق الهواء :

يتم الحساب وفقاً للكود (ASHRAE 62.1).

معدل (CFM/Unit) يُحدد الكود معدل تدفق الهواء المطلوب لكل وحدة صحية.

- مرحاض: 50 CFM.

- حوض: 50 CFM.

- دش: 50 CFM.

الجدول (4-7) يوضح حساب تدفق الهواء (CFM) للطابق الأرضي:

Name	Volume (ft ³)	Number of sanitary units / bathrooms	Total CFM (Number of (units50
Toilet 1-1	ft ³ 311.19	1	50
Toilet 1-3	ft ³ 383.30	1	50
Toilet 1-2	ft ³ 485.53	1	50
Privet toilet 2	ft ³ 1121.79	1	50
Toilet 2-2	ft ³ 623.77	1	50
Toilet 2-1	ft ³ 307.84	1	50

Toilet 2-3	ft³ 632.93	1	50
Privet toilet 1	ft³ 1064.65	1	50
Toilet 2	ft³ 4970.70	14	850
Toilet 1	ft³ 5433.33	13	800

إجمالي (CFM) للطابق الارضي = CFM 2050

الجدول (4-8) يوضح حساب تدفق الهواء (CFM) للطابق الأول:

Name	Volume (ft³)	Number of sanitary units / bathrooms	Total CFM (Number of units50)
Toilet 1-1	ft³ 311.19	1	50
Toilet 1-3	ft³ 383.30	1	50
Toilet 1-2	ft³ 485.53	1	50
Privet toilet 2	ft³ 1121.79	1	50
Toilet 2-2	ft³ 623.77	1	50
Toilet 2-1	ft³ 307.84	1	50
Toilet 2-3	ft³ 632.93	1	50
Privet toilet 1	ft³ 1064.65	1	50
Toilet 2	ft³ 4970.70	14	850
Toilet 1	ft³ 5433.33	13	800

إجمالي (CFM) للطابق الاول = CFM 2050

معادلة إجمالي (CFM) للطابقين:

$$\text{Total CFM} = \text{CFM (G-Floor)} + \text{CFM (F-Floor)} = 2050 + 2050 = 4100 \text{ CFM}$$

الباب الخامس

تصميم نظام المياه المبردة (Chilled Water System Design)

مراحل تصميم نظام المياه المبردة:

1. إختيار الوحدات الطرفية (FCU).

2. تصميم شبكة مجاري الهواء وإختيار مخارج الهواء.

3. إختيار الشيلر (Chiller).

4. تصميم شبكة الأنابيب وإختيار أقطار الأنابيب.

5. إختيار المضخات (Pump).

6. إختيار خزان التمدد (Expansion Tank).

1-5 إختيار الوحدات الطرفية (FCU):

معايير الإختيار:

- Air Flow Rate (CFM): كمية الهواء المطلوبة للمنطقة.

- Total Coil Load (MBh): إجمالي الحمل الحراري على ملف التبريد (شامل الحمل الحساس والكامن).

- Sensible Coil Load (MBh): الجزء من الحمل الحراري المسؤول عن تغيير درجة الحرارة.

- Coil Entering DB/WB(C): درجة الحرارة الجافة (Dry Bulb) والرطوبة (Wet Bulb) للهواء

الداخل إلى الملف.

- Water Flow Rate (GPM): كمية المياه المطلوبة للمنطقة.

- External Static Pressure(ESP) (inwg): الضغط الإستاتيكي الخارجي.

- Water Pressure Drop (ftwg): إنخفاض ضغط المياه.

يتم إختيار الوحدات المناسبة من كتالوج شركة (SKM)

SKM Fan Coil Units Hi - Static FCU

Capacity Ratings - Chilled Water

DYP - 3 ROWS

Size	Speed	50 Hz														60 Hz									
		External Static Pressure		Airflow Rate		Total Capacity		Sensible Capacity		Water Flow Rate		Water Pressure Drop		Airflow Rate	Total Capacity	Sensible Capacity	Water Flow Rate		Water Pressure Drop		Airflow Rate	Total Capacity	Sensible Capacity	Water Flow Rate	Water Pressure Drop
		inwg	Pa	cfm	l/s	MBh	kW	MBh	kW	gpm	l/s	ftwg	kPa				gpm	l/s	ftwg	kPa					
6	High	0.1	25	667	315	18.70	5.48	13.82	4.05	3.74	0.24	9.76	29.18	572	270	17.27	5.06	12.48	3.65	3.45	0.22	8.43	25.15	3.65	0.22
		0.2	50	648	306	18.42	5.40	13.56	3.97	3.68	0.23	9.50	28.39	576	272	17.34	5.08	12.54	3.67	3.47	0.22	8.49	25.38	3.67	0.22
		0.3	75	625	295	18.09	5.30	13.24	3.88	3.62	0.23	9.18	27.45	569	269	17.22	5.06	12.43	3.64	3.44	0.22	8.38	25.06	3.64	0.22
		0.4	100	600	283	17.76	5.20	12.92	3.79	3.56	0.22	8.80	26.50	562	266	17.10	5.04	12.32	3.61	3.41	0.22	8.33	24.74	3.61	0.22
	Medium	0.1	25	497	235	15.94	4.67	11.33	3.32	3.19	0.20	7.27	21.74	422	199	14.54	4.26	10.12	2.97	2.91	0.18	6.14	18.36	2.91	0.18
		0.2	50	480	227	15.63	4.58	11.06	3.24	3.13	0.20	7.01	20.97	402	190	14.16	4.16	9.79	2.87	2.83	0.18	5.85	17.48	2.83	0.18
		0.3	75	456	215	15.19	4.45	10.67	3.13	3.04	0.19	6.85	19.88	377	178	13.66	4.00	9.36	2.74	2.73	0.17	5.47	16.36	2.73	0.17
		0.4	100	432	203	14.74	4.33	10.33	3.04	2.95	0.18	6.49	18.99	352	169	13.17	3.88	8.97	2.62	2.61	0.16	5.09	15.24	2.61	0.16
	Low	0.1	25	382	180	13.76	4.03	9.45	2.77	2.75	0.17	5.55	16.58	304	143	12.09	3.54	8.07	2.37	2.42	0.15	4.37	13.07	2.37	0.15
		0.2	50	360	170	13.31	3.90	9.07	2.66	2.66	0.17	5.22	15.61	279	132	11.50	3.37	7.60	2.23	2.30	0.15	3.95	11.94	2.23	0.15
		0.3	75	339	155	12.65	3.71	8.52	2.50	2.53	0.16	4.76	14.21	253	119	10.86	3.18	7.10	2.08	2.17	0.14	3.59	10.74	2.08	0.14
		0.4	100	315	143	12.19	3.58	8.14	2.39	2.42	0.15	4.40	13.24	228	106	10.37	3.05	6.78	1.97	2.06	0.13	3.24	9.62	1.97	0.13
8	High	0.1	25	843	398	23.76	6.96	17.42	5.11	4.75	0.30	16.18	48.36	877	414	24.35	7.14	17.92	5.25	4.87	0.31	16.92	50.59	5.25	0.31
		0.2	50	799	377	22.98	6.74	16.77	4.92	4.60	0.29	15.22	45.50	849	401	23.86	6.99	17.51	5.13	4.77	0.30	16.31	48.75	5.13	0.30
		0.3	75	743	351	22.00	6.45	15.93	4.67	4.40	0.28	14.04	41.95	816	385	23.29	6.83	17.02	4.99	4.66	0.29	15.59	46.50	4.99	0.29
		0.4	100	702	334	21.22	6.16	15.42	4.42	4.20	0.27	12.91	38.60	726	343	21.70	6.36	15.68	4.59	4.34	0.27	13.68	40.91	4.59	0.27
	Medium	0.1	25	792	374	22.85	6.70	16.67	4.88	4.57	0.29	15.07	45.05	785	370	22.74	6.66	16.56	4.85	4.56	0.29	14.92	44.60	4.56	0.29
		0.2	50	745	352	22.03	6.46	15.96	4.68	4.41	0.28	14.08	42.08	759	358	22.28	6.53	16.17	4.74	4.46	0.28	14.37	42.96	4.46	0.28
		0.3	75	685	323	21.02	6.16	15.08	4.42	4.20	0.27	12.91	38.60	726	343	21.70	6.36	15.68	4.59	4.34	0.27	13.68	40.91	4.59	0.27
		0.4	100	640	306	20.00	5.87	14.56	4.23	4.01	0.26	11.80	35.06	670	310	20.99	6.07	15.15	4.35	4.07	0.26	12.63	38.12	4.35	0.26
	Low	0.1	25	709	335	21.40	6.27	15.42	4.52	4.28	0.27	13.34	39.88	630	297	20.18	5.91	14.28	4.19	4.04	0.26	11.97	35.79	4.19	0.26
		0.2	50	667	315	20.75	6.08	14.82	4.34	4.15	0.26	12.61	37.69	604	285	19.76	5.78	13.90	4.07	3.95	0.25	11.52	34.44	3.95	0.25
		0.3	75	616	291	19.96	5.85	14.08	4.13	3.99	0.25	11.73	35.06	571	269	19.22	5.63	13.40	3.93	3.84	0.24	10.96	32.73	3.84	0.24
		0.4	100	570	268	19.07	5.58	13.17	3.92	3.70	0.24	10.79	31.81	526	244	18.29	5.35	12.49	3.65	3.56	0.23	10.06	29.42	3.56	0.23
10	High	0.1	25	970	458	28.97	8.49	20.93	6.14	5.79	0.37	13.72	41.00	1079	509	30.89	9.06	22.56	6.61	6.18	0.39	15.44	46.16	6.61	0.39
		0.2	50	893	421	27.73	8.13	19.81	5.81	5.55	0.36	12.66	37.83	1030	486	30.03	8.80	21.83	6.40	6.01	0.38	14.66	43.81	6.01	0.38
		0.3	75	807	381	26.38	7.73	18.55	5.44	5.28	0.33	11.54	34.61	976	460	29.05	8.52	21.01	6.16	5.81	0.37	13.79	41.23	5.81	0.37
		0.4	100	740	350	25.30	7.44	17.65	5.17	5.08	0.32	10.76	32.18	903	426	27.86	7.97	19.00	5.67	5.37	0.34	11.93	35.67	5.37	0.34
	Medium	0.1	25	890	420	27.68	8.11	19.77	5.75	5.54	0.35	12.52	37.71	837	395	26.86	7.87	19.00	5.67	5.37	0.34	11.93	35.67	5.37	0.34
		0.2	50	823	388	26.63	7.81	18.79	5.51	5.33	0.34	11.75	35.13	812	383	26.46	7.76	18.63	5.46	5.29	0.33	11.61	34.70	5.29	0.33
		0.3	75	747	353	25.39	7.44	17.65	5.17	5.08	0.32	10.76	32.18	780	368	25.94	7.60	18.15	5.32	5.19	0.33	11.19	33.45	5.19	0.33
		0.4	100	713	336	24.82	7.28	17.12	5.02	4.96	0.31	10.33	30.86	756	352	24.65	7.44	17.46	5.24	5.07	0.32	10.83	32.00	5.07	0.32
	Low	0.1	25	866	405	27.00	7.93	19.18	5.64	5.43	0.34	11.40	34.01	800	378	26.22	7.68	18.78	5.40	5.19	0.33	11.53	34.70	5.19	0.33
		0.2	50	800	380	26.00	7.60	18.00	5.40	5.20	0.33	10.67	32.00	733	353	25.00	7.33	17.33	5.00	4.83	0.32	10.67	32.00	4.83	0.32
		0.3	75	733	353	25.00	7.33	17.33	5.00	4.83	0.32	10.67	32.00	666	326	24.00	7.00	16.66	4.66	4.50	0.31	10.00	30.00	4.50	0.31
		0.4	100	666	314	24.00	7.03	16.38	4.80	4.60	0.30	9.70	29.01	626	248	20.96	6.14	13.93	4.08	4.19	0.26	7.57	22.63	4.19	0.26

شكل (5-1) يوضح كتالوج شركة (SKM)

جدول (5-1) يوضح مواصفات الوحدات الطرفية (FCU) المختارة من الكتالوج للطابق الأرضي:

Space	Size	.No FCU	External Static Pressure (ESP) (in.w.g)	.No ROWS	Air Flow Rate (CFM)	Total Capacity (MBH)	Sensible Capacity (MBH)	Water Flow Rate (GPM)	Water Pressure Drop (ft.w.g)
Break Area 1 -GF	12	1	3.	3	1305	38.05	27.75	7.67	9
conference room 1 - GF		1	3.	3	465	15.19	10.67	3.04	6.65
conference room 2- GF	8	2	3.	3	685	21.02	15.08	4.20	12.91
Entrance 1 - GF	6	1	2.	3	480	15.63	11.06	3.13	7.01
Entrance 2 -GF	6	1	2.	3	480	15.63	11.06	3.13	7.01
Office 1 -GF	12	1	3.	3	902	28.13	20.24	5.63	4.84
Offioe10-GF	8	2	3.	3	685	21.02	15.08	4.20	12.91
Office 2 -GF	8	2	3.	3	685	21.02	15.08	4.20	12.91
Office 3-GF	12	2	3.	3	902	28.13	20.24	5.63	4.84
Office 4 – GF	12	1	3.	3	902	28.13	20.24	5.63	4.84
Office 5 -GF	8	2	3.	3	685	21.02	15.08	4.20	12.91
Office 6-GF	6	1	3.	3	465	15.19	10.67	3.04	6.56
Office 7 -GF	12	3	3.	3	1305	38.05	27.75	7.67	9
Office 8- GF	12	1	3.	3	902	28.13	20.24	5.63	4.84

جدول (2-5) يوضح مواصفات الوحدات الطرفية (FCU) المختارة من الكتالوج للطابق الأول:

Space	Size	.No FCU	External Static Pressure (ESP) (in.w.g)	.No ROWS	Air Flow Rate (CFM)	Total Capacity (MBH)	Sensible Capacity (MBH)	Water Flow Rate (GPM)	Water Pressure Drop (ft.w.g)	Air Terminal Size (ft)
Break Area 1 FF-	12	1	3.	3	1305	38.05	27.75	7.67	9	1515
conference room 1- FF	12	1	3.	3.	1305	38.05	27.75	7.67	9	1212
conference room 2- FF	8	2	3.	3	685	21.02	15.08	4.20	12.91	1818
	12		3.	3	1305	38.05	27.75	7.67	9	1818
Entrance 1 - FF	12	1	3.	3	1305	38.05	27.75	7.67	9	1818
Entrance 2 - FF	12	1	3.	4	882	34.45	23.37	6.89	8.25	1818
Office 1 -FF	12	2	3.	6	799	36.26	24.75	7.65	4.74	1212
			3.	6	799	36.26	24.75	7.65	4.74	1212
Office 10-FF	28	1	3.	3	2101	73.83	50.78	14.77	8.58	1515
Office 2 -FF	8	2	3.	3	685	21.02	15.08	4.20	12.91	1818
	12		3.	3	1305	38.05	27.75	7.67	9	1818
Office 3 -FF	18	2	3.	3	1389	45.14	31.88	9.03	7.24	1515
			3.	3	1389	45.14	31.88	9.03	7.24	1515
Office 4 - FF	12	1	3.	3	1305	38.05	27.75	7.67	9	1818
Office 5 -FF	12	1	3.	3	1305	38.05	27.75	7.67	9	1818
Office 6 -FF	12	1	3.	3	1305	38.05	27.75	7.67	9	1818
Office 7 -FF	30	3	2.	3	2615	82.20	58.52	16.44	10.48	1818
			2.	3	2615	82.20	58.52	16.44	10.48	1818
			2.	3	2615	82.20	58.52	16.44	10.48	1818
Office 8 – FF	8	2	3.	3	685	21.02	15.08	4.20	12.91	1818
			3.	3	685	21.02	15.08	4.20	12.91	1818

2-5 تصميم شبكة مجاري الهواء وإختيار مخارج الهواء

:(Air Duct Design and Air outlet Selection)

1-2-5 مبادئ تصميم نظام مجاري الهواء :

نظام مجاري الهواء (Duct System) هو الجزء المسؤول عن توزيع الهواء المُكيف داخل المباني. تصميمه

الجيد يؤثر بشكل مباشر على راحة المستخدمين وكفاءة النظام واستهلاك الطاقة. ويرتكز تصميم المجاري

على المبادئ التالية:

1. تحديد الحمل الحراري لكل مساحة باستخدام برامج تحليل الأحمال مثل (HAP).

2. تحديد معدل تدفق الهواء (CFM) بناءً على الحمل الحراري المُحدد.

3. إختيار سرعة الهواء المناسبة لتقليل مستوى الضوضاء والفاقد في الضغط:

- رئيسية: 1000-1500 قدم/دقيقة.

- فرعية: 600-900 قدم/دقيقة.

4. إختيار نوع المجاري الهوائية (مستطيلة أو دائرية) حسب المتطلبات المعمارية والمساحات المتوفرة.

5. ضبط أبعاد المجاري بحيث تحقق تدفقاً منتظماً للهواء وتقليلًا للفقد في الضغط.

6. الالتزام بالمعايير العالمية مثل (ASHRAE ,SMACNA) لضمان الأداء والسلامة.

