

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة محمد بوضياف - المسيلة

ميدان: علوم المادة

فرع: فيزياء

تخصص: فيزياء الطاقة و الطاقات المتجددة



كلية: العلوم

قسم: الفيزياء

رقم: Ph/ENR/12/2021

مذكرة مقدمة لنيل شهادة الماستر أكاديمي

إعداد الطالبة:

زريق ربيعة

تحت عنوان

محاكاة عددية لدور المدخنة الشمسية في تحقيق الراحة الحرارية
داخل البنايات ذات الطابع المعماري الإسلامي

تمت المناقشة يوم 08 / 06 / 2021 أمام اللجنة المكونة من:

رئيسا
مشرفا و مقرا
مناقشا

جامعة محمد بوضياف- المسيلة
جامعة محمد بوضياف- المسيلة
جامعة محمد بوضياف- المسيلة

بن منصور نادية
بولشفار هشام
بن دراجي رزيق

السنة الجامعية: 2020/2021

إهداء

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

قال الله تعالى " ...يرفع الله الذين آمنوا منكم والذين أوتوا العلم درجات و الله بما تعملون خبير " سورة المجادلة. الآية 11

الحمد لله، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده وعلى آله وصحبه أجمعين.

أهدي ثمرة جهدي هذا إلى أعز وأغلى إنسانة على قلبي إلى من بسمتها غايتي وما تحت أقدامها جنتي إلى التي حصدت الأشواك عن دربي بدعائها ونصائحها التي كانت مثل الشموع في الليالي المظلمات إلى أمي الحبيبة حفظك الله ورعاك وجعل جنة الفردوس مثواك.

إلى سندي و منارة دربي والسراج الذي لا ينطفئ نوره والذي بذل جهد السنين من أجل أن أعتلي سلالم النجاح والدي العزيز.

إلى من ملكت روحي و قلبي و إلى من فارقونا في الحياة و ما زالا ساكنان في قلوبنا، إلى روح أخي و أختي رحمهما الله وطيب ثراهما.

إلى توأم روحي ورفيقة دربي إلى صاحبة القلب الطيب و النوايا الصادقة إلى من سارت معي درب النجاح خطوة بخطوة و ما تزال ترافقني حتى الآن أختي الغالية أسعد الله قلبها و إلى كل عائلتي الكريمة فردا فردا صغيرا وكبيرا.

كما أقدم إهدائي إلى أستاذي الكريم بولشفار هشام الذي تفضل بالإشراف على هذا البحث فجزاه الله عنا كل الخير، و إلى كل الأساتذة و الإداريين و عمال قسم الفيزياء بجامعة محمد بوضياف بالمسيلة .

كذلك إلى كل الصديقات والأصدقاء و كل من حمل لي في قلبه يوما ذرة محبة و حملت له كل المحبة .

و إلى كل من نسهم القلم وحفظهم القلب أهدي بحث تخرجي.

شكر و عرفان

تتعدد البحوث وتتنوع الصعاب و تبقى رحمة الله فوق كل شيء ودعم الأحبة منهاج للوصول إلى المبتغى. قال عليه أفضل الصلاة والسلام " من لا يشكر الناس لا يشكر الله " أولاً وقبل كل شيء الحمد لله على إحسانه و الشكر لله العلي القدير على توفيقه وتيسيره لي بلوغ هدفي في إتمام مسيرة نجاحي بمذكرة تخرجي . أشكر جزيل الشكر أمي و أبي و كل أفراد عائلتي على دعمهم الدائم حتى بلوغ هذه المرحلة.

كما أتوجه بالشكر والتقدير و الامتنان للأساتذة الأفاضل أعضاء لجنة المناقشة و على رأسها رئيسة اللجنة الأستاذة الفاضلة نادية بن منصور على تشريفنا برئاسة لجنة المناقشة و كذلك الأستاذ الفاضل رزيق بن دراجي على تشرفنا بمناقشة هذه المذكرة.

كما أتقدم بأسمى عبارات الشكر و الامتنان إلى أستاذي الفاضل هشام بولشفار على كل ما قدمه لي من وقت وجهد و توجيه و إرشاد و نصائح قيمة زرعت في نفسي التفاؤل جعلك الله قدوة نقتدي بها خلال مسيرتنا العلمية و العملية فلك مني الشكر كله و التقدير و العرفان.