5-2-2 تصميم مجاري الهواء :

هناك ثلاث طرق رئيسية مستخدمة في تصميم مجاري الهواء ، تختلف باختلاف حجم المشروع وتعقيده:

1. طريقة الفقد في الاحتكاك الثابت (Constant Friction Method):

- تعتمد على إختيار قيمة ثابتة لفقد الضغط الناتج عن الاحتكاك لكل 100 قدم من المجرى.

- المميزات: سهلة وسريعة، شائعة في المشاريع السكنية والتجارية.

2. طريقة استعادة الضغط الساكن (Static Regain Method):

- تهدف إلى تساوي الضغط الساكن في كل الفروع النهائية لضمان توزيع هواء متوازن.

- تُستخدم في الأنظمة الكبيرة والمعقدة مثل المطارات أو مراكز التسوق.

3. طريقة التوازن في الاحتكاك (Equal Friction Method):

- تعتمد على جعل الفقد في الضغط الناتج عن الاحتكاك متساوياً في جميع الفروع.

- تتطلب تعديل أطوال وأقطار المجاري لتحقيق التوازن.

5-2-3 الطريقة المعتمدة في المشروع:

في هذا المشروع تم استخدام طريقة الفقد في الاحتكاك الثابت كخيار تصميم رئيسي، مع تحديد قيمة الفقد

في الضغط على النحو التالي:

in.w.g/100 ft 0.134

أسباب إختيار هذه القيمة:

- قيمة متوسطة مناسبة لمشاريع التكييف العامة.
- توازن بين حجم المجاري وسرعة الهواء ومستوى الضجيج.
- تحقق كفاءة مقبولة في استهلاك الطاقة.

5-2-4 برنامج (Duct Sizer):

برنامج (Duct Sizer) هو أداة متخصصة من شركة (Carrier) تُستخدم في تصميم مجاري الهواء بدقة وكفاءة. يُعد من أكثر البرامج شيوعاً بين مهندسي التكييف، خصوصاً في مرحلة حساب أبعاد المجاري الهوائية. يتيح البرنامج تحديد بعد مجهول (مثل القطر أو السرعة أو كمية الهواء) بناءً على معادلات ديناميكا الهواء والمعايير القياسية.

5-2-5 مميزات البرنامج:

- يدعم كلاً من المجاري الدائرية والمستطيلة.
- يُمكن المستخدم من إدخال قيم مثل: (CFM)، السرعة، أو الفقد في الاحتكاك.
- يعرض النتائج تلقائياً مع السرعة الناتجة وقيمة الضغط.
- يدعم التحويل بين الوحدات المختلفة (SI, IP).
- سهل الاستخدام وبواجهة بسيطة.

5-2-6 أهمية البرنامج في التصميم:

- يوفر الوقت ويقلل من الخطأ الحسابي.
- يعين المهندس على اتخاذ قرارات تصميم دقيقة بسرعة.
- يُستخدم على نطاق واسع في التطبيقات التعليمية والمهنية.

الشكل يوضح نافذة برنامج (Duct Sizer):

DesignTools DuctSizer Vers...

Exit Print Clear Units About

55°F Air at 97% RH and 1 atm

Fluid density 0.0759 lb/ft³
 Fluid viscosity 0.0428 lb/ft·h
 Specific Heat 0.24 Btu/lb°F
 Energy factor 1.09 Btu/h°F·cfm

☒ Flow rate 1305 cfm
☒ Head loss .134 in.WC/100 ft
☐ Velocity 1141.5 fpm
☐ Equivalent diameter 14.5 in
 Duct size 14 in X 13 in

Equivalent Diameter 14.75 in
 Flow Area 1.1858 ft²
 Fluid velocity 1100.5 ft/min
 Reynolds Number 143,885
 Friction factor 0.01977
 Velocity Pressure 0.0764 in.WC
 Head Loss 0.122 in.WC/100 ft

McQuay
 Air Conditioning
 www.mcquay.com

شكل (2-5) يوضح واجهة برنامج (Duct Sizer)

إستخدام برنامج (Duct Sizer):

تم إستخدام برنامج (Carrier Duct Sizer) لحساب أبعاد مجاري الهواء بدقة. يتيح هذا البرنامج إدخال

المتغيرات المختلفة ويحسب القيم المجهولة تلقائياً.

5-2-7 خطوات إستخدام برنامج (Duct Sizer):

1. إدخال كمية الهواء المطلوبة (CFM) لكل فراغ.
2. تحديد نوع المجرى (مستطيل أو دائري).
3. إدخال قيمة الفقد في الاحتكاك (0.134 in.wg/100 ft).
4. الحصول على أبعاد المجرى وسرعة الهواء الناتجة.

5-2-8 ملاحظات تصميمية لمجاري الهواء :

- تم مراجعة السرعات الناتجة للتأكد من أنها ضمن الحدود المسموحة وفق معايير (ASHRAE).

- تم تجنب السرعات العالية لتقليل الضوضاء والاهتزازات.

نوع مجاري الهواء المستخدمة:

تم استخدام مجاري هواء مستطيلة (Rectangular Ducts) من مادة (Galvanized Steel) في هذا

المشروع وذلك للأسباب التالية:

1. المرونة في التثبيت ضمن الأسقف المستعارة ذات الارتفاع المحدود.

2. إمكانية تعديل العرض والارتفاع مع الحفاظ على نفس مساحة المقطع العرضي.

3. الامتثال للمتطلبات المعمارية وتجنب تعارضات الموقع.

كما تم استخدام مجاري الهواء المرنة (Flexible Ducts) في هذا المشروع عند نقاط التوصيل النهائية

لتسهيل التركيب وتقليل الاهتزازات وتثبيت المجاري بإحكام باستخدام (Hanger)، بالإضافة الى تركيب

مخمدات التحكم من نوع (Volume Control Damper)، وتركيب عزل حراري من نوع (Fiberglass)

وعزل صوتي و عزل اهتزازي (Canvas) عند مخرج وحدة (FCU).

5-2-9 الاعتبارات التصميمية للمجاري المستطيلة طبقا للكود:

- الحفاظ على نسبة مناسبة بين العرض والارتفاع (مثل 1:4) لتقليل الضوضاء والفاقد في الضغط.

- استخدام مواد عازلة حرارياً وصوتياً.

- دعم المجاري جيداً لتقليل الاهتزازات ومنع فقد الضغط عند التمدد.

- طول المجرى المرن لا يتجاوز 1.5 متر لتقليل فقد الضغط.

- تثبيت المجاري بإحكام بشكل مستقيم قدر الإمكان، وتجنب الإحناءات الحادة.

- دعم المجاري بانتظام كل 1,2 متر لمنع الترهل.

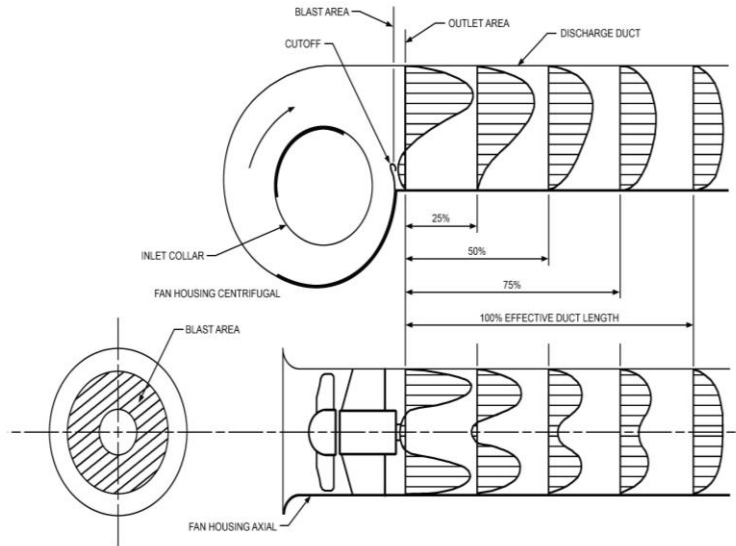
10-2-5 طول مجرى الهواء الفعّال (Effective Duct Length)

يُعتبر طول مجرى الهواء الفعّال مكوناً رئيسياً في حساب الفقد في الضغط ضمن نظام التهوية، ويشمل هذا الطول مجموع أطوال القطاعات المستقيمة بالإضافة إلى الأطوال المكافئة للقطع الميكانيكية مثل الأكواع والمخفضات والوصلات المختلفة. يتم الاعتماد على الجداول الخاصة بالأطوال المكافئة حسب نوع المكون الهوائي.

يُستخدم هذا الطول في تحديد الفقد الكلي في الضغط لضمان كفاءة توزيع الهواء والتأكد من ملائمة الضغط الاستاتيكي الخارجي المطلوب.

21.14

2021 ASHRAE Handbook—Fundamentals



Fan Outlet Conditions. Fans intended primarily for duct systems are usually tested with an outlet duct in place (AMCA Standard 210). Figure 13 shows the changes in velocity profiles at various distances from the fan outlet. For fully-developed flow, the duct, including transition, must meet the requirements for 100% effective duct length [L_e (Figure 13)], which is calculated as follows:

For $V_o > 2500$ fpm,

$$L_e = \frac{V_o \sqrt{A_o}}{10,600}$$

For $V_o \leq 2500$ fpm,

$$L_e = \frac{\sqrt{A_o}}{4.3}$$

where

V_o = duct velocity, fpm

L_e = effective duct length, ft

A_o = duct area, in²

شكل (3-5) يوضح طول مجرى الهواء الفعّال

في المشروع تم حساب الطول الفعّال لكل شبكة توزيع هواء والتأكد من أن القيم تتوافق مع القيم التصميمية المقبولة حسب دليل (ASHRAE).

الشكل يوضح حساب طول مجرى الهواء الفعّال (Effective Duct Length) عن طريق شيت هندسي:

Effective Duct Length Calculation

Remark

Please Enter Duct Width and Depth to calc. Area of Duct

To Calculate Area of Duct

Input >>>	Width of Duct (in)	Depth of Duct (in)
	20	8

Output>> **Ao =** 160 in²

For Vo > 2500 FPM

Required	Input Data	Output Data						
Vo =		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Le =</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">Ft</td> </tr> <tr> <td>Le =</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">M</td> </tr> </table>	Le =	0	Ft	Le =	0	M
Le =	0	Ft						
Le =	0	M						

Where

Vo: Duct Velocity (FPM)

Ao: Duct Area (in²)

Le: Effective Duct Length (ft)

To Calculate Area of Duct

Input >>>	Width of Duct (in)	Depth of Duct (in)
	20	8

Output>> **Ao =** 160 in²

For Vo <= 2500 FPM

Required	Input Data	Output Data						
Vo =		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Le =</td> <td style="text-align: center;">2.941653637</td> <td style="text-align: center;">Ft</td> </tr> <tr> <td>Le =</td> <td style="text-align: center;">0.897204359</td> <td style="text-align: center;">M</td> </tr> </table>	Le =	2.941653637	Ft	Le =	0.897204359	M
Le =	2.941653637	Ft						
Le =	0.897204359	M						

Where

Vo: Duct Velocity (FPM)

Ao: Duct Area (in²)

Le: Effective Duct Length (ft)

شكل (4-5) يوضح نموذج لحساب طول مجرى الهواء الفعال

5-2-11 الضغط الاستاتيكي الخارجي (ESP - External Static Pressure):

هو مقدار الضغط الذي يجب على المروحة توفيره لتجاوز جميع الفواقد في الضغط عبر نظام توزيع الهواء، ويشمل:

- فقد الضغط في مجاري الهواء (Duct Friction Losses).
- الفقد الناتج عن المكونات الهوائية (.Elbows, Tees, Dampers, etc).
- الفقد في الفلاتر، ملفات التبريد، والمخارج الهوائية (Coils, Filters, Diffusers).

يتم حساب الفقد الإستاتيكي الخارجي (ESP) عن طريق شيت هندسي :

External static pressure calculation

DUCTS PRESSURE LOSSES BOARD				
SECTION NO	1	2	3	4
FLOW	CFM	1305	1305	892.5
LENGTH	M	2.54	1.4	3
WIDTH	mm	400	400	400
HEIGHT	mm	300	300	200
EQUIV.DIA.Φ	mm	379	379	310
AREA	m ²	0.11	0.11	0.08
VELOCITY	M/S	0.45	0.45	0.69
PD per Meter	Pa/M	0.84	0.84	0.61
FRICTION LOSS / SECTION	Pa	2.1	1.2	1.9
TOTAL FRICTION LOSS	Pa	3.6		

FITTINGS LOSSES				
SECTION NO	1	2	3	4
ELBOW-1 (CR3-1)	NO	1		
	Ø	90		
	Cx	0.23		
	PA	4	0	0
ELBOW-2 (CR3-1)	NO			
	Ø			
	Cx			
	PA	0	0	0
TRANSITION (DR4-2)	W-in	400	400	
	W-out	300	300	
	H-in	400	400	
	H-out	300	300	
BRANCH TEE-1 (losses in main duct) (DR4-3) (RECT.MAN&RECT.LAD)	NO			
	W	320.25	320.25	
	H	150	150	
	Cx	0.18	0.09	
BRANCH TEE-2 (losses in main duct) (DR4-3) (RECT.MAN&RECT.LAD)	NO			
	W			
	H			
	Cx	0	0	0
END TEE (losses inside branch T) (DR4-3) (RECT.MAN&RECT.LAD)	NO			
	W		350	
	H		320.25	
	Cx		0.22	
BRANCH TEE-1 (losses in main duct) (DR4-3) (RECT.MAN&RECT.LAD)	NO			
	TAP Dia(Ø)mm	2	2	
	PA	0	0	0
BRANCH TEE-2 (losses in main duct) (DR4-3) (RECT.MAN&RECT.LAD)	NO			
	TAP Dia(Ø)mm	2	2	
	PA	0	0	0
END TEE (losses inside branch T) (DR4-3) (RECT.MAN&RECT.LAD)	NO			
	TAP Dia(Ø)mm	2	2	
	PA	0	0	0
WYE SYMMETRICAL (SR5-14) (ERS-4)	NO			
	Flow(h)			
	Cx			
	PA			
ROUND TO REC TRANSITION (DR4-3)	NO			
	Dia(Ø)			
	Cx			
	PA	0	0	0
REC TO ROUND TRANSITION (DR4-3)	NO			
	Dia(Ø)			
	Cx			
	PA	0	0	0
PLENUM BOX W-PL (DR2-1)	W-duct			
	H-duct			
	W-PL			
	H-PL			
PLENUM BOX W-PL (DR2-4)	W-duct			
	H-duct			
	W-PL			
	H-PL			
FREE DISCHARGE (SUPPLY) (DR2-5)	W-duct			
	H-duct			
	W-hellmouth			
	H-hellmouth			
BELL MOUTH (DR3-2)	NO			
	Length			
	Cx			
	PA	0	0	0
V.D (SR5-3)	NO			
	Cx		0.37	
	PA	0	0	3.887490952
F.D (SR5-5,7)	NO			
	Cx			
	PA	0	0	0
FITTINGS P.DROP/SECTION	NO			
	PA	0.01	0.51	14.24
	Pa	22.78		
	Pa	22.78		

SPECIAL FITTING PRESSURE DROPS			
DESIGNATION	PD (Pa)	QTY	TOTAL
MACHINE CONNECTOR	15		0
SUPPLY SQUARE DIFFUSER	15	1	15
RETURN SQUARE DIFFUSER	20		0
FLEXIBLE	5	1	5
EXHAUST AIR GRILLE	50		0
RETURN AIR GRILLE	7.5		0
DOOR GRILLE	10		0
INSECT SCREEN	10		0
PLANE FILTER	80		0
OIL BATH FILTER	200		0
HEPA FILTER	125		0
DOOR FILTER	100		0
ANTI AEROSOL FILTER	250		0
EXHAUST VALVE	70		0
FRESH AIR LOUVER	25		0
SAND TRAP LOUVER	75		0
SOUND ATTENUATOR	80		0
TOTAL			20.000

CALCULATION SUMMARY		
ESP OF FCU		
TOTAL FLOW	CFM	1305
FRICTION LOSS	Pa	4
FITTINGS LOSS	Pa	23
SPECIAL FITTINGS LOSS	Pa	20
F.O.S	10%	5
TOTAL PRESSURE DROP	Pa	51

INPUT DATA	
AIR SYSTEM TYPE	SUPPLY AIR
AIR FLOW UNIT	CFM
EQUIPMENT TAG	FCU
FACTOR OF SAFETY	10%
AIR DUCT MATERIAL	Galvanized steel smooth
AIR TEMPERATURE	25
DUCT ABSOLUTE ROUGHNESS	0.09
AIR DENSITY	1.184

شكل (5-5) يوضح نموذج لحساب الفقد الإستاتيكي الخارجي (ESP)

الضغط الإستاتيكي الخارجي الناتج :

$$Esp = 51 \text{ pa} / .205 \text{ in.w.g}$$

تم حساب الضغط الاستاتيكي الخارجي لنظام مجاري الهواء بناءً على مجموع الفواقد في الضغط عبر المجاري والمكونات مثل الفلاتر، الملفات، والمخارج الهوائية، بالإضافة إلى أطوال مجاري الهواء الفعّالة.

وقد تم التأكد من أن قيمة الضغط الإستاتيكي الخارجي (ESP) الناتجة لا تتجاوز الحد الأقصى المسموح به للوحدات المستخدمة (FCU) لضمان كفاءة التشغيل وعدم حدوث انخفاض في الأداء.

5-2-12 التحقق والمعايير التصميمية لمجاري الهواء :

- تم التحقق من أن جميع المجاري المصممة تحقق توازنًا بين الأداء والكفاءة والراحة.
- تم الرجوع إلى (ASHRAE Standard) للتأكد من مطابقة السرعات، والضغوط، ومستويات الضجيج المسموح بها.

5-2-12 استخدام مخارج الهواء :

تم في هذا المشروع استخدام مخارج سقفية مربعة (Square Ceiling Diffusers) فقط، نظرًا لمناسبتها للفراغات المختلفة وسهولة دمجها مع نظام الأسقف المستعارة.

التحقق والمعايير التصميمية لمخارج الهواء :

- معدل تدفق الهواء (CFM): تم إختيار حجم المخرج بما يتناسب مع كمية الهواء المطلوبة لكل مساحة. زاوية التغطية والانتشار: تضمن هذه المخارج توزيع الهواء بالتساوي في الاتجاهات الأربعة، مما يحسن الراحة الحرارية.

- الضوضاء: تم إختيار مخارج ذات مستوى ضوضاء منخفض ($NC < 30$) للحفاظ على بيئة مريحة وهادئة.

- التكامل المعماري: تتوافق هذه المخارج مع تصميم الأسقف المستعارة دون التأثير على الشكل الجمالي.

- التحكم في التدفق: تم تزويد المخارج بمخمدات تحكم (Volume Dampers) لضبط كمية الهواء وتحقيق التوازن.

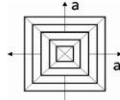
جدول (3-5) يوضح مقاس مخارج الهواء من كتالوج شركة الأندوليسية للطابق الأرضي :

Space	No. FCU	Air Terminal Size (ft)
Break Area 1 -GF	1	1515
conference room 1 -GF	1	66
conference room 2-GF	2	1212
		1212
Entrance 1 – GF	1	99
Entrance 2 -GF	1	99
Office 1 -GF	1	99
Office 10-GF	2	1212
		1212
Office 2 -GF	2	1212
		1212
Office 3-GF	2	1212
		1212
Office 4 – GF	1	99
Office 5 -GF	2	1212
		1212
Office 6-GF	1	66
Office 7 -GF	3	1515
		1515
		1515
Office 8- GF	1	99

جدول (4-5) يوضح مقاس مخارج الهواء من كتالوج شركة الأندوليسية للطابق الأول :

Space	No. FCU	Air Terminal Size (ft)
Break Area 1 -FF	1	1515
conference room 1- FF	1	1212
conference room 2- FF	2	1818
		1818
Entrance 1 -FF	1	1818
Entrance 2 -FF	1	1818
Office 1 -FF	2	1212
		1212
Office 10-FF	1	1515
Office 2 -FF	2	1818
		1818
Office 3 -FF	2	1515
		1515
Office 4 – FF	1	1818
Office 5 -FF	1	1818
Office 6 -FF	1	1818
Office 7 -FF	3	1818
		1818
		1818
Office 8 – FF	2	1818
		1818

PERFORMANCE DATA

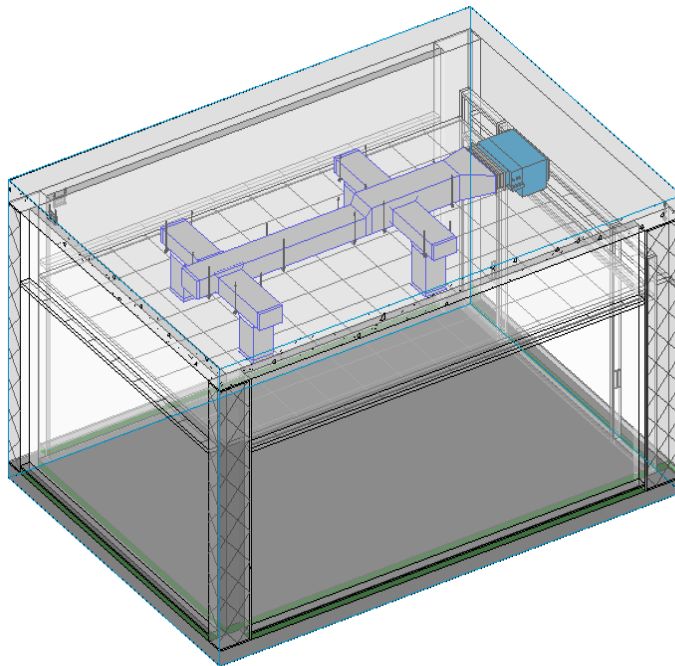


MODEL 4SCD FOUR-WAY THROW SQUARE DIFFUSER

NECK SIZE AK	Neck VELOCITY FPM	200	300	400	500	600	700	800	900
	TOTAL PRESSURE	.019	.039	.067	.10	.14	.19	.24	.30
6"x6" AK= 0.13	TOTAL CFM	50	75	100	125	150	175	200	225
	CFM each side - a	13	19	25	32	38	44	50	57
	Throw each side - a	2-3	3-5	4-7	5-9	6-11	7-13	8-15	9-17
9"x9" AK= 0.28	TOTAL CFM	112	168	224	280	336	392	448	504
	CFM each side - a	28	42	56	70	84	98	112	126
	Throw each side - a	2-3	3-5	4-8	5-10	6-12	7-14	8-17	9-18
12"x12" AK= 0.5	TOTAL CFM	200	300	400	500	600	700	800	900
	CFM each side - a	50	75	100	125	150	175	200	225
	Throw each side - a	2-4	4-7	5-9	6-11	7-14	8-16	10-19	11-21
15"x15" AK= 0.79	TOTAL CFM	312	468	624	780	936	1092	1248	1404
	CFM each side - a	78	117	156	195	235	273	312	351
	Throw each side - a	3-5	4-8	5-10	7-13	8-16	10-19	11	12-24
18"x18" AK= 0.13	TOTAL CFM	450	675	900	1125	1350	1575	1800	2025
	CFM each side - a	113	169	225	281	338	394	450	507
	Throw each side - a	3-5	4-8	5-10	7-13	9-17	10-20	12-24	13-26
21"x21" AK= 1.54	TOTAL CFM	612	918	1224	1530	1836	2142	2448	275
	CFM each side - a	153	229	306	382	459	535	612	689
	Throw each side - a	3-5	4-8	6-11	7-13	9-18	11-21	13-25	14-28
24"x24" AK= 2	TOTAL CFM	800	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600
	CFM each side - a	200	300	400	500	600	700	800	900
	Throw each side - a	3-6	5-9	6-12	7-14	10-19	11-22	13-26	15-30

- Diffuser selections which will result in noise criteria not exceeding
Approximately 20 DB based on room attenuation OF 8 DB
- Resulting criteria not exceeding 30 DB
- Resulting criteria not exceeding approximately 40 DB.
- Resulting criteria exceeding 40 DB.

شكل (6-5) يوضح كتالوج الشركة الأندوليسية



شكل (7-5) يوضح وحدة (FCU) وتصميم مجرى الهواء

5-3 إختيار الشيلر (Chiller Selection) :

تم في هذا المشروع إختيار شيلر من نوع (Air-Cooled Chiller) نظرًا لما يتمتع به هذا النوع من سهولة التركيب وعدم الحاجة إلى برج تبريد، إضافة إلى انخفاض متطلبات الصيانة واستهلاك المياه، مما يجعله مناسباً للمشاريع المتوسطة.

5-3-1 أسباب إختيار (Air-Cooled Chiller):

1. سهولة التركيب والصيانة: لا يتطلب هذا النوع من الشيلرات تركيب برج تبريد، مما يُبسّط عملية التركيب ويقلل من التكلفة الإنشائية.
 2. الملاءمة للمواقع ذات محدودية المياه: يُعد خيارًا مثاليًا للمناطق التي تعاني من نقص المياه أو التي تسعى لترشيد استهلاكها.
 3. التوفير في المساحة الداخلية: يمكن تركيبه على سطح المبنى، مما يحافظ على المساحات الداخلية لاستخدامات أخرى.
- تركيب الشيلر:

تم تركيب الشيلر فوق سطح المبنى (Roof-mounted)، وذلك لأسباب تتعلق بإحتاجة لمكان مفتوح وتوفير المساحة وتقليل الضوضاء داخل المبنى، وكذلك لتسهيل الوصول إليه أثناء أعمال الصيانة الدورية. تضمين شيلر احتياطي (Standby Chiller): حرصًا على ضمان استمرارية عمل النظام في حالات الطوارئ أو أثناء إجراء أعمال الصيانة، تم اعتماد شيلر احتياطي بنفس المواصفات الفنية، مما يعزز موثوقية النظام ويمنع توقف الخدمة في حال تعطل أحد الوحدات الأساسية.

5-3-2 المعايير التصميمية لإختيار الشيلر من الكتالوج:

- Total Coil Load (MBh): إجمالي الحمل الحراري على ملف التبريد (شامل الحمل الحساس والكامن).

- Coil Entering DB (F): درجة الحرارة الجافة (Dry Bulb) للهواء الداخل إلى الملف.

- Leaving Chilled Water Temperature (F): درجة الحرارة الجافة والرطوبة للهواء الخارج من الملف بعد التبريد.

- Water Flow Rate (GPM): كمية المياه المطلوبة للمنطقة.

- Water Pressure Drop (ftwg): إنخفاض ضغط المياه.

5-3-2 إختيار الشيلر (Chiller) :

يتم إختيار الشيلر المناسب طبقاً لمخرجات برنامج (Hap) الأتية:

- Total Coil Load (MBh) = 1418.87 BTU/H , 118.24 TR.

- Total Water Pressure Drop (ftwg) = 386.58 ft.wg.
- Coil Entering DB (F) = 109.8 F.
- Leaving Chilled Water Temperature (F)= 45 F.

جدول (5-5) يوضح مواصفات الشيلر المختار من الكتالوج:

Model	NO. Chiller	Coil Load (MBh)	Flow Rate (GPM)	Water Pressure Drop (ftwg)
APCN S 5070 S	2+1 (Stand By)	792.435 BTU/H	158.3	7.6

يتم إختيار الشيلر (Chiller) من كتالوج شركة (SKM)

SKM Air Cooled Packaged Chillers APCN-S Series - R-134a

CAPACITY RATINGS - 50 Hz (Standard Efficiency)

Model	LCWT	Condenser Entering Air Temperature °F (°C)																																							
		95.00 (35.0)								105.00 (40.5)								115.00 (46.1)								125.00 (48.9)								125.00 (51.7)							
		CCap	PI*	WFR	WPD	CCap	PI*	WFR	WPD	CCap	PI*	WFR	WPD	CCap	PI*	WFR	WPD	CCap	PI*	WFR	WPD	CCap	PI*	WFR	WPD	CCap	PI*	WFR	WPD												
APCN S	*F	TR	kW	ft.wg	ft.wg	TR	kW	ft.wg	ft.wg	TR	kW	ft.wg	ft.wg	TR	kW	ft.wg	ft.wg	TR	kW	ft.wg	ft.wg	TR	kW	ft.wg	ft.wg	TR	kW	ft.wg	ft.wg												
5060 S	EER		°C	TR	kW	ft.wg	ft.wg	TR	kW	ft.wg	ft.wg	TR	kW	ft.wg	ft.wg	TR	kW	ft.wg	ft.wg	TR	kW	ft.wg	ft.wg	TR	kW	ft.wg	ft.wg	TR	kW	ft.wg	ft.wg										
	42	48.9	54.2	117.1	5.4	46.7	61.1	112.1	4.9	44.3	68.8	106.4	4.5	43	72.9	103.2	4.2	41.6	77.2	99.9	3.9	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	44	50.6	55	121.4	5.8	48.4	62	116.2	5.3	45.9	69.8	110.2	4.8	44.6	73.9	107	4.5	43.1	78.2	103.5	4.2	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	46	52.3	56	125.6	6.2	50.1	64	120.4	5.7	47.6	71.9	114.2	5.1	46.3	76.0	109	4.8	44.8	80.3	106.6	4.5	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	48	54.1	56.6	129.9	6.6	51.8	66.8	124.3	6	49.2	74.7	118	5.5	47.7	79.9	111.5	5.2	45.2	83.6	108.8	4.8	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	50	55.9	58.4	134.1	7	53.4	69.8	128.1	6.4	50.9	78.8	121.3	5.9	49	83.7	116.8	5.5	46.3	87.5	111.5	5.2	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	52	57.7	60.2	138.3	7.4	55.2	71.9	132.3	6.8	52.7	81.9	124.3	6.3	50.9	87.5	119.8	5.9	47.7	91.4	114.2	5.5	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	54	59.5	61.9	142.5	7.8	56.9	74.7	136.3	7.2	54.4	84.7	126.3	6.7	52.7	91.4	121.8	6.3	49	95.3	116.8	5.9	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	56	61.3	63.7	146.7	8.2	58.6	77.4	140.3	7.6	56.1	87.5	128.1	7.1	54.4	95.3	124.3	6.7	50.9	99.2	119.8	6.3	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	58	63.1	65.5	150.9	8.6	60.3	80.1	144.3	8	57.8	90.4	132.3	7.5	56.1	99.2	126.3	7.1	52.7	103.1	121.8	6.7	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
5070 S	10.1	42	48.9	54.2	117.1	5.4	46.7	61.1	112.1	4.9	44.3	68.8	106.4	4.5	43	72.9	103.2	4.2	41.6	77.2	99.9	3.9	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1										
	44	50.6	55	121.4	5.8	48.4	62	116.2	5.3	45.9	69.8	110.2	4.8	44.6	73.9	107	4.5	43.1	78.2	103.5	4.2	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	46	52.3	56	125.6	6.2	50.1	64	120.4	5.7	47.6	71.9	114.2	5.1	46.3	76.0	109	4.8	44.8	80.3	106.6	4.5	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	48	54.1	56.6	129.9	6.6	51.8	66.8	124.3	6	49.2	74.7	118	5.5	47.7	79.9	111.5	5.2	45.2	83.6	108.8	4.8	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	50	55.9	58.4	134.1	7	53.4	69.8	128.1	6.4	50.9	78.8	121.3	5.9	49	83.7	116.8	5.5	46.3	87.5	111.5	5.2	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	52	57.7	60.2	138.3	7.4	55.2	71.9	132.3	6.8	52.7	81.9	124.3	6.3	50.9	87.5	119.8	5.9	47.7	91.4	114.2	5.5	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	54	59.5	61.9	142.5	7.8	56.9	74.7	136.3	7.2	54.4	84.7	126.3	6.7	52.7	91.4	121.8	6.3	49	95.3	116.8	5.9	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	56	61.3	63.7	146.7	8.2	58.6	77.4	140.3	7.6	56.1	87.5	128.1	7.1	54.4	95.3	124.3	6.7	50.9	99.2	119.8	6.3	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	58	63.1	65.5	150.9	8.6	60.3	80.1	144.3	8	57.8	90.4	132.3	7.5	56.1	99.2	126.3	7.1	52.7	103.1	121.8	6.7	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	60	64.9	67.3	155.1	9	62	82.9	148.3	8.4	59.5	93.2	136.3	7.9	57.8	103.1	128.1	7.5	54.4	106.9	124.3	7.1	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
5080 S	10.1	42	48.9	54.2	117.1	5.4	46.7	61.1	112.1	4.9	44.3	68.8	106.4	4.5	43	72.9	103.2	4.2	41.6	77.2	99.9	3.9	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1										
	44	50.6	55	121.4	5.8	48.4	62	116.2	5.3	45.9	69.8	110.2	4.8	44.6	73.9	107	4.5	43.1	78.2	103.5	4.2	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	46	52.3	56	125.6	6.2	50.1	64	120.4	5.7	47.6	71.9	114.2	5.1	46.3	76.0	109	4.8	44.8	80.3	106.6	4.5	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	48	54.1	56.6	129.9	6.6	51.8	66.8	124.3	6	49.2	74.7	118	5.5	47.7	79.9	111.5	5.2	45.2	83.6	108.8	4.8	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	50	55.9	58.4	134.1	7	53.4	69.8	128.1	6.4	50.9	78.8	121.3	5.9	49	83.7	116.8	5.5	46.3	87.5	111.5	5.2	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	52	57.7	60.2	138.3	7.4	55.2	71.9	132.3	6.8	52.7	81.9	124.3	6.3	50.9	87.5	119.8	5.9	47.7	91.4	114.2	5.5	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	54	59.5	61.9	142.5	7.8	56.9	74.7	136.3	7.2	54.4	84.7	126.3	6.7	52.7	91.4	121.8	6.3	49	95.3	116.8	5.9	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	56	61.3	63.7	146.7	8.2	58.6	77.4	140.3	7.6	56.1	87.5	128.1	7.1	54.4	95.3	124.3	6.7	50.9	99.2	119.8	6.3	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	58	63.1	65.5	150.9	8.6	60.3	80.1	144.3	8	57.8	90.4	132.3	7.5	56.1	99.2	126.3	7.1	52.7	103.1	121.8	6.7	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	60	64.9	67.3	155.1	9	62	82.9	148.3	8.4	59.5	93.2	136.3	7.9	57.8	103.1	128.1	7.5	54.4	106.9	124.3	7.1	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
5090 S	10.1	42	48.9	54.2	117.1	5.4	46.7	61.1	112.1	4.9	44.3	68.8	106.4	4.5	43	72.9	103.2	4.2	41.6	77.2	99.9	3.9	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1										
	44	50.6	55	121.4	5.8	48.4	62	116.2	5.3	45.9	69.8	110.2	4.8	44.6	73.9	107	4.5	43.1	78.2	103.5	4.2	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	46	52.3	56	125.6	6.2	50.1	64	120.4	5.7	47.6	71.9	114.2	5.1	46.3	76.0	109	4.8	44.8	80.3	106.6	4.5	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	48	54.1	56.6	129.9	6.6	51.8	66.8	124.3	6	49.2	74.7	118	5.5	47.7	79.9	111.5	5.2	45.2	83.6	108.8	4.8	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	50	55.9	58.4	134.1	7	53.4	69.8	128.1	6.4	50.9	78.8	121.3	5.9	49	83.7	116.8	5.5	46.3	87.5	111.5	5.2	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	52	57.7	60.2	138.3	7.4	55.2	71.9	132.3	6.8	52.7	81.9	124.3	6.3	50.9	87.5	119.8	5.9	47.7	91.4	114.2	5.5	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	54	59.5	61.9	142.5	7.8	56.9	74.7	136.3	7.2	54.4	84.7	126.3	6.7	52.7	91.4	121.8	6.3	49	95.3	116.8	5.9	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	56	61.3	63.7	146.7	8.2	58.6	77.4	140.3	7.6	56.1	87.5	128.1	7.1	54.4	95.3	124.3	6.7	50.9	99.2	119.8	6.3	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	58	63.1	65.5	150.9	8.6	60.3	80.1	144.3	8	57.8	90.4	132.3	7.5	56.1	99.2	126.3	7.1	52.7	103.1	121.8	6.7	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	60	64.9	67.3	155.1	9	62	82.9	148.3	8.4	59.5	93.2	136.3	7.9	57.8	103.1	128.1	7.5	54.4	106.9	124.3	7.1	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
5100 S	10.1	42	48.9	54.2	117.1	5.4	46.7	61.1	112.1	4.9	44.3	68.8	106.4	4.5	43	72.9	103.2	4.2	41.6	77.2	99.9	3.9	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1										
	44	50.6	55	121.4	5.8	48.4	62	116.2	5.3	45.9	69.8	110.2	4.8	44.6	73.9	107	4.5	43.1	78.2	103.5	4.2	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	46	52.3	56	125.6	6.2	50.1	64	120.4	5.7	47.6	71.9	114.2	5.1	46.3	76.0	109	4.8	44.8	80.3	106.6	4.5	11.8	171.6	54.2	7.4	16.1	171.6	54.2	7.4	16.1											
	48	54.1	56.6	129.9	6.6	51.8	66.8	124.3	6	49.2	74.7	118	5.5	47.7	79.9	111.5	5.2	45.2	83.6	108.8	4.8	11.8	171.6	54.2																	