كما لا أنسى أن أشكر كل الأصدقاء و الزملاء وكل من أنار لي خطواتي وساعدني و لو باليسير لتحقيق هذا العمل.

المصطلحات

الوحدة	الاسم	الرمز	الحروف اللاتينية
$[m^2.s^{-1}]$	معامل الانتشار الحراري	a	
$[j.kg^{-1}.k^{-1}]$	السعة الحرارية للمائع عند ضغط ثابت	Cp	
$[m.s^{-2}]$	تسارع الجاذبية	g	
	مصفوفة الاجهادات	k	
[m]	البعد المرجعي	L	
[Pa]	ضغط المائع	P	
[k]	درجة حرارة المائع	T	
[k]	درجة الحرارة المرجعية	T ₀	
[k]	درجة حرارة الجدار الماص للمدخنة	T _{ch}	
[k]	درجة حرارة جدران المسجد	T ₁	
[k]	درجة حرارة أرضية المسجد	T ₂	
[k]	$[T_{ch} - T_2] =$	ΔT_{ch}	
[s]	الزمن	t	
$[m.s^{-1}]$	السرعة المرجعية	u ₀	
$[m.s^{-1}]$	مركبة سرعة المائع على محور X	u	
$[m.s^{-1}]$	مركبة سرعة المائع على محور Y	v	
[m]	الإحداثيات الكارتيزية	x, y	

		الحروف اليونانية
$[w.m^{-1}.k^{-1}]$	الناقلية الحرارية للمائع	λ
$[kg. s^{-1}.m^{-1}]$	اللزوجة الدينامكية	μ
$[m^2.s^{-1}]$	اللزوجة الحركية	ν
$[kg. m^{-3}]$	الكتلة الحجمية المرجعية عند (T_0)	ρ_0
$[kg. m^{-3}]$	الكتلة الحجمية للمائع	ρ
$[k^{-1}]$	معامل التمدد الحراري في ضغط ثابت	β_T
		الأعداد اللابعديّة
	عدد برندتل (Prandtl)	P_r
	عدد كراشوف (Grashof)	G_r
	عدد رايلي (Rayleigh)	R_a
		دلائل
	رمز لا بعدي	+

قائمة الأشكال

الفصل الأول:

- الشكل(1.1): العوامل البيئية المؤثرة في الراحة الحرارية.....07
- الشكل(1.2): عزل حراري باستعمال البوليسترين و الطوب الأحمر أو الإسمنتي 08
- الشكل(1.3): بناية ذات فناء داخلي.....10
- الشكل(1.4): نموذج الملقف في العمارة الإسلامية.....10
- الشكل(1.5): النافورة في العمارة الإسلامية.....11
- الشكل(1.6):القباب المفتوحة.....11
- الشكل(1.7):المشربية.....12
- الشكل(1.8):نموذج مسجد معاصر.....14
- الشكل(1.9):المدخنة الشمسية.....14
- الشكل(1.10):مبدأ عمل المدخنة الشمسية.....15
- الشكل(1.11):المجمع في المدخنة.....16
- الشكل(1.12): أنبوب في المدخنة الشمسية 16
- الشكل(1.13):توربين كبير.....17
- الشكل(1.14):تربينات عمودية المحور.....17
- الشكل(1.15):. تربينات أفقية المحور.....17
- الشكل(1.16): مدخنة شمسية عمودية بجامعة عبد الله للعلوم والتقنية.....18
- الشكل(1.17):نموذج لمدخنة شمسية مائلة فوق سطح مدرسة.....19

الفصل الثاني :

الشكل (2.1): مبنى يحاكي شكل المسجد.....24

الشكل (2.2): الشروط الحدية داخل المبنى..... 29

الفصل الثالث:

الشكل (3.1): الواجهة Model Navigator.....33

الشكل (3.2): خطوات تحديد بعد ونمط التطبيق للنموذج 34

الشكل (3.3): هندسة النموذج الفيزيائي.....34

الشكل (3.4): نافذة ضبط الثوابت الخاصة بالنموذج..... 35

الشكل (3.5): تحديد المعلومات الخاصة بالنموذج الفيزيائي لكل نمط..... 35

الشكل (3.6): تعيين الشروط الحدية لنمط الأول..... 36

الشكل (3.7): شبكة تقسيم المجال الهندسي.....36

الشكل (3.8): البدء في حل النموذج.....37

الشكل (3.9): ضبط طريقة إظهار نتائج المحاكاة.....37

الفصل الرابع:

الشكل (4.1): التوزيع الحراري داخل المبنى بدون تأثير المدخنة الشمسية $\Delta T_{ch} = 0c^{\circ}$

..... 41

الشكل (4.2): حقل و مساحات تساوي السرعات داخل المبنى بدون تأثير المدخنة الشمسية

..... $\Delta T_{ch} = 0c^{\circ}$ 41

الشكل (4.3): التوزيع الحراري داخل المبنى مع تأثير المدخنة بفارق حراري

43..... $\Delta T_{ch}=5c^{\circ}$

الشكل (4.4): حقل و مساحات تساوي السرعات داخل المبنى مع تأثير المدخنة بفارق

43..... حراري $\Delta T_{ch} = 5c^{\circ}$

الشكل (4.5): التوزيع الحراري داخل المبنى مع تأثير المدخنة بفارق حراري

45 $\Delta T_{ch}=10c^{\circ}$

الشكل (4.6) : حقل و مساحات تساوي السرعات داخل المبنى مع تأثير المدخنة بفارق

45..... حراري $\Delta T_{ch} = 10c^{\circ}$

الشكل (4.7): التوزيع الحراري داخل المبنى مع تأثير المدخنة بفارق حراري $\Delta T_{ch} = 20c^{\circ}$

47.....

الشكل (4.8): حقل و مساحات تساوي السرعات داخل المبنى مع تأثير المدخنة بفارق

47..... حراري $\Delta T_{ch} = 20c^{\circ}$

الشكل (4.9): مقارنة السرعات العمودية للهواء داخل المدخنة ($x=8.5m$) بدلالة الفارق

49 ΔT_{ch} الشمسية

الشكل (4.10): مقارنة السرعات الأفقية للهواء داخل حجم المبنى على ارتفاع ($y=2.5m$)

49..... ΔT_{ch} الشمسية

الفهرس

إهداء

شكر وعران

i.....	المصطلحات
iii.....	قائمة الأشكال
vi.....	الفهرس
01	المقدمة العامة

الفصل الأول: عموميات حول الراحة الحرارية

05	المقدمة
06.....	1 مفهوم الراحة الحرارية
06.....	2 العوامل الخارجية المؤثرة على الراحة الحرارية
07.....	3 طرق توفير الراحة الحرارية
07.....	1.3 قديما
07.....	2.3 حديثا
08	4 أهمية ودور الراحة الحرارية
08.....	1.4 اجتماعيا

09	2.4	صحيا
09	3.4	اقتصاديا
09	5	الراحة الحرارية في البنايات ذات الطابع الإسلامي
12	1.5	تطور العمارة الإسلامية
12	2.5	اهتمام العمارة الإسلامية بالراحة الحرارية
13	3.5	الخصائص الهندسية في عمارة المساجد
14	6	مفهوم المدخنة الشمسية و علاقتها بالطابع الإسلامي
15	1.6	مبدأ عمل المدخنة الشمسية
15	2.6	المكونات الأساسية للمدخنة الشمسية
15	1.2.6	المجمع
16	2.2.6	المدخنة
17	3.2.6	التريينات
18	3.6	المداخن الشمسية والتهوية الطبيعية
18	1.3.6	المدخنة الشمسية العمودية
18	2.3.6	المدخنة الشمسية المائلة
19	4.6	التطبيقات الرئيسية
20	5.6	علاقة المدخنة الشمسية بالعمارة الإسلامية

20.....6.6 البحث البيليوغرافي.....

الفصل الثاني: النمذجة و المعادلات الرياضية

24.....1.2 المقدمة.....

24.....2.2 وصف النموذج الفيزيائي.....

25.....3.2 النموذج الرياضي.....

25.....1.3.2 الكتابة الشعاعية.....