4-5 تصميم شبكة أنابيب وإختيار أقطار الأنابيب

(Pipe Network Design and Pipe Diameter Selection):

تمثل شبكة المياه المبردة أحد العناصر الأساسية في نظام التكييف المركزي، حيث يتم من خلالها نقل الماء البارد من وحدة التبريد (Chiller) إلى وحدات المناولة الداخلية (FCU)، ثم إرجاعه لإعادة تبريده.

1-4-5 تصميم مجاري الهواء :

في هذا المشروع تم تصميم الشبكة بإستخدام:

- طريقة (Friction Loss Method) لتحديد أقطار الأنابيب بناءً على معدل الفقد في الضغط.
- برنامج (Pipe Sizer) لتحديد الأقطار المناسبة بدقة.
- أنابيب من نوع (Black Steel) لما توفره من قوة تحمل وكفاءة في النقل.
- العزل الخارجي: من نوع (Fiberglass) بسمك تصميمي لا يقل عن 25 مم، مع حاجز بخار خارجي.
- الاعتماد على كود (SMACNA) في التصميم، والالتزام الكامل بتوصيات (ASHRAE) في تحديد السرعات والفاقد.

2-4-5 برنامج (Pipe Sizer):

تم 5 استخدام برنامج (Pipe Sizer) كأداة رئيسية في حساب أقطار الأنابيب، وهو برنامج هندسي متخصص يُستخدم لحساب أقطار أنابيب شبكات المياه المبردة والتدفئة. يتميز بسهولة استخدامه، ويعتمد على معادلات دقيقة تتماشى مع كودات التصميم العالمية مثل (ASHRAE, SMACNA).

3-4-5 مزايا البرنامج:

- يعتمد على قاعدة بيانات تحتوي على خصائص حرارية وهيدروليكية دقيقة للسوائل مثل الماء والمحاليل الملحية.
- يوفر نتائج فورية تشمل القطر الداخلي، السرعة، الفقد في الضغط، وطول الأنبوب المكافئ.
- يدعم وحدات القياس الأمريكية (IP) والمترية (SI).

- يتيح للمستخدم إختيار التصميم بناءً على أقصى سرعة أو أقصى فقد في الضغط.
- يسهل استخدامه للمبتدئين والمحترفين في مراحل التصميم المختلفة.

DesignTools PipeSizer Version 6.2

Exit Print About

Sch 40 Steel 50°F Water

3. USgpm

Outside Diameter	1.05 in	Fluid density	62.411 lb/ft ³
Wall Thickness	0.113 in	Fluid viscosity	3.1667 lb/ft·h
Inside Diameter	0.824 in	Specific Heat	1.002 Btu/lb°F
Inside Area	0.533 in ²	Energy factor	501.6 Btu/h°F·gpm
Cross Section Area	0.3325 in ²		
Section Modulus	0.07056 in ³	Fluid velocity	1.8 ft/s
Moment of Inertia	0.03705 in ⁴	Reynolds Number	8,793
Radius Gyration	0.3337 in	Friction factor	0.03496
Weight of Pipe	1.131 lb/ft	Head Loss	2.577 ft/100 ft
Weight Pipe + Fluid	1.363 lb/ft	Elbow loss	0.086 ft

McQuay
Air Conditioning

www.mcquay.com

شكل (9-5) يوضح واجهة برنامج (Pipe Sizer)

4-4-5 خطوات استخدام البرنامج:

1. إدخال معدل تدفق المياه المبردة حسب الأحمال التصميمية.
2. إختيار نوع السائل، غالبًا (Water at 60°F).
3. تحديد قيمة الفقد في الضغط مثل (4 ft/100 ft)، أو السماح للبرنامج بإختيارها.
4. استخراج القطر الأنسب بناءً على النتائج التصميمية.
5. مراجعة سرعة التدفق والفقد في الضغط للتأكد من مطابقتها للمعايير.

5-4-5 الأسس والمعايير التصميمية:

تم اتباع المعايير التالية لتحديد أقطار الأنابيب:

- أنابيب قطرها 2 بوصة فأقل: سرعة لا تتجاوز 4 قدم/ثانية.
- أنابيب أكبر من 2 بوصة: فاقد ضغط لا يزيد عن 4 قدم ماء لكل 100 قدم.
- الحد الأعلى للسرعة في جميع الحالات: 15 قدم/ثانية كحد أقصى وفقًا (ASHRAE).

6-4-5 الصمامات والمحابس المستخدمة:

1. وحدات (FCU):

Supply Line:

Gate Valve, Strainer, Flexible Hose, Bypass Gate Valve.

Return Line:

Gate Valve, Flexible Hose, Balancing Valve ,2 Way Control Valve.

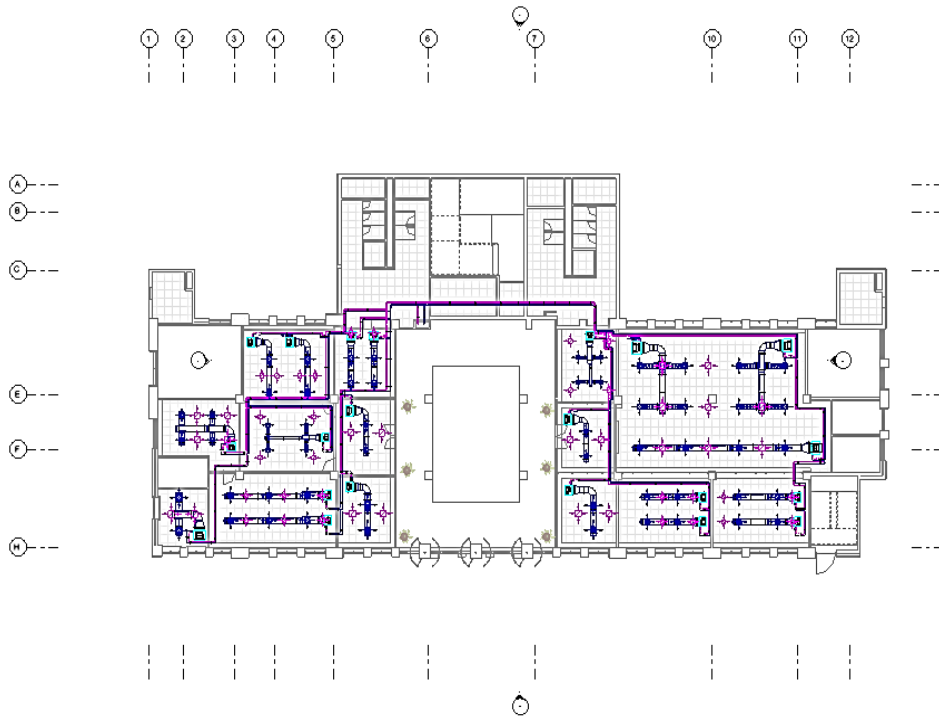
2. الشيلر (Chiller):

Supply Line:

Flexible Connection, Pressure Gauge, Thermostat Gauge, Balancing Valve, Motorized Butterfly Valve, Gate Valve, Bypass Gate Valve, Automatic Air Vent.

Return Line:

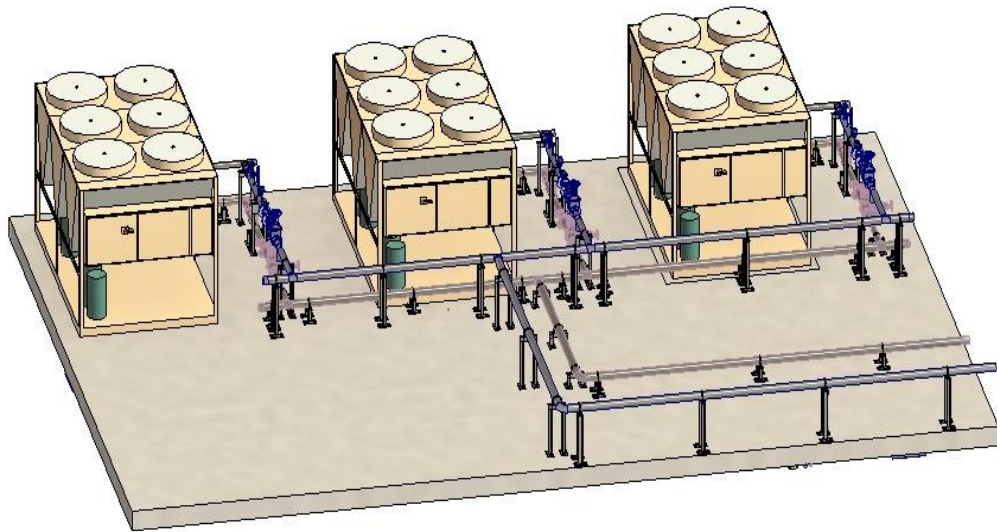
Automatic Air Vent Pressure Gauge Gate Valve, Bypass Gate Valve, Thermostat Gauge, Flexible Connection, Drain Connection.



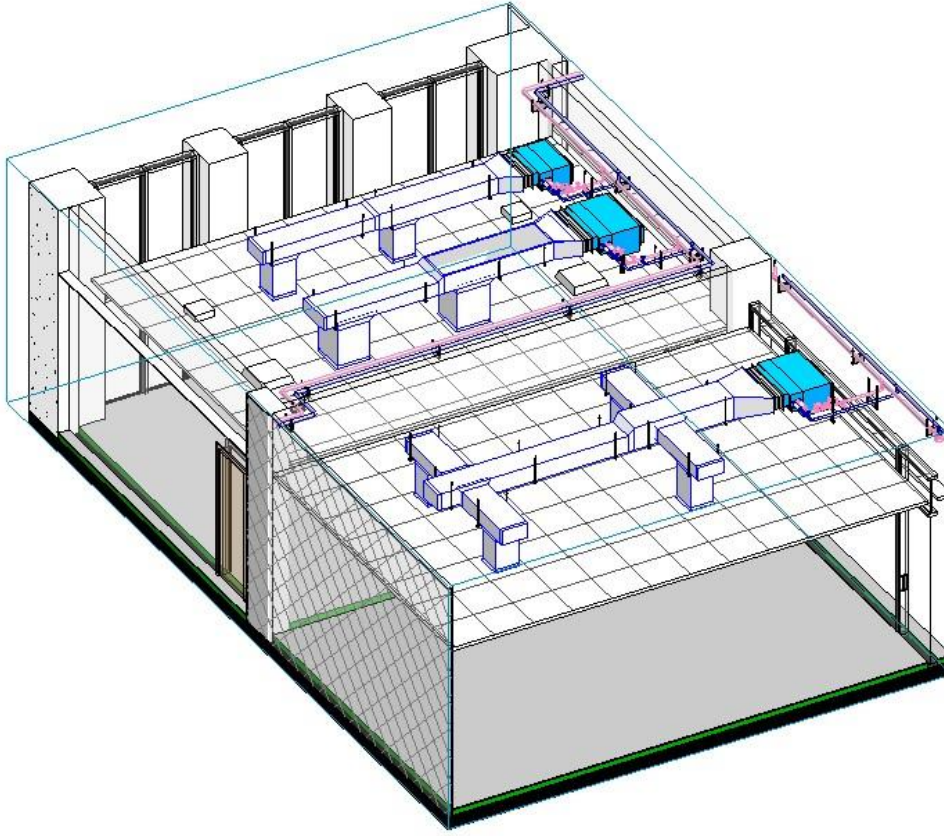
شكل (10-5) يوضح "مخطط تصميمي لتوزيع شبكة المياه المبردة في الطابق الأرضي"



شكل (11-5) يوضح مخطط تصميمي لتوزيع شبكة المياه المبردة في الطابق الأول



شكل (12-5) يوضح الشيلرات مع توصيل شبكة المياه



شكل (5-13) يوضح الوحدات (FCUs) مع توصيل شبكة المياه

5-5 إختيار المضخات (Selection of Pumps):

5-5-1 أهمية إختيار المضخة:

يُعتبر إختيار المضخة من العناصر الحيوية في تصميم شبكة المياه المبردة، حيث تؤثر بشكل مباشر على أداء النظام وكفاءته الطاقية. لذلك، تمت دراسة دقيقة لمتطلبات النظام قبل تحديد نوع المضخة المناسبة.

طرق توصيل المضخات في أنظمة المياه المبردة.

تُستخدم المضخات في أنظمة المياه المبردة لضمان تدفق الماء من وإلى مكونات النظام مثل وحدات مناولة الهواء (AHUs) ووحدات المروحة الملفية (FCUs) والمبرد (Chiller). ويتم توصيل المضخات داخل

الشبكة الهيدروليكية عادةً بإحدى الطريقتين:

1. التوصيل على التوالي (Series Connection):

تُوصَل المضخات الواحدة بعد الأخرى، مما يؤدي إلى تجميع قيم الـ Head (الارتفاع الكلي)، بينما يظل معدل التدفق (Flow Rate) ثابتاً. يُستخدم هذا الأسلوب في حالات نادرة عندما تكون هناك حاجة لتوفير ضغط عالٍ جداً في شبكة طويلة أو مرتفعة.

2. التوصيل على التوازي (Parallel Connection):

يتم توصيل المضخات جنباً إلى جنب، حيث يظل الـ Head ثابتاً وتُجمع معدلات التدفق. هذا النوع من التوصيل هو الأكثر شيوعاً في أنظمة المياه المبردة، لأنه يوفر مرونة في التشغيل، وإمكانية تشغيل عدد من المضخات حسب الحمل المطلوب، ويقلل من استهلاك الطاقة. طريقة التوصيل المستخدم في المشروع:

في هذا المشروع تم إختيار توصيل المضخات على التوازي، وهو الخيار الأكثر إستخداماً في أنظمة التكييف المركزية، وخصوصاً عند الحاجة إلى معدل تدفق مرتفع مع (Head) ثابت أو متوسط. هذا النوع من التوصيل يتيح أيضاً تشغيل مضخة أو أكثر حسب الطلب الفعلي للنظام، مما يعزز من كفاءة التشغيل ويطيل عمر المضخات.

5-5-2 الارتفاع الكلي (Total Head):

هو مقدار الطاقة (الجهـد) التي تحتاجها المضخة لضخ المياه في النظام، ويُعبر عنه عادة بوحدة القدم (ft) أو المتر. وهو يعكس الجهد اللازم لتغلب على مقاومة تدفق المياه داخل الأنابيب، والارتفاع العمودي للنظام، بالإضافة إلى الخسائر في المكونات المختلفة.

طريقة حساب الارتفاع الكلي (Total Head):

تم حساب (Total Head) بإستخدام شيت حسابي معتمد من مكتب دار الهندسة (Dar Al-Handasah)، حيث يأخذ في الاعتبار:

- طول الأنابيب.

- نوع الأنابيب.

- عدد المحابس والوصلات.

- الفقد في الضغط داخل ملفات التبريد (FCUs) والصمامات.

- فقد الضغط داخل الشيلر (Evaporator Head Loss).

المعادلة الرئيسية لحساب الارتفاع الكلي (Total Head):

$$\text{Total Head} = \text{Friction Loss} + \text{Static Head} + \text{Pressure Drop in Coils and Valves}$$

Friction Loss: الفقد الناتج عن احتكاك الماء بجدران الأنابيب.

Static Head: الفرق في الارتفاع بين المضخة وأعلى نقطة في النظام.

Pressure Drop in Coils and Valves: الفقد في الضغط بسبب مرور الماء خلال ملفات التبريد

والمحابس.

3-5-5 القيم التصميمية المعتمدة:

بناءً على الحسابات تم اعتماد القيم التالية:

- معدل التدفق التصميمي الناتج من الشيلر الواحد: 158,3 جالون لكل دقيقة (GPM).

- الارتفاع الكلي المطلوب: قدم 87,5 (ft).

4-5-5 إختيار نوع المضخة:

بعد تحديد القيم التصميمية، تم إختيار مضخة من نوع:

مضخة طرد مركزي ذات سحب طرفي (End Suction Centrifugal Pump) وهي من الأنواع الأكثر

إستخداما.

تم إستخدام أداة الإختيار من موقع (Grundfos) المختص بالمضخات.

تم استخدام أداة إختيار المضخة من الموقع الرسمي لشركة (Grundfos)، والتي تسمح بإدخال بيانات النظام (GPM, Total Head) لتحديد الطراز الأنسب.

تُعد شركة (Grundfos) من الشركات العالمية الرائدة في تصنيع المضخات، وتوفر حلولاً متقدمة وموثوقة في مجال أنظمة الضخ. وتتميز الشركة بتوفير أدوات رقمية احترافية لإختيار المضخة المناسبة وفقاً لمتطلبات النظام، مما يساهم في رفع كفاءة التشغيل وتوفير الطاقة.

يتم حساب الارتفاع من شيت دار الهندسة.



Design calculation sheet

Project no:	Date:	#####	Sheet no.:	1	of	1	Computed by:	
Subject: P-49th-1							Checked by:	
							Approved by:	
Pipe Material		Steel		Safety Factor		20%		
Pipe Sizing Criteria				Results				
Maximum Velocity		Maximum Friction		Head				
[m/s]	[ft/s]	[m/km]	[ft/100ft]	[m]	[ft]	[Bar]	[Psi]	
2.4	8.0	50.0	5.0	26.7	87.5	2.6	37.9	
Input								
Pipe Section	Equipment, Fitting or Accessory type	Flow [gpm]	Length [ft]	Diameter [in]	Velocity [ft/s]	Friction [ft/100ft]	Head Loss [ft]	
1	Pump Accessories	107.44	229	4	2.70	0.96	2.20	
2		107.44	33.1	4	2.70	0.96	0.32	
3		287.27	17.1	6	3.18	0.81	0.14	
4		287.27	4.2	6	3.18	0.81	0.03	
5		287.27	10.2	6	3.18	0.81	0.08	
6		287.27	7.5	6	3.18	0.81	0.06	
7		287.27	6.9	6	3.18	0.81	0.06	
8		287.27	1.7	6	3.18	0.81	0.01	
9		287.27	0.6	6	3.18	0.81	0.00	
10	Fan Coil Unit	104.77	14.4	4	2.64	0.92	0.13	
11		4.20	1591.4	1	1.56	1.66	26.42	
12		104.77	0.5	4	2.64	0.92	0.00	
13		51.61	36.3	2.5	3.46	2.68	0.97	
14		51.61	1.1	2.5	3.46	2.68	0.03	
15		51.61	0.7	2.5	3.46	2.68	0.02	
16		51.61	8.5	2.5	3.46	2.68	0.23	
17		51.61	1.1	2.5	3.46	2.68	0.03	
18		51.61	0.5	2.5	3.46	2.68	0.01	
19		31.41	2.4	2	2.99	2.53	0.06	
20		31.41	0.5	2	2.99	2.53	0.01	
21		31.41	6.3	2	2.99	2.53	0.16	
22		23.74	40.5	2	2.26	1.50	0.61	
23		23.74	5.2	2	2.26	1.50	0.08	
24		23.74	0.3	2	2.26	1.50	0.00	
25		16.07	11.7	1.5	2.53	2.49	0.29	
26		16.07	6.9	1.5	2.53	2.49	0.17	
27		16.07	12.0	1.5	2.53	2.49	0.30	
28		16.07	0.3	1.5	2.53	2.49	0.01	
29		8.40	7.6	1.25	1.80	1.58	0.12	
30		8.40	7.4	1.25	1.80	1.58	0.12	
31		8.40	4.5	1.25	1.80	1.58	0.07	
32		8.40	2.4	1.25	1.80	1.58	0.04	
33		8.40	6.2	1.25	1.80	1.58	0.10	
34		4.20	10.7	1	1.56	1.66	0.18	

شكل (14-5) يوضح الشكل حساب الارتفاع (Head) من شيت دار الهندسة

Submittal Data

PROJECT:	Administrative Office Building	UNIT TAG:	QUANTITY:
REPRESENTATIVE:		TYPE OF SERVICE:	Hvac Service
ENGINEER:	Salah El-deen Tarig	SUBMITTED BY:	DATE:
CONTRACTOR:		APPROVED BY:	DATE:
		ORDER NO.:	DATE: 3/27/2025

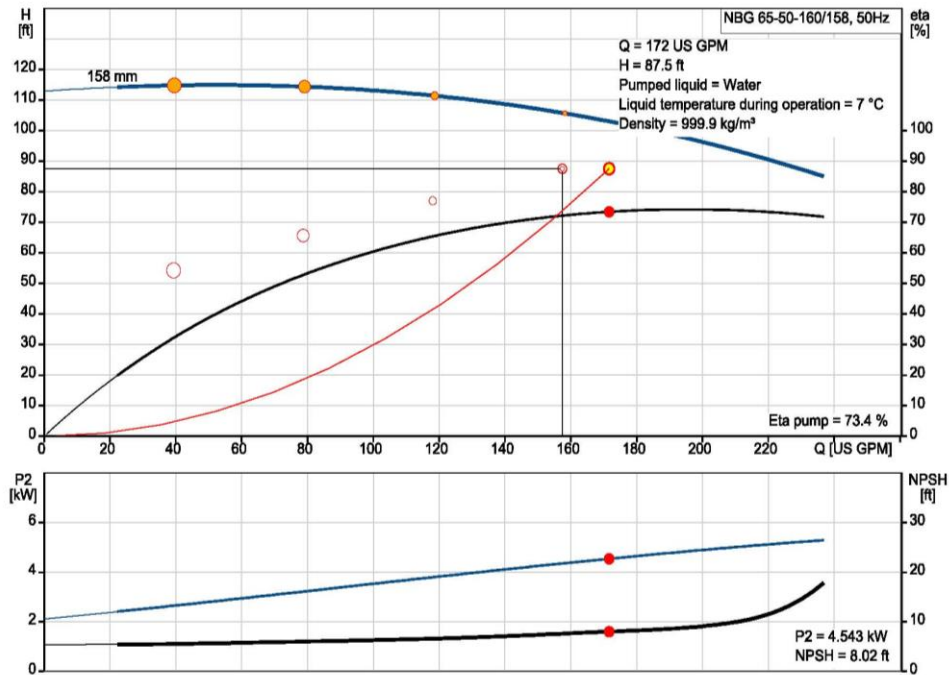


NBG 65-50-160/158 AAFE2CESBQQELW1

Close-coupled pumps according to ISO 2858

Note! Product picture may differ from actual product.

Conditions of Service	Pump Data	Motor Data
Flow: 172 US GPM	Liquid temperature range: -25 .. 120 °C	Rated power - P2: 5.5 kW
Head: 87.5 ft	Maximum ambient temperature: 40 °C	Rated voltage: 380-415/660-690 V
Efficiency: 65.9 %	Shaft seal: BQQE	Mains frequency: 50 Hz
Liquid: Water	Product number: 99796349	Enclosure class: IP55
Temperature: 7 °C		Insulation class: F
NPSH required: 8.02 ft		Motor protection: NONE
Specific Gravity: 1.002		Motor type: WEG
		Eta 1/1: 89.7-90.1 %



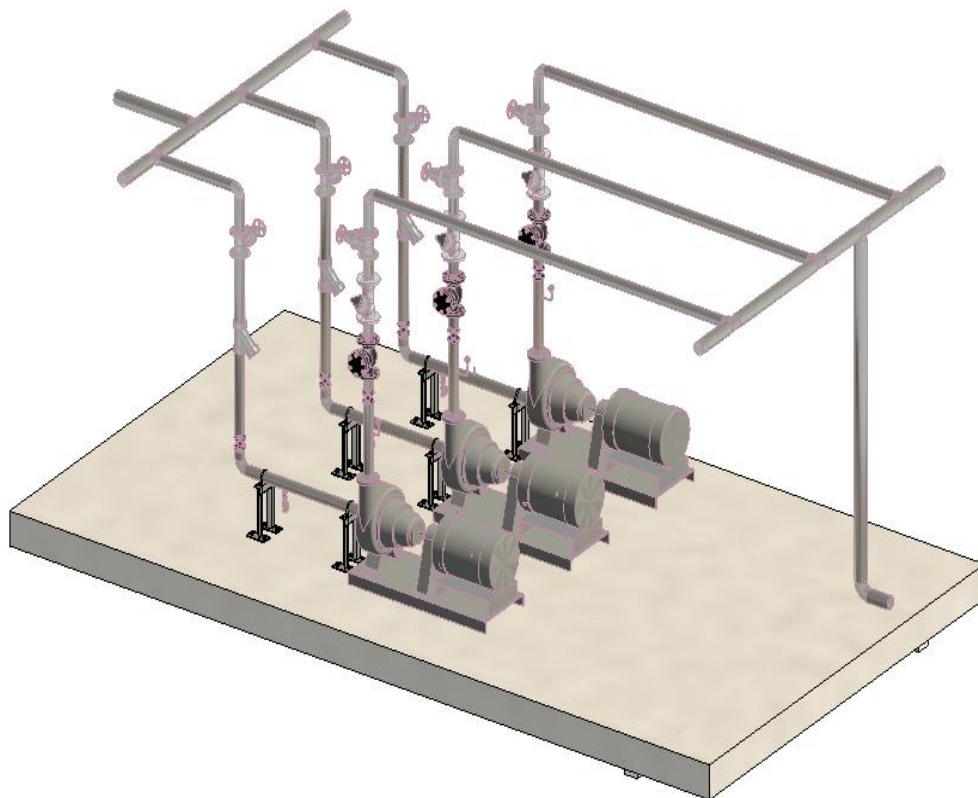
شكل (15-5) يوضح الشكل المضخة المختارة من موقع (Grundfos)

بعد الإدخال، أوصى الموقع باستخدام مضخة بالموصفات التالية:

–Flow Rate (GPM) = 172 GPM.

–Head(ft) = 103 ft.

وجد ان المشروع يحتاج لمضختين بالمواصفات المذكورة بالإضافة الى مضخة إحتياطية للعمل في حالة توقف احدى المضخات عن العمل.



شكل (5-16) يوضح الشكل المضخات (Pumps) مع توصيل شبكة المياه

6-5 إختيار خزان التمدد (Selection of Expansion Tank):

1-5-6 أهمية خزان التمدد :

يُستخدم خزان التمدد في أنظمة المياه المبردة للتعويض عن التغير في حجم المياه الناتج عن التغير الحراري، حيث يحافظ على الضغط ضمن الحدود الآمنة ويمنع تلف مكونات الشبكة.

2-5-6 نوع الخزان المستخدم :

تم إستخدام خزان تمدد مغلق من نوع (Diaphragm - Closed Expansion Tank) ، والذي يحتوي على غشاء داخلي مرن يفصل بين الماء والغاز، ويُركب عادةً على خط الرجوع قبل المضخة ويركب معه فاصل الهواء (Air Separator).

3-5-6 طريقة الحساب والاختيار:

تم حساب حجم التمدد بإستخدام شيت هندسي من دار الهندسة .



Design calculation sheet

Project no.	Date:	Sheet no.: 1 of 1	Computed by:
Subject:			Checked by:
Diaphragm type Closed Expansion Tank sizing			Approved by:

Sizing is based on ASHRAE 200 HVAC Systems & Equipment, Chap 12, Hydronic Heating & Cooling System Design

$$V_t = V_s \times \frac{[(v_2/v_1) - 1] - 3 \times \alpha \times \Delta T}{1 - (P_1/P_2)}$$



V _t	= Volume of expansion tank	(gal)			
V _s	= Volume of water in system	(gal)	=	1,584	
t ₁	= Lower temperature	(°F)	=	44	(6.7 °C)
t ₂	= Higher Temperature	(°F)	=	110	(43.4 °C)
P _a	= Atmospheric Pressure	(psia)	=	14.7	
P _i	= Initial Fill or minumium Pressure at tank	(psig)	=	10	(0.7 bars)
P ₁	= Absolute Pressure at lower temperature (P _i + P _a)	(psia)	=	24.7	
P _{max}	= Maximum System Allowable Pressure	(psig)	=	183.92	(12.7 bars)
P ₂	= Absolute Pressure at higher temperature (P _{max} + P _a)	(psia)	=	198.62	
v ₁	= Specific volume of water at lower temperature	(ft ³ /lb)	=	0.01602	
v ₂	= Specific volume of water at higher temperature	(ft ³ /lb)	=	0.01617	
		v ₂ / v ₁	=	1.009%	
α	= Linear Coefficient of thermal expansion for steel	(in/in.°F)	=	6.5E-06	
V _t	= 1584 x $\frac{[(0.01617 / 0.01602) - 1] - (3 \times 6.5E-06 \times (110 - 44))}{1 - (24.7 / 198.62)}$				
V _t	= 15 gal	= 57 liters			

Selected Tank Capacity: 1 Tank 500 Liters

Note to user: Selection shall be based upon actual catalogue data as available from various manufacturers.

شكل (5-17) يوضح حساب حجم خزان التمدد من شيت دار الهندسة

المعادلة المستخدمة لحساب حجم خزان التمدد:

تم حساب الحجم بإستخدام المعادلة المعتمدة التالية والمأخوذة من دليل تصميم أنظمة المياه المبردة:

$$V_T = V_S \times ((v_2 / v_1) - 1 - 3\alpha\Delta t) / (1 - (P_1 / P_2))$$

شرح مكونات المعادلة:

V_T: حجم خزان التمدد المطلوب (Liter,Gallons).

V_S: الحجم الكلي للمياه في النظام (Liter,Gallons).

(v₂ / v₁): نسبة تغير الحجم النوعي للماء بسبب درجة الحرارة.

α: معامل التمدد الحجمي للماء.

Δt: الفرق بين أقصى وأدنى درجات حرارة التشغيل.

P₁: أدنى ضغط تشغيلي في النظام (عادةً ضغط ما قبل الشحن للخران).

P₂: أعلى ضغط تشغيلي في النظام.

النتائج من شيت دار الهندسة هي:

Liter 57 = V_T

بناءً على الناتج، تم إختيار خزان التمدد من الموقع الإلكتروني لشركة Wessels المتخصصة في تصنيع خزانات التمدد.

يوفر الموقع أدوات إختيار حسب نوع النظام والحجم لتحديد النموذج الأنسب.

يتم إختيار خزان التمدد من موقع شركة (Wessles).

		SINCE 1908 wessels company	
		SUBMITTAL NTA-SERIES HVAC EXPANSION TANKS	
		Models: NTA-15 to NTA-280 Submittal Sheet No. A-1004C Rev. 4 4/6/2020	
Job Name		Submitted By	Administrative Office Billing
Location		Approved By	
Engineer	Salah El-deen Tarig	Order No.	
Contractor		Notes	
Sales Rep.			

Description:

Wessels NTA series are ASME fixed diaphragm type pre-charged HVAC expansion tanks. They are designed to absorb the expansion forces and control the pressure in heating / cooling systems. The system's expanded water (fully compatible with water / glycol mixtures) is contained in a heavy-duty diaphragm that prevents tank corrosion and waterlogging problems. All NTA expansion tanks can be installed vertically or horizontally.

Construction:

Shell: Carbon Steel
Heads: Carbon Steel
Exterior: Red Oxide Primer
Interior: Heavy-duty Butyl

Design Parameters:

Maximum Design Pressure:
150 PSIG (NTA-15 thru NTA-60)*
125 PSIG (NTA-80 thru NTA-280)*
Temperature Range: -20°F to 240°F
*200 and 250 PSIG available

Model Number	Part Number	Tank Volume (Gallons)	Acceptance Volume (Gallons)	Tagging Information	Quantity
NTA-15	19010015	7.8	6.3		
NTA-20	19010020	11	8.8		
NTA-40	19010040	25	20.2		
NTA-60	19010060	35	28		
NTA-80	19010080	45	36		
NTA-100	19010100	60	48.5		
NTA-120	19010120	70	56.5		
NTA-144	19010144	80	65		
NTA-180	19010180	90	73		
NTA-200	19010200	115	93		
NTA-240	19010240	140	113.5		
NTA-260	19010260	158	128		
NTA-280	19010280	211	171		

Typical Specification

Furnish and install, as shown on plans, a _____ gallon _____" diameter X _____" tall pre-charged HVAC expansion tank with a fixed heavy-duty butyl diaphragm. The tank shall be equipped with a NPT system connection, and a 0.302"-32 charging valve connection (standard fire valve) to facilitate the on-site charging of the tank to meet system requirements. The tank must be constructed in accordance with most recent addendum of Section VIII Division 1 of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code.