26.....2.3.2 المعادلات في الإحداثيات الكارتيزية.....

27.....3.3.2 الفرضيات التبسيطية.....

27.....4.3.2 الكتابة اللابعدية للمعادلات.....

28.....5.3.2 الشروط الحدية.....

الفصل الثالث: المحاكاة العددية

31.....1.3 المقدمة.....

31.....2.3 تقديم شامل لبرنامج Comsol Multiphysics.....

31.....1.2.3 التعريف بالبرنامج.....

32.....1.2.3 طريقة العناصر المنتهية.....

32.....2.2.3 نقاط قوة برنامج Comsol Multiphysics.....

33.....3.2.3 خطوات العمل على برنامج Comsol Multiphysics.....

الفصل الرابع: النتائج و المناقشة

- 1.4 المقدمة.....39
- 2.4 الخصائص و الأبعاد الهندسية للمبنى موضوع المحاكاة.....39
- 3.4 الخصائص الفيزيائية للمائع (الهواء).....39
- 4.4 نتائج المحاكاة العددية لدور المدخنة الشمسية.....40
- 1.4.4 بدون التأثير الحراري للمدخنة $\Delta T_{ch}=0C^{\circ}$40
- 2.4.4 التأثير الحراري للمدخنة بفارق في درجة الحرارة $\Delta T_{ch}=5C^{\circ}$42
- 3.4.4 التأثير الحراري للمدخنة بفارق في درجة الحرارة $\Delta T_{ch}=10C^{\circ}$44
- 4.4.4 التأثير الحراري للمدخنة بفارق في درجة الحرارة $\Delta T_{ch}=20C^{\circ}$46
- 5.4 مقارنة نتائج التأثير الحراري للمدخنة الشمسية على حركة الهواء.....48
- الخاتمة.....50
- قائمة المراجع والمواقع الإلكترونية.....53

المقدمة العامة

تعتبر مسألة استهلاك الطاقة في مختلف قطاعات الحياة مسألة جوهرية تشغل دول العالم كافة لأنها هي العمود الفقري لاقتصاد البلدان. و مع تطور المجتمعات الحديثة أصبحت راحتها تمثل هاجسا كبيرا وذلك بعد أن أصبح الجزء الكبير من الطاقة المستهلكة في الفراغات الداخلية يكون لأغراض تحقيق الراحة الحرارية عن طريق وسائل التكييف المختلفة (أجهزة التبريد، التدفئة... إلخ) و التي بدورها ساهمت في تناقص مصادر الطاقة الأحفورية (النفط، الغاز الطبيعي... إلخ) و كذلك التلوث البيئي الناجم عن هذه المصادر و الذي سبب ارتفاعا محسوسا في درجة حرارة الأرض بسبب تأثر طبقة الأوزون بالغازات المنبعثة و هذا ما يزيد في استهلاك الطاقة أكثر فأكثر لتحقيق الراحة و الرفاهية الحرارية التي يبحث عنها الإنسان. و لهذا تحتاج المجتمعات إلى التحول إلى مصادر الطاقة المتجددة مثل الشمس، الرياح، المياه و الطاقة الحرارية الأرضية باعتبارها طاقات بديلة ومصدر يجدد نفسه و لا ينضب و غير ملوثة وهي أحد الحلول الواعدة لمستقبل البشرية التي يعتمد عليها لتحقيق سلامتها و صحتها وكذلك راحتها على استغلال هذه المصادر في توفير الطاقة لتلبية متطلبات واحتياجات الإنسان المختلفة و التي من بينها الراحة الحرارية التي تعتبر مطلب أساسي و ضروري يجب توفيره في مختلف الفراغات الداخلية سواء في أماكن العمل أو السكن أو التجمعات و غيرها وذلك عن طريق تقديم وسائل و أساليب معمارية يتم من خلالها الاستغلال الجيد للطاقة الشمسية.

في عملنا هذا قمنا باستخدام إحدى الطاقات المتجددة والمتمثلة في الطاقة الشمسية لأنها تعتبر مصدرا لجميع الطاقات المتجددة الأخرى وهذا عن طريق دراسة التأثير الحراري للمدخنة الشمسية داخل عنصر مهم من عناصر العمارة الإسلامية ألا و هو المسجد.