Each air separator shall be Wessels model number NTA-_____ or approved equal.

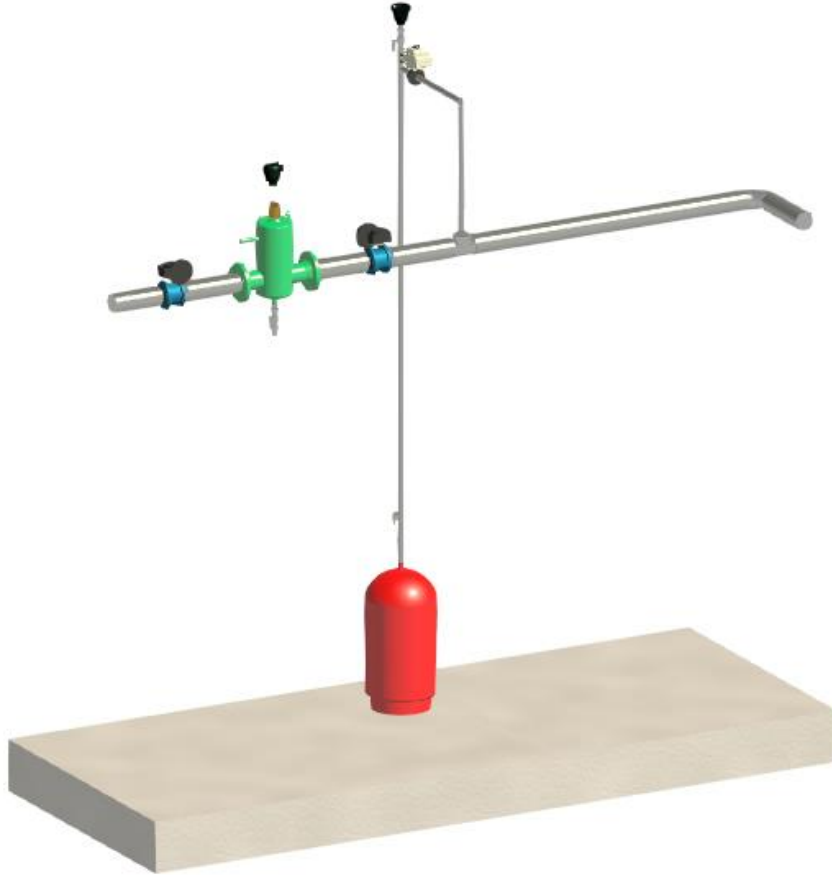


شكل (18-5) يوضح خزان التمدد من موقع شركة (Wessles)

4-5-6 مواصفات خزان التمدد المختار:

جدول (5-6) يوضح مواصفات خزان التمدد المختار من الموقع:

Item	Value
Type	NTA-40 (ASME Tied Diaphragm Type)
Part Number	19010241
Tank Volume	Gallons 25
Acceptance Volume	Gallons 20.2
Bladder Type	Replaceable Diaphragm
Pre-Charge Pressure	PSIG 40
Maximum Working Pressure	PSIG 125
System Connection	Inch 1

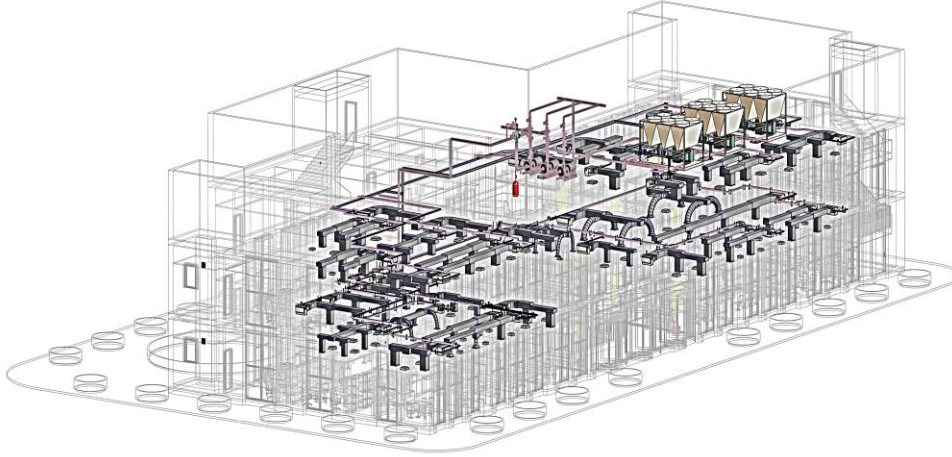


شكل (4-19) يوضح خزان التمدد وفاصل الهواء

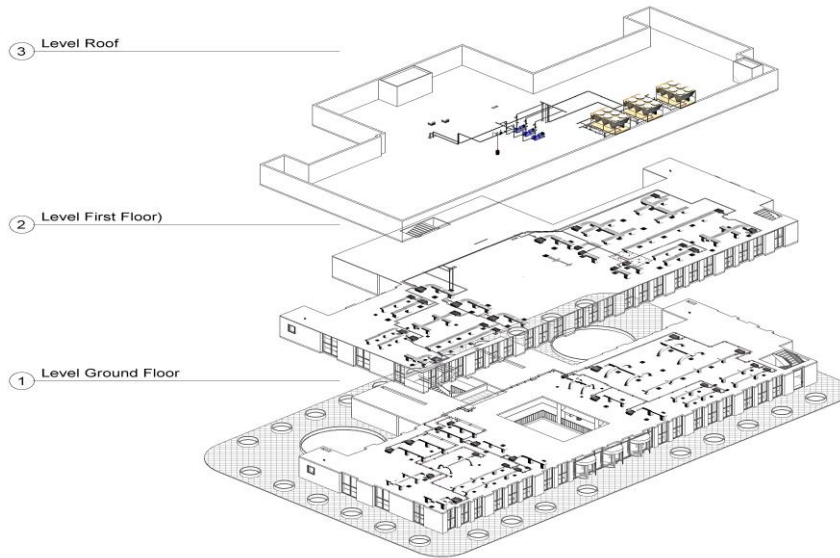
7-5 نماذج ثلاثية الأبعاد لنظام المياه المبردة

(3D Model of The Chilled Water system)

الأشكال ادناه توضح نماذج ثلاثية الابعاد لنظام المياه المبردة:



شكل (20-5) يوضح نموذج ثلاثي الأبعاد (3D) لنظام المياه المبردة



شكل (21-5) يوضح نموذج ثلاثي الأبعاد (3D) لنظام المياه المبردة

الباب السادس

تصميم نظام طرد الهواء (Exhaust Air System Design)

مراحل تصميم نظام طرد الهواء:

1. إختيار مراوح طرد الهواء .

2. تصميم شبكة مجاري الهواء وإختيار مخارج الهواء.

1-6 إختيار مراوح طرد الهواء (Selection Exhaust Air Fan):

تم اعتماد طريقة CFM/Person كما تم ذكره سابقا لتحديد معدل التهوية المطلوب لكل منطقة، وفقاً لعدد الأفراد المقدر إستخدامها للمكان. وبعد حساب التهوية وجد ان كمية تدفق الهواء :

– الطابق الأول: CFM 2050

– الطابق الثاني: CFM 2050

– الإجمالي: CFM 4100

1-6-1 نوع المراوح المستخدمة في المشروع :

– نوع المراوح: مزيج من (Wall Mountend Fan , Rooftop Exhaust Fans).

– التركيب: وحدات السقف (Roof Top Fan) تركيب على قواعد خاصة مع عزل اهتزازي (Canvas)، والوحدات الحائطية (Wall Mounted Fan) ويتم تثبيتها على الحائط.

الجدول (1-6) يوضح نوع المراوح المستخدمة في الطابق الأرضي:

Name	Fan Type	CFM
Toilet 1-1	Roof Top Fan	2000
Toilet 1-3		
Toilet 1-2		
Toilet 1		
Toilet 2-2		
Toilet 2-1		
Toilet 2-3		
Privet toilet 1		
Toilet 2		
Privet toilet 2	Wall Mounted Fan	50

الجدول (2-6) يوضح أنواع المراوح المستخدمة في الطابق الأول:

Name	Fan Type	CFM
Toilet 1-1	Roof Top Fan	2000
Toilet 1-3		
Toilet 1-2		
Toilet 1		
Toilet 2-2		
Toilet 2-1		
Toilet 2-3		
Privet toilet 1		
Toilet 2		
Privet toilet 2	Wall Mounted Fan	50

2-1-6 معايير إختيار المراوح:

- Air Flow Rate (CFM): كمية الهواء المطلوبة للمنطقة.

- External Static Pressure (ESP) (in.w.g): الضغط الإستاتيكي الخارجي.

يتم إختيار الوحدات من كتالوج شركة (CAPATIVEAIR):

الشكل يوضح وحدة (Roof Top Fan) المختارة من كتالوج شركة (CAPATIVEAIR):



BHP (Brake Horsepower): The actual power developed by a motor as measured by the force applied to a shaft or flywheel.

Performance		0.00" sp	0.25" sp	0.50" sp	0.75" sp	1.00" sp	1.25" sp	1.50" sp	1.75" sp	2.00" sp
MODEL	CFM	RPM Sone/BHP	RPM Sone/BHP	RPM Sone/BHP	RPM Sone/BHP	RPM Sone/BHP	RPM Sone/BHP	RPM Sone/BHP	RPM Sone/BHP	RPM Sone/BHP
NCA8FA	1000	1038 4.7 / 0.07	1236 6.1 / 0.13	1397 7.6 / 0.20	1534 11.6 / 0.26	1658 12.3 / 0.33	1779 13.1 / 0.41	1898 13.2 / 0.49		
NCA8FA	1200	1246 6.1 / 0.13	1415 9.0 / 0.20	1562 13.0 / 0.27	1690 14.0 / 0.35	1805 14.8 / 0.43				
NCA8FA	1400	1454 11.6 / 0.20	1598 13.9 / 0.28	1735 15.3 / 0.37	1854 16.4 / 0.45					
NCA8FA	1600	1681 15.0 / 0.30	1788 16.3 / 0.39	1912 16.0 / 0.49						
NCA8FA	1800	1869 17.8 / 0.43								
NCA10FA	1400	896 7.2 / 0.09	1017 9.1 / 0.16	1135 11.5 / 0.23	1252 12.1 / 0.31	1367 14.4 / 0.40	1480 15.7 / 0.50			
NCA10FA	1600	1024 9.9 / 0.14	1131 11.9 / 0.21	1235 13.9 / 0.29	1338 14.9 / 0.38	1439 15.9 / 0.46				
NCA10FA	1800	1152 13.1 / 0.20	1247 14.6 / 0.28	1340 15.4 / 0.37	1432 16.6 / 0.46					
NCA10FA	2000	1280 14.8 / 0.28	1366 17.1 / 0.36	1450 17.9 / 0.46						
NCA10FA	2200	1408 18.7 / 0.37	1486 19.4 / 0.46							
NCA10FA	2400	1538 21 / 0.48								
NCA14FA	1600	700 7.1 / 0.09	779 7.8 / 0.14	911 9.4 / 0.23	1034 9.6 / 0.32	1161 12.6 / 0.43	1263 14.7 / 0.55	1371 15.3 / 0.69	1475 16.3 / 0.83	1573 17.6 / 0.99
NCA14FA	1800	719 8.1 / 0.10	844 9.6 / 0.18	964 10.8 / 0.27	1077 10.8 / 0.37	1184 12.5 / 0.49	1288 14.8 / 0.61	1389 15.4 / 0.74	1486 16.5 / 0.89	

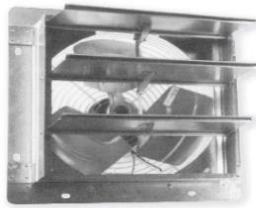
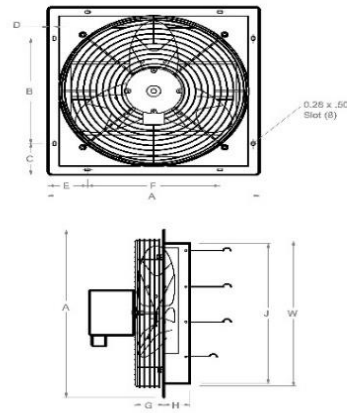
شكل (1-6) يوضح كتالوج شركة (CAPATIVEAIR)

الجدول (3-6) يوضح خصائص مروحة (Roof Top Fan) المختارة من الكتالوج:

MODEL	Motor (HP)	Air Flow Rate (CFM)	Static Pressure (in.w.g)	Fan Speed (RPM)
NCA10FA	.46	2000	.5	1450

CEPRSM Integral Shutter-Direct Drive

Axial Wall Mount Exhaust Fans



Features & Benefits

- OSHA rear guard standard
- Totally enclosed 115 volt motor
- Built in shutter
- Completely assembled for easy installation

Certifications

Models CEPRSM7 thru CEPRSM24 are UL Listed and are in compliance with UL 705 (Electrical) Standards.

Measurements

MODEL	A	B	C	D	E	F	G	H	J	Shut Opening	Weight (lbs)
CEPRSM7	11 1/8	4	3 9/16	9 1/8	3 5/8	4	5	2 3/8	5	8 1/2	9
CEPRSM10	13 1/8	5	3 9/16	9 1/8	3 5/8	5	6	2 3/8	10	10 1/2	10
CEPRSM12	15 1/8	6	3 9/16	9 1/8	3 5/8	6	7	2 3/8	12	13	12
CEPRSM16	19 1/8	12	3 9/16	9 1/8	3 5/8	12	9	2 3/8	16	17	15
CEPRSM18	21 1/8	14	3 9/16	9 1/8	3 5/8	14	11 7/8	3	18	18 1/2	18
CEPRSM24	27 1/8	20	3 9/16	9 1/8	3 5/8	20	12 5/8	3	24	25	20

BHP (Brake Horsepower): The actual power developed by a motor as measured by the force applied to a shaft or flywheel.

Performance			Static Pressure in inches W.G.											
MODEL	RPM	Tip Speed	Motor HP	0.000 CFM	0.025 CFM	0.050 CFM	0.075 CFM	0.100 CFM	0.125 CFM	0.150 CFM	0.175 CFM	0.200 CFM	0.225 CFM	0.250 CFM
CEPRSM7	1730	3' 70	1/30	121	111	88	84	62						
CEPRSM10	1550	4008	1/30	810	533	421	390	357	318	247	268			
CEPRSM12	1550	4889	1/30	815	763	708	653	587	501	419	317			
CEPRSM16	1525	6398	1/20	1216	1120	1033	953	881	755					
CEPRSM18	1075	5066	1/15	1876	1684	1554	1323	949	751	636	500			
CEPRSM24	1075	5734	1/4	3212	2976	2676	2464	2108	2018	1632	1649	1444	1233	1027

شكل (2-6) يوضح كتالوج شركة (CAPATIVEAIR)

الجدول (4-6) يوضح خصائص مروحة (Wall Mounted Fan) المختارة من الكتالوج:

MODEL	Motor (Hp)	Air Flow Rate (CFM)	Static Pressure (in.w.g)	Fan Speed (RPM)
CEPRSM7	1/30	62	.125	1730

2-6 تصميم شبكة مجاري الهواء وإختيار مخارج الهواء

(Air Duct Design and Air Outlet Selection)

2-6-1 مبادئ تصميم نظام مجاري الهواء:

نظام مجاري الهواء (Duct System) هو الجزء المسؤول عن توزيع الهواء المُكيف داخل المباني. تصميمه الجيد يؤثر بشكل مباشر على راحة المستخدمين وكفاءة النظام واستهلاك الطاقة. ويرتكز تصميم المجاري على المبادئ التالية:

1. تحديد الحمل الحراري لكل مساحة باستخدام برامج تحليل الأحمال مثل HAP.
2. تحديد معدل تدفق الهواء (CFM) بناءً على الحمل الحراري المُحدد.
3. إختيار سرعة الهواء المناسبة لتقليل مستوى الضوضاء والفاقد في الضغط:
 - رئيسية: 1000-1500 قدم/دقيقة.
 - فرعية: 600-900 قدم/دقيقة.
4. إختيار نوع المجاري الهوائية (مستطيلة أو دائرية) حسب المتطلبات المعمارية والمساحات المتوفرة.
5. ضبط أبعاد المجاري بحيث تحقق تدفقاً منتظماً للهواء وتقليلًا للفقد في الضغط.
6. الالتزام بالمعايير العالمية مثل (ASHRAE, SMACNA) لضمان الأداء والسلامة.