حيث تتضمن هذه الدراسة أربعة فصول يمكن تلخيصها كالتالي:

الفصل الأول يقدم عموميات حول الراحة الحرارية و العوامل الخارجية المؤثرة عليها و كذلك طرق توفيرها و أهمية دورها في حياة وصحة الإنسان، كما نتطرق فيه إلى التعريف بالعمارة

الإسلامية و مميزاتا المعمارية و كذلك خصائصها الهندسية وعلاقتها بالمدخنة الشمسية و نختم هذا الفصل ببحث بيبيولوجرافي يلخص الأعمال السابقة التي تناولت موضوعات مشابهة لعلنا.

الفصل الثاني يتضمن النمذجة والمعادلات الرياضية ووصف النموذج الفيزيائي الذي تطبق فيه الدراسة والصياغة الرياضية للمعادلات، كذلك تحديد فرضيات التبسيط و وضع الشروط الحدية.

وفي الفصل الثالث اعتمدنا على برنامج المحاكاة العددية Comsol Multiphysics لإجراء المحاكاة للظاهرة الفيزيائية داخل مبنى يحاكي شكل المسجد.

أما الفصل الرابع و الأخير في هذه الدراسة يعرض النتائج التي تم الحصول عليها بعد عملية محاكاة داخل النموذج الهندسي المقترح وكذلك مناقشتها.

وفي الأخير نلخص عملنا بخاتمة تجمع أهم النقاط التي تم مناقشتها ثم تليها قائمة المراجع والمواقع الالكترونية المستغلة في هذا البحث.

الفصل الأول:

عموميات حول الراحة الحرارية

المقدمة:

جاء في قول الله تعالى: "والله جعل لكم من بيوتكم سكنا وجعل لكم من جلود الأنعام بيوتا تستخفونها يوم ظعنكم ويوم إقامتكم ومن أصوافها و أوبارها وأشعارها أثاثا ومتاعا إلى حين" سورة النحل، الآية 80.

منذ بداية الخليقة اهتم الإنسان بتوفير المسكن المناسب لحماية نفسه من الظروف الخارجية القاسية، فعمل على تطوير مسكنه ليتلاءم مع بيئته والظروف المناخية السائدة في هذه البيئة من أجل توفير الحماية و الراحة.

كما يمكننا النظر إلى مصطلح الراحة من عدة جوانب مثل الراحة البدنية و الراحة النفسية وكذلك الراحة العقلية، ولتحقيق هذه الجوانب من الراحة يستلزم توفر ظروف معينة في هذا الحيز الذي هو السكن مثل درجة الحرارة، نسبة الرطوبة و كذلك نسبة الإضاءة الطبيعية بحيث تعتمد كل هذه العوامل على الشمس التي تعتبر مصدر طبيعي و صحي و اقتصادي لتوفير الظروف الضرورية لراحة الانسان داخل مسكنه أو محيط عمله. إن الراحة الحرارية من المطالب الأساسية التي يستوجب تحقيقها داخل المباني السكنية وبخاصة مع قضاء الإنسان المعاصر لساعات طويلة في بيئته الداخلية. لذلك يجب العمل على إنجاز المساكن التي تلبي هذه الاحتياجات و التي تعود فائدتها على صحة الانسان بالدرجة الأولى.

لكن نمط تصميم المباني وخصائصها تأثر بتغير أسلوب الحياة الذي أثر عليه التطور التكنولوجي مما أدى بالإنسان إلى الاعتماد على الوسائل الميكانيكية لتوفير راحته داخل الفراغات المختلفة، كذلك أدى هذا التطور الصناعي إلى إحداث تغيرات ملحوظة في المناخ على مستوى العالم، منها ارتفاع درجات الحرارة التي أثرت على راحة الإنسان وزادت من استهلاك الطاقة وهذا ما دفع المصممين للاهتمام بدراسة الراحة الحرارية في الفراغات الداخلية للمباني اعتمادا على الطاقات المتجددة.

1. مفهوم الراحة الحرارية:

تعتبر الراحة الحرارية مطلب أساسي وجب على المعمارين الاهتمام بتوفيره في تصاميمهم، حيث أن مفهومها معقد نوعا ما بسبب ارتباطها بمتغيرات عديدة، لذلك فهو مفهوم نسبي ليس له تعريف دقيق بل يمكن إعطائها عدة تعريفات نذكر منها:

جاء تعريفها من قبل طومسون [1] بأنها حالة العقل من حيث القبول والرضا عن بيئة الفضاء الداخلي، وهو ما يشكل شعور الإنسان بالراحة في الجو المحيط به فلا يحتاج إلى تعديل الحرارة بحيث يحافظ على ثبات درجة حرارته (نحو 37°) من دون اللجوء إلى زيادة حرارة الجسم عن طريق الارتجاف أو زيادة التبريد عن طريق التبخر.

وعرفها فانجر [2] بأنها حالة الحياد الحراري وهي الحالة التي يفضل فيها الإنسان أن تكون البيئة المحيطة لا أبرد ولا أكثر دفئا من تلك التي يتواجد فيها، حيث فسرها بأنها البيئة التي تمثل حالة الاتزان الحراري بحيث لا يستطيع المرء أن يحكم عليها بأنها باردة أو حارة.

كما تم تعريفها من قبل الباحثين ماركوس وأولجاي أن الراحة الحرارية أو التعادل الحراري هي حالة لا يشعر معها الإنسان بالبرد أو الحر أو مضايقة نتيجة لخلل في البيئة الحرارية المحيطة به [3].

مما سبق فإن الراحة الحرارية عنصر غير قابل للقياس بطريقة مباشرة، لأن من يحدد توفرها ليس الحالة الفسيولوجية التي نستطيع قياسها و إنما العوامل النفسية والمؤثرات الأخرى التي لا يمكن الحكم عليها وتقديرها.

2. العوامل الخارجية المؤثرة على الراحة الحرارية:

لكي يحصل الفرد على راحته الحرارية وجب عليه معرفة ودراسة العوامل التي تؤدي إلى انعدامها، كما ترتبط هذه العوامل ارتباطا مباشرا بعوامل بيئية والتي تمثل دورا كبيرا في تحديد

ظروف الراحة الحرارية داخل المبنى التي من خلالها يسعى الجسم إلى تحقيق الاتزان الحراري وبالتالي الشعور بالراحة. من أهم العوامل البيئية التي تؤثر على راحة الإنسان نذكر مثلا الإشعاع الشمسي، درجة الحرارة، نسبة الرطوبة و حركة الهواء.



الشكل (1،1):العوامل البيئية المؤثرة في الراحة الحرارية [1]

3. طرق توفير الراحة الحرارية:

1.3 قديما: لقد استطاع الإنسان تكييف أوضاع معيشته تماشيا مع ظروف بيئته معتمدا في بناء مسكنه على مادة الطين التي تتميز بقدرتها على مقاومة الحرارة، بحيث تكون جدران المبنى سميكة وأسقفه من الخشب المغطى بالطين وذلك من أجل حماية نفسه من شدة الحرارة صيفا والبرودة شتاء. كما اعتمد على استعمال المواد المتوفرة في بيئته لتحقيق هذه الغاية كاستعمال أهل الصحراء للبيوت الوبرية و الصوفية، و سكان القطب المتجمد لمادة الجليد لبناء مسكنه...إلخ

2.3 حديثا: أدى انتشار مادة الإسمنت ومنتجاتها في البناء إلى تدهور البيئة الداخلية مما أدى للجوء إلى وسائل التكييف الصناعية التي تتطلب استهلاك الطاقة و من أجل الحد من استهلاكها، عمل المعمارين على ابتكار التصميم المستدام أو ما يعرف بالعمارة الخضراء

التي تعرف بأنها العمارة التي تحترم موارد الأرض من خلال توفير متطلبات مستعملها بأقل تكلفة. حيث أصبحت المباني الجديدة مصممة بطرق وتقنيات مستحدثة تعمل على تقليل الأثر البيئي وذلك بتوفير بيئة عمرانية مريحة.

كما أن التباين في درجات الحرارة صيفا وشتاء أدى إلى استعمال تقنية العزل الحراري، التي تعمل على منع انتقال الحرارة من الفضاء الخارجي إلى الفراغ الداخلي للمبنى صيفا والعكس شتاء باستخدام عدة مكونات نذكر منها البوليسترين، الصوف الصخري أو الزجاجي...إلخ.