2-6-2 طرق تصميم مجاري الهواء:

هناك ثلاث طرق رئيسية مستخدمة في تصميم مجاري الهواء، تختلف باختلاف حجم المشروع وتعقيده:

1. طريقة الفقد في الاحتكاك الثابت (Constant Friction Method):
 - تعتمد على إختيار قيمة ثابتة لفقد الضغط الناتج عن الاحتكاك لكل 100 قدم من المجرى.
 - المميزات: سهلة وسريعة، شائعة في المشاريع السكنية والتجارية.
2. طريقة استعادة الضغط الساكن (Static Regain Method):
 - تهدف إلى تساوي الضغط الساكن في كل الفروع النهائية لضمان توزيع هواء متوازن.
 - تُستخدم في الأنظمة الكبيرة والمعقدة مثل المطارات أو مراكز التسوق.
3. طريقة التوازن في الاحتكاك (Equal Friction Method):
 - تعتمد على جعل الفقد في الضغط الناتج عن الاحتكاك متساوياً في جميع الفروع.
 - تتطلب تعديل أطوال وأقطار المجاري لتحقيق التوازن.

الطريقة المعتمدة في المشروع:

في هذا المشروع تم استخدام طريقة الفقد في الاحتكاك الثابت كخيار تصميم رئيسي، مع تحديد قيمة الفقد في الضغط على النحو التالي:

0.033 in.w.g/100 ft

سبب إختيار هذه القيمة:

- قيمة متوسطة مناسبة لمشاريع التهوية العامة.
- توازن بين حجم المجاري وسرعة الهواء ومستوى الضجيج.
- تحقق كفاءة مقبولة في استهلاك الطاقة.

3-2-6 إستخدام برنامج (Duct Sizer):

تم إستخدام برنامج (Carrier Duct Sizer) كما تم ذكره سابقا في تصميم مجاري الهواء في نظام المياه المبردة. ايضا سيتم حساب أبعاد مجاري الهواء لنظام طرد الهواء بنفس البرنامج بدقة. يتيح هذا البرنامج إدخال المتغيرات المختلفة ويحسب القيم المجهولة تلقائياً.

3-2-6 خطوات الإستخدام:

1. إدخال كمية الهواء المطلوبة (CFM) لكل فراغ.
2. تحديد نوع المجرى (مستطيل أو دائري).
3. إدخال قيمة الفقد في الاحتكاك (0.033 in.wg/100 ft).
4. الحصول على أبعاد المجرى وسرعة الهواء الناتجة.

3-2-4 ملاحظات تصميمية لمجاري الهواء:

- تم مراجعة السرعات الناتجة للتأكد من أنها ضمن الحدود المسموحة وفق معايير (ASHRAE).
 - تم تجنب السرعات العالية لتقليل الضوضاء والاهتزازات.
- نوع مجاري الهواء المستخدمة:

تم إستخدام مجاري هواء مستطيلة (Rectangular Ducts) من مادة (Galvanized Steel) في هذا المشروع وذلك للأسباب التالية:

1. المرونة في التثبيت ضمن الأسقف المستعارة ذات الارتفاع المحدود.
 2. إمكانية تعديل العرض والارتفاع مع الحفاظ على نفس مساحة المقطع العرضي.
 3. الامتثال للمتطلبات المعمارية وتجنب تعارضات الموقع.
- كما تم إستخدام مجاري الهواء المرنة (Flexible Ducts) في هذا المشروع عند نقاط التوصيل النهائية لتسهيل التركيب وتقليل الإهتزازات وتثبيت المجاري بإحكام بإستخدام (Hanger), بالإضافة الى تركيب مخمدات التحكم من نوع (Volume Control Damper), وتركيب عزل حراري من نوع (Fiberglass) وعزل صوتي عند مخرج وحدة (Roof Top Fan).
- الاعتبارات التصميمية للمجاري المستطيلة طبقا للكود:

- الحفاظ على نسبة مناسبة بين العرض والارتفاع (مثل 1:4) لتقليل الضوضاء والفاقد في الضغط.
- استخدام مواد عازلة حراريًا وصوتيًا.
- دعم المجاري جيدًا لتقليل الاهتزازات ومنع فقد الضغط عند التمدد.
- طول المرن لا يتجاوز 1.5 متر لتقليل فقد الضغط.
- تثبيت المجاري بإحكام بشكل مستقيم قدر الإمكان، وتجنب الإحناءات الحادة.
- دعم المجاري بانتظام كل 1,2 متر لمنع الترهل.

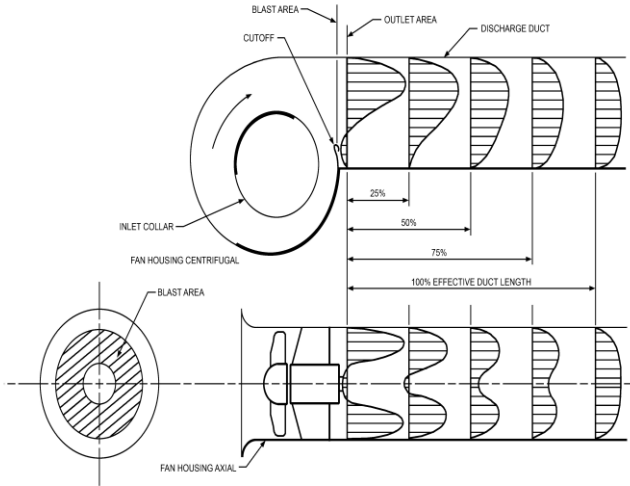
6-2-5 طول مجرى الهواء الفعال (Effective Duct Length):

يُعتبر طول مجرى الهواء الفعال مكونًا رئيسيًا في حساب الفقد في الضغط ضمن نظام التهوية، ويشمل هذا الطول مجموع أطوال القطاعات المستقيمة بالإضافة إلى الأطوال المكافئة للقطع الميكانيكية مثل الأكواع والمخفضات والوصلات المختلفة. يتم الاعتماد على الجداول الخاصة بالأطوال المكافئة حسب نوع المكون الهوائي.

يُستخدم هذا الطول في تحديد الفقد الكلي في الضغط لضمان كفاءة توزيع الهواء والتأكد من ملائمة الضغط الاستاتيكي الخارجي المطلوب.

21.14

2021 ASHRAE Handbook—Fundamentals



Fan Outlet Conditions. Fans intended primarily for duct systems are usually tested with an outlet duct in place (AMCA Standard 210). Figure 13 shows the changes in velocity profiles at various distances from the fan outlet. For fully-developed flow, the duct, including transition, must meet the requirements for 100% effective duct length [L_e (Figure 13)], which is calculated as follows:

For $V_o > 2500$ fpm,

$$L_e = \frac{V_o \sqrt{A_o}}{10,600} \quad (35)$$

For $V_o \leq 2500$ fpm,

$$L_e = \frac{\sqrt{A_o}}{4.3} \quad (36)$$

where

V_o = duct velocity, fpm

L_e = effective duct length, ft

A_o = duct area, in²

شكل (6-3) يوضح "طول مجرى الهواء الفعال"

حساب طول مجرى الهواء الفعال (Effective Duct Length):
 في المشروع تم حساب الطول الفعّال لكل شبكة توزيع هواء والتأكد من أن القيم تتوافق مع القيم التصميمية المقبولة حسب دليل (ASHRAE).
 يتم حساب طول مجرى الهواء الفعال (Effective Duct Length) عن طريق شيت هندسي.



Effective Duct Length Calculation

Remark

Please Enter Duct Width and Depth to calc. Area of Duct

To Calculate Area of Duct

Input >>>	Width of Duct (in)	Depth of Duct (in)
	20	8

Output>> Ao = 160 in²

For Vo > 2500 FPM

Required Input Data

Vo =

Output Data

Le =	0	Ft
Le =	0	M

Where

Vo: Duct Velocity (FPM)

Ao: Duct Area (in²)

Le: Effective Duct Length (ft)

To Calculate Area of Duct

Input >>>	Width of Duct (in)	Depth of Duct (in)
	20	8

Output>> Ao = 160 in²

For Vo <= 2500 FPM

Output Data

Le =	2.941653637	Ft
Le =	0.897204359	M

Where

Vo: Duct Velocity (FPM)

Ao: Duct Area (in²)

Le: Effective Duct Length (ft)

شكل (4-6) يوضح نموذج لحساب طول مجرى الهواء الفعال

6-2-6 الضغط الاستاتيكي الخارجي (ESP - External Static Pressure):

ايضا تم حساب مقدار الضغط الذي يجب على المروحة توفيره لتجاوز جميع الفواقد في الضغط عبر نظام توزيع الهواء، ويشمل:

- فقد الضغط في مجاري الهواء (Duct Friction Losses).
- الفقد الناتج عن المكونات الهوائية (.Elbows, Tees, Dampers, etc).
- الفقد في الفلاتر، ملفات التبريد، والمخارج الهوائية (Coils, Filters, Diffusers).

تم حساب الفقد الإستاتيكي الخارجي (ESP) لإحدى الوحدات (Roof Top Fan) ولديهما نفس الخصائص التصميمية عن طريق شيت هندسي.

[illegible]

SPECIAL FITTING PRESSURE DROPS			
DESCRIPTION	PD (PA)	QTY	TOTAL
MACHINE CONNECTOR	15		0
SUPPLY SQUARE DIFFUSER	15		0
RETURN SQUARE DIFFUSER	20		0
FLEXIBLE	5	1	0
EXHAUST AIR GRILLE	50		0
RETURN AIR GRILLE	7.5		0
DOOR GRILLE	10		0
INSECT SCREEN	10		0
PLANE FILTER	80		0
OIL BATH FILTER	200		0
HEPA FILTER	125		0
HOOD FILTER	100		0
ANTI AEROSOL FILTER	20		0
EXHAUST VALVE	70	1	70
FRESH AIR LOUVER	25		0
SAND TRAP LOUVER	75		0
SOUND ATTENUATOR	80		0
TOTAL			75,000

INPUT DATA	
AIR SYSTEM TYPE	EXHAUST AIR
AIR FLOW UNIT	CFM
EQUIPMENT TAG	Roof Top Fan
FACTOR OF SAFETY	10%
AIR DUCT MATERIAL	Galvanized steel old average
AIR TEMPERATURE	15
DUCT ABSOLUTE ROUGHNESS	0.15
AIR DENSITY	1.225

113

- تم الرجوع إلى (ASHRAE Standards) للتأكد من مطابقة السرعات، والضغوط، ومستويات الضجيج المسموح بها.

8-2-6 إختيار مخارج الهواء:

تم في هذا المشروع إستخدام مخارج الصمام القرصي (Disk Valve Diffusers) فقط، نظراً لمناسبتها للفراغات المختلفة وسهولة دمجها مع نظام الأسقف المستعارة. وهو الأكثر إستخداماً في المناطق الصحية. التحقق والمعايير التصميمية لإختيار مخارج الهواء:

معدل تدفق الهواء (CFM): تم إختيار حجم المخرج بما يتناسب مع كمية الهواء المطلوبة لكل مساحة. زاوية التغطية والانتشار: تضمن هذه المخارج توزيع الهواء في عدة إتجاهات او مايسمى بالتوزيع الشعاعي (radial Distribution)، مما يحسن التهوية.

- الضوضاء: تم إختيار مخارج ذات مستوى ضوضاء منخفض ($NC < 30$) للحفاظ على بيئة مريحة وهادئة.

التكامل المعماري: تتوافق هذه المخارج مع تصميم الأسقف المستعارة دون التأثير على الشكل الجمالي. - التحكم في التدفق: تم تزويد المخارج بمخمدات تحكم (Volume Dampers) لضبط كمية الهواء وتحقيق التوازن.

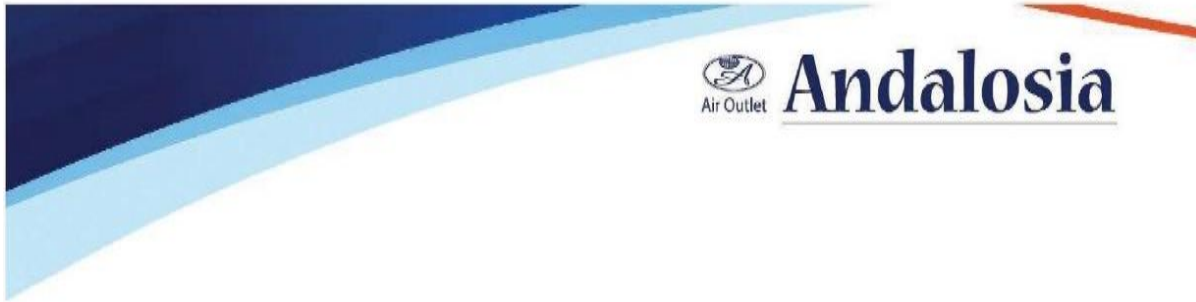
الجدول (5-6) يوضح مقاس مخارج الهواء من كاتالوج شركة الأندوليسية للطابق الأرضي:

Name	Fan Type	Air Terminal Size (ft)
Toilet 1-1	Roof top fan	6
Toilet 1-3		
Toilet 1-2		
Toilet 1		
Toilet 2-2		
Toilet 2-1		
Toilet 2-3		
Privet toilet 1		
Toilet 2		
Privet toilet 2	Mounted fan	Non-Ducted

الجدول (6-6) يوضح مقاس مخارج الهواء من كاتالوج شركة الأندوليسية للطابق الأول :

Name	Fan Type	Air Terminal Size (ft)
Toilet 1-1	Roof top fan	6
Toilet 1-3		
Toilet 1-2		
Toilet 1		
Toilet 2-2		
Toilet 2-1		
Toilet 2-3		
Privet toilet 1		
Toilet 2		
Privet toilet 2	Mounted fan	Non-Ducted

شكل يوضح "إختيار مخارج الهواء من شركة الأندوليسية:



PLASTIC PERFORMANCE DATA

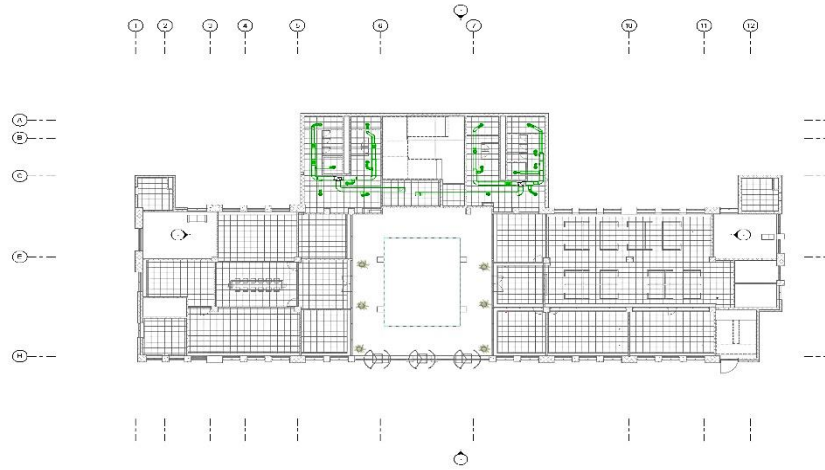
Nominal Neck Size	Neck Velocity, fpm	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600
	Velocity Pressure	.010	.016	.022	.031	.040	.050	.062	.090	.122	.160
6" Dia.	Total Pressure	.034	.053	.076	.103	.134	.169	.209	.300	.407	.531
	Airflow, cfm	79	98	118	137	157	177	196	236	275	314
	Throw	1-2-3	2-2-5	2-3-7	3-4-9	3-6-10	4-6-12	4-7-13	6-9-14	7-11-15	8-13-17
	NC	—	—	—	—	16	21	24	30	36	41
8" Dia.	Total Pressure	.033	.052	.075	.104	.136	.174	.216	.315	.432	.569
	Airflow, cfm	140	175	209	244	279	314	349	419	489	559
	Throw	1-2-3	2-2-5	2-3-8	3-4-10	3-5-12	4-7-13	4-8-15	6-11-17	7-14-19	9-18-21
	NC	—	—	—	—	17	21	25	33	40	46
10" Dia.	Total Pressure	.048	.074	.106	.143	.185	.232	.285	.405	.546	.707
	Airflow, cfm	218	273	327	382	436	491	545	654	764	873
	Throw	1-2-5	2-2-6	2-3-8	3-4-10	3-6-13	4-8-13	5-9-14	6-15-20	8-16-21	10-19-22
	NC	—	—	—	—	15	20	23	28	34	37
12" Dia.	Total Pressure	.047	.073	.104	.141	.184	.233	.287	.411	.558	.727
	Airflow, cfm	314	393	471	550	628	707	785	942	1100	1257
	Throw	2-4-9	2-6-11	3-7-13	4-8-14	5-9-15	6-10-17	7-11-18	9-13-19	12-15-21	14-18-22
	NC	—	—	—	—	17	20	22	28	33	37
14" Dia.	Total Pressure	.051	.080	.116	.159	.209	.265	.328	.476	.651	.854
	Airflow, cfm	428	535	641	748	855	962	1069	1283	1497	1710
	Throw	4-7-14	5-9-16	6-10-17	7-12-18	9-13-20	10-14-21	11-15-21	14-18-23	17-20-24	20-22-25
	NC	—	—	16	20	24	28	36	43	49	54
16" Dia.	Total Pressure	.058	.090	.130	.177	.232	.293	.362	.522	.711	.929
	Airflow, cfm	559	698	838	977	1117	1257	1396	1676	1955	2234
	Throw	6-8-12	7-10-16	9-12-18	10-14-21	12-15-23	13-17-25	14-19-26	17-22-29	20-25-31	22-28-33
	NC	—	—	—	—	15	19	25	30	35	41