الشكل (2.1): عزل حراري باستعمال البوليسترين و الطوب الأحمر أو الإسمنتي. [4]

4. أهمية و دور الراحة الحرارية:

1.4 اجتماعيا: إن تحسين الراحة الحرارية داخل المساكن و الفضاءات أمر أساسي وذلك من أجل الحد من المشاكل الناتجة عن نشاط البشر الذي يتسبب في الانبعاثات الحرارية، كذلك توفير بيئة صحية يمكن أن يتشارك فيها أفراد المجتمع على إنجاز العمل الفردي أو الجماعي في ظروف مريحة تقلل من الضغط النفسي و البدني للفرد و المجتمع.

2.4 صحيا:حسب الدراسات التي أجريت من أجل معرفة أهمية توفير الراحة الحرارية على صحة الإنسان تبين أن العيش في المباني السكنية مع ظروف سيئة لدرجة الحرارة له مخاطر صحية عالية جدا منها الإصابة بالأمراض التنفسية التي تتسبب في تدهور الصحة العامة.

3.4اقتصاديا:يعتمد تحقيق الراحة الحرارية في البيئة الداخلية المعاصرة على استخدام وسائل التبريد والتدفئة بشكل كبير، و تحسين الراحة الحرارية في المباني اعتمادا على الطاقات المتجددة يوفر بشكل كبير في الطاقة ويحقق الاستدامة. كما تبين الكثير من الدراسات أن درجة الهواء الداخلية المرتفعة جدا أو المنخفضة جدا تدهور في أداء الفرد، فقد أشارت بعضها أن كل ارتفاع في درجة الحرارة بمقدار درجة يقابله انخفاض في الأداء بنسبة 2% [2].

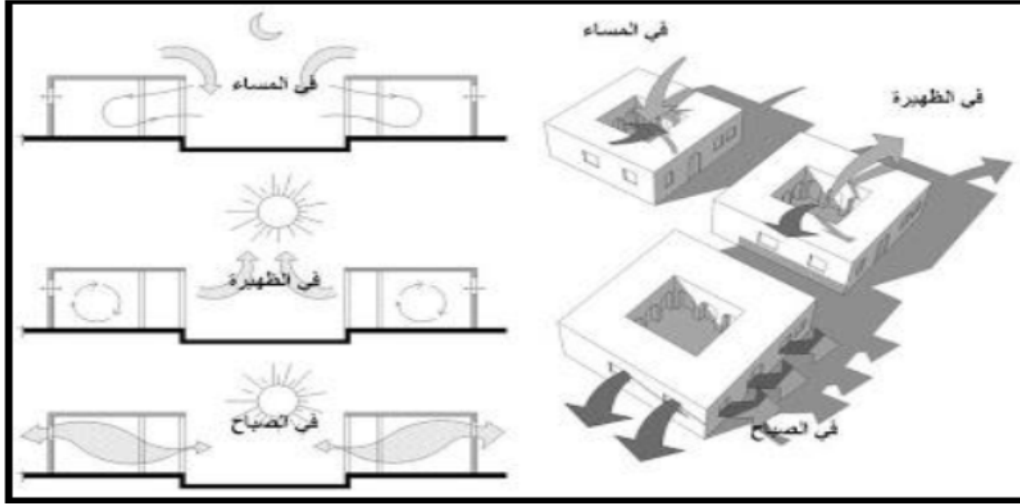
كذا عدم توفر الراحة الحرارية يتسبب في انخفاض كبير في التركيز أثناء العمل ما يسبب الكثير من الحوادث التي تسبب عبء اقتصادي في ميزانية الفرد و الدولة.

5. الراحة الحرارية في البنايات ذات الطابع الإسلامي:

تميزت مباني العمارة الإسلامية في تصميمها، العديد من الوسائل الطبيعية والتي تختلف من منطقة إلى أخرى حسب طبيعة البيئة وذلك من أجل توفير الراحة الحرارية حيث نذكر من بين هذه الوسائل :

❖ **الفناء الداخلي:** ويعمل على تخزين الهواء البارد في النهار لمواجهة الحرارة المخزنة

عن طريق مختلف أجزاء البناية والتي تتبعث ليلا كما يبينه الشكل (3،1)



الشكل (3،1): بناية ذات فناء داخلي [5]

❖ **الملقف:** ويكون في أعلى المبنى له فتحة مقابلة لاتجاه هبوب الرياح يعمل على تجميع الهواء البارد المار فوق المبنى وتوجيهه نحو الداخل.