شكل (6-6) يوضح "كتالوج شركة الأندوليسية

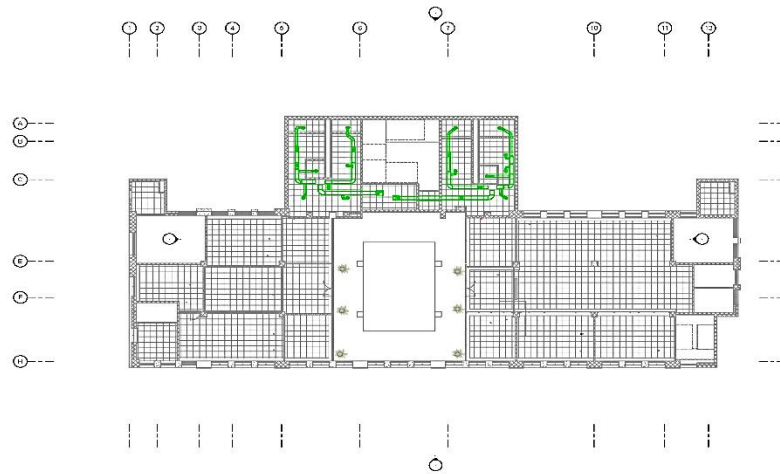
3-6 مخططات ونماذج تصميمية لنظام طرد الهواء

(Air Exhaust System – Design Schematics and 3D Models)

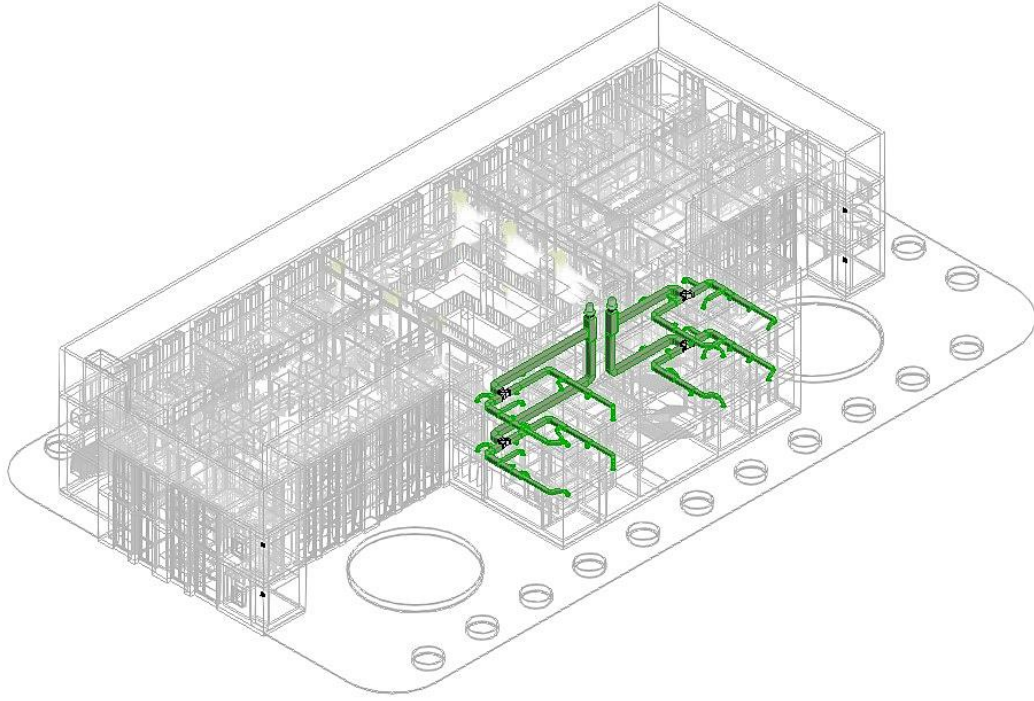
الأشكال ادناه توضح مخططات ونماذج تصميمية لنظام طرد الهواء:



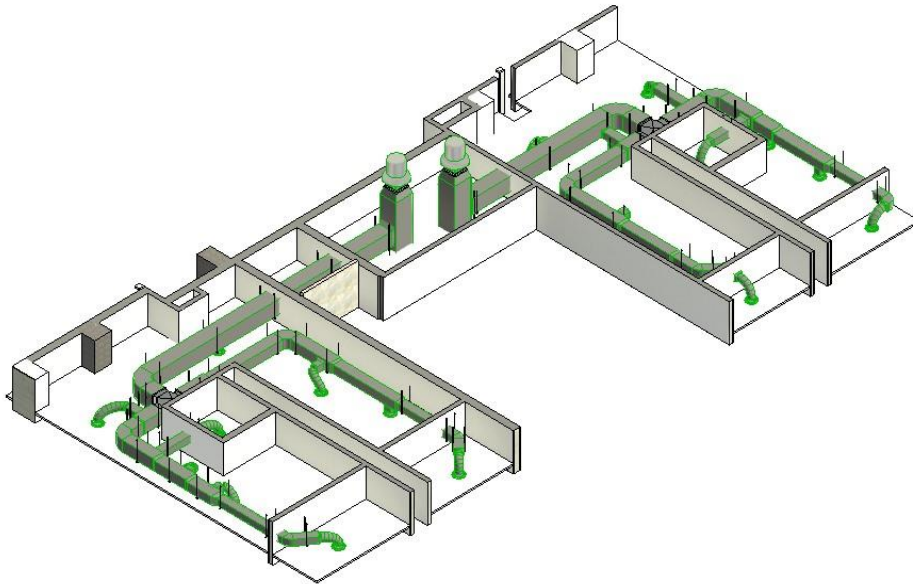
شكل (7-6) يوضح مخطط تصميمي لتوزيع مجاري الهواء في الطابق الأرضي



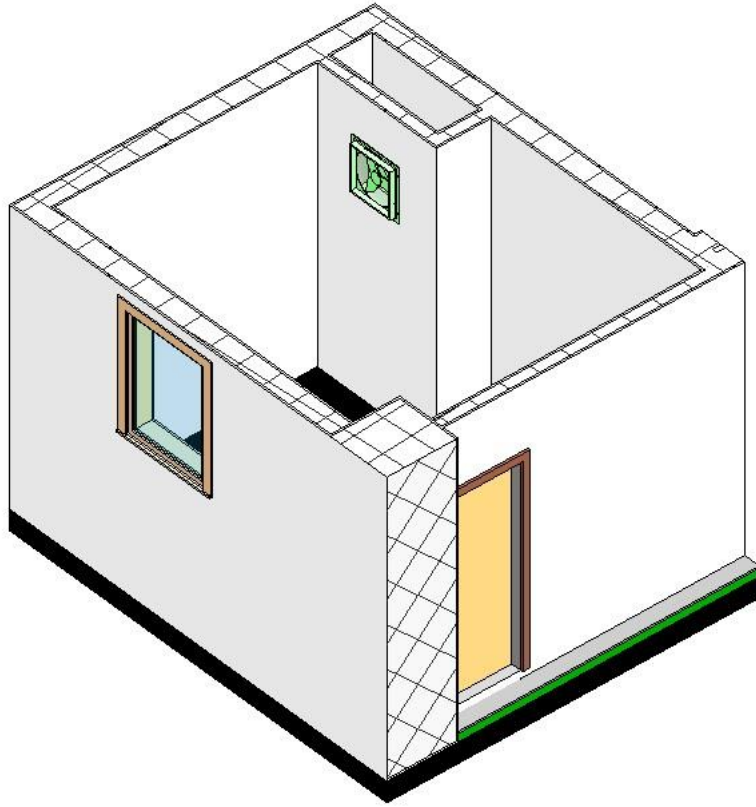
شكل (8-6) يوضح مخطط تصميمي لتوزيع مجاري الهواء في الطابق الأول



شكل (9-6) يوضح نموذج ثلاثي الأبعاد (3D) لنظام طرد الهواء



شكل (10-6) يوضح نموذج ثلاثي الأبعاد (3D) لوحدة (Roof Top Fan) ومجاري الهواء

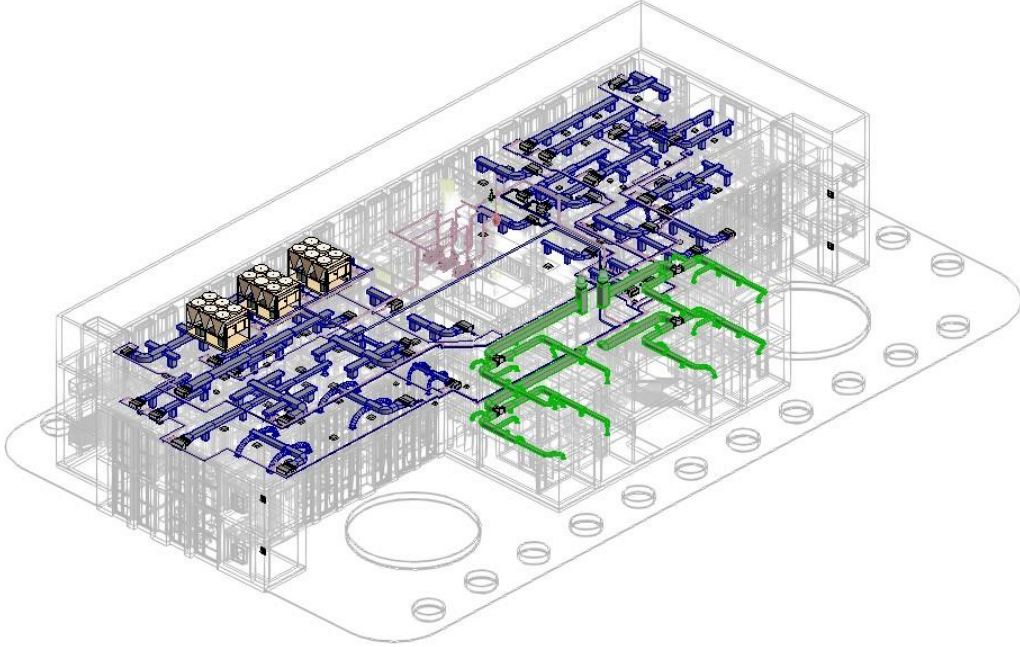


شكل (11-6) يوضح " نموذج ثلاثي الأبعاد (3D) لوحدة (Wall Mounted Fan)

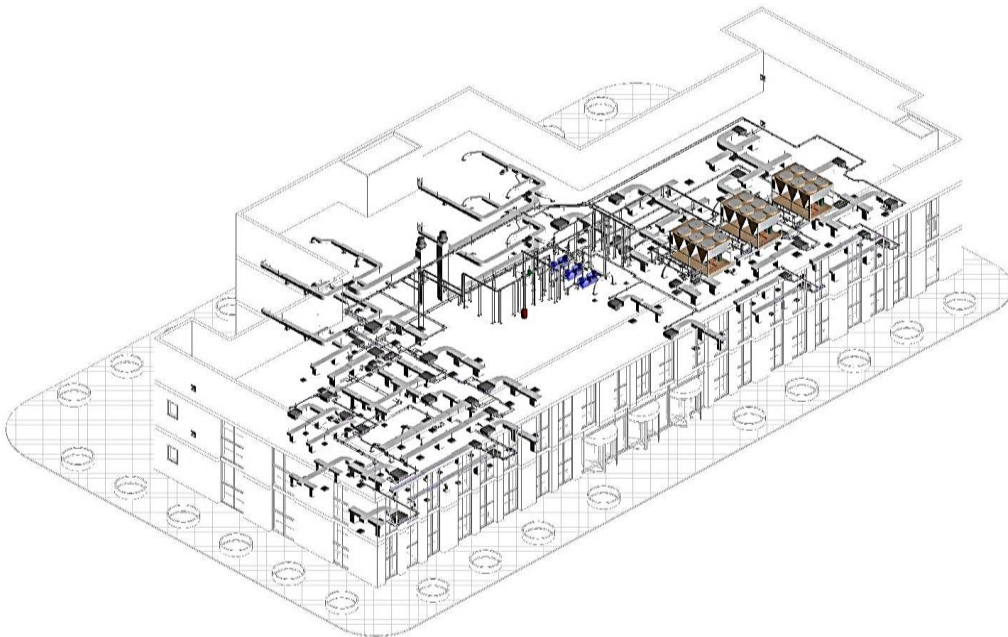
4-6 نماذج تصميمية متكاملة للنظامين

(Integrated Design Models for Both Systems)

الأشكال ادناه توضح نماذج لنظام طرد الهواء:



شكل (12-6) يوضح نموذج ثلاثي الأبعاد (3D) لنظامي المياه المبردة وطرد الهواء



شكل (13-6) يوضح نموذج ثلاثي الأبعاد (3D) لنظامي المياه المبردة وطرد الهواء

الباب السابع

الخاتمة والتوصيات (Conclusion and Recommendations)

1-7 الخاتمة (Conclusion):

في خضم التحديات المتزايدة في قطاع الأبنية الحديثة، وخاصة تلك المتعلقة بكفاءة الطاقة وجودة البيئة الداخلية، برزت الحاجة إلى تطوير أنظمة تكييف متكاملة تجمع بين الكفاءة التشغيلية، والراحة الحرارية، والموثوقية طويلة الأمد. وقد تناول هذا المشروع تصميم نظام متكامل لشبكة المياه المبردة باستخدام الوحدات الطرفية (FCUs) إلى جانب نظام إدارة الهواء المطرود، بهدف تحسين أداء التبريد وتوفير بيئة داخلية صحية ومريحة. تم تطبيق أحدث المعايير الهندسية واتباع خطوات تصميم دقيقة شملت تحليل الأحمال الحرارية، إختيار المعدات المناسبة، وتحديد مسارات الأنابيب والشبكات بدقة عالية. كما أخذ بعين الاعتبار الجانب الاقتصادي والتشغيلي للمشروع، بما يضمن استدامة النظام على المدى الطويل بأقل تكلفة تشغيلية ممكنة. يمثل هذا المشروع خطوة متقدمة نحو تبني الحلول الهندسية المستدامة في تصميم أنظمة التكييف والتهوية، ويعكس الدور المحوري للمهندس في ابتكار حلول توازن بين الأداء والكفاءة والمسؤولية البيئية.

7-2 التوصيات (Recommendations):

1. ضرورة تنفيذ صيانة دورية لنظام المياه المبردة ووحدات (FCU)، وتشمل هذه الصيانة تنظيف الفلاتر والمبادلات الحرارية، فحص الضغوط ودرجات الحرارة، ومعايرة أجهزة التحكم لضمان الكفاءة وتقليل الأعطال غير المتوقعة.
2. استخدام أنظمة تحكم ذكية (BMS) لمراقبة أداء النظام في الوقت الحقيقي، وتعديل معدلات تدفق المياه والهواء حسب الأحمال الفعلية، مما يقلل من استهلاك الطاقة ويحسن استجابة النظام للظروف البيئية المتغيرة.
3. الإهتمام بجودة العزل الحراري للأنابيب والخزانات ومكونات النظام الأخرى، خصوصاً في المسارات المكشوفة أو الطويلة، باستخدام مواد عزل ذات معامل توصيل حراري منخفض وعمر افتراضي طويل، للحد من الفاقد الحراري وضمان استقرار درجات الحرارة.
4. اعتماد على مضخات ومراوح عالية الكفاءة مزودة بأنظمة تحكم متغيرة السرعة (VFD)، لتقليل استهلاك الكهرباء، وضمان أن تعمل هذه المكونات حسب الحمل الفعلي، ما يؤدي إلى تقليل التآكل والضجيج وزيادة العمر التشغيلي.
5. مراجعة التصميم بشكل دوري ومقارنته مع الأداء الفعلي للنظام من خلال البيانات التشغيلية، للكشف عن أي انحرافات أو قصور في الأداء، وإجراء التعديلات اللازمة لضمان استمرار الكفاءة وتلبية متطلبات التبريد.
6. اعتماد مصادر طاقة متجددة مستقبلاً مثل الطاقة الشمسية لتغذية جزء من الأحمال، أو لتشغيل وحدات التحكم والمضخات المساعدة، كخطوة نحو تحقيق مبانٍ صديقة للبيئة وتقليل الاعتماد على الشبكة التقليدية.

:المراجع (References)

1. SMACNA. (2005). HVAC Duct Construction Standards – Metal and Flexible (3rd ed.). Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association.
2. McQuiston, F. C., Parker, J. D., & Spitler, J. D. (2005). Heating, Ventilating, and Air Conditioning: Analysis and Design (6th ed.). John Wiley & Sons.
3. ASHRAE. (2017). ASHRAE Handbook - Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
4. ASHRAE. (2016). HVAC Systems and Equipment Handbook. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
5. Carrier Corporation. (2009). Hourly Analysis Program (HAP) Version 5.10 User Guide. Carrier Corporation.
6. Dengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). Thermodynamics: An Engineering Approach (8th ed.). McGraw-Hill Education.
7. Mohan, R., & Saravanakumar, R. (2013). Design and analysis of chilled water piping system. International Journal of Engineering Research and Applications, 3(6), 197–202.
8. Trott, A. R., & Welch, T. C. (2000). Refrigeration and Air Conditioning (3rd ed.). Butterworth-Heinemann.