الشكل (4،1): نموذج الملقف في العمارة الإسلامية [6]

❖ **النافورة:** تكون غالبا في وسط الفناء بحيث تعمل على مزج الماء بالهواء وترطيبه لينتقل بعدها إلى الفراغات الداخلية كما تكسب الفناء مظهر جمالي.



الشكل (1،5): النافورة في العمارة الإسلامية [7]

❖ **القباب المفتوحة:** تصمم على شكل فتحات تعلو القاعات الرئيسية بهدف توفير التهوية والإنارة غير المباشرة، كذلك فإن وجودها مع الملقف يعمل على تلطيف الجو بواسطة سحب الهواء الموجود في أعلى الغرفة.



الشكل (1،6): القباب المفتوحة [8]

❖ **المشربية:** تكون عبارة عن فتحات مصنوعة من الخشب على أشكال مختلفة منفصلة بمسافات محددة ومنتظمة على شكل هندسي زخرفي، يتمثل دورها في ضبط نسبة

الهواء الذي يعبر من خلالها كما تسمح بمرور ضوء النهار مع توفير الظل الذي يساعد على خفض درجة الحرارة.



الشكل (7،1): المشربية [9]

1.5 تطور العمارة الإسلامية:

جاء تطور العمارة الإسلامية نتيجة لانتشار الإسلام شرقا و غربا و تفتح المسلمين على ثقافات الأمم الأخرى و انتشار العلوم في بلاد المسلمين و المكانة التي كان يتبوؤها العلم في حياة المجتمعات المسلمة على اختلاف مشاربها و بيئاتها. و لقد تجسد هذا الاهتمام بالعمارة في جوامع المسلمين و مساجدهم لما تكتسب من أهمية عقيدية و اجتماعية و علمية في ذلك الزمان الذي كان فيه المسلمون في أوج عطاءاتهم.

2.5 اهتمام العمارة الإسلامية بالراحة الحرارية:

إن أهمية الراحة الحرارية في العمارة الإسلامية تجلت من خلال الطرق التخطيطية والمعمارية التي طبقها المسلمون في المباني التي أقاموها في مختلف المناطق و التي مكنتهم من مواجهة المشكلات البيئية التي واجهتهم وتوفير متطلباتهم وذلك بالاعتماد على عدة أساليب واستراتيجيات من بينها:

- ❖ استخدام تخطيطات معمارية متعددة للتصدي للإشعاع الشمسي بهدف توفير الظلال.
- ❖ تصميم المباني من خلال الاعتماد على الشوارع الضيقة و الفتحات الخارجية من أجل العمل على تحريك الهواء داخل المباني و التقليل للتعرض لأشعة الشمس.
- ❖ استغلال مواد البناء التي تساهم في تنظيم درجة الحرارة ليلا ونهارا.
- ❖ توفير الفتحات الضيقة للاعتماد على الإضاءة الطبيعية في المباني.
- ❖ استعمال الملاقط و القباب لتحريك الهواء الداخلي و تجديده طبيعيا.

4.5: الخصائص الهندسية في عمارة المساجد:

كانت المساجد هي أول ما يبني بعد الفتوحات، وذلك لما لها من أهمية، لأنها تعتبر أهم الأسس في تخطيط المدينة عند المسلمين. و يعتبر المسجد النبوي الشريف مرجع يستلهم منه التصميم المبدئي في عمارة المساجد، حيث كان بناؤه بسيطا عبارة عن مساحة مستطيلة محاطة بأربعة جدران من الطين أعمدته من جذوع النخيل مغطى بالجريد. فقد كان شكل صفوف المصلين محددًا لشكل المسجد، ضلعه الأكبر عمودي على اتجاه القبلة وذلك ليوفر المكان لأكثر عدد من المصلين في الصفوف.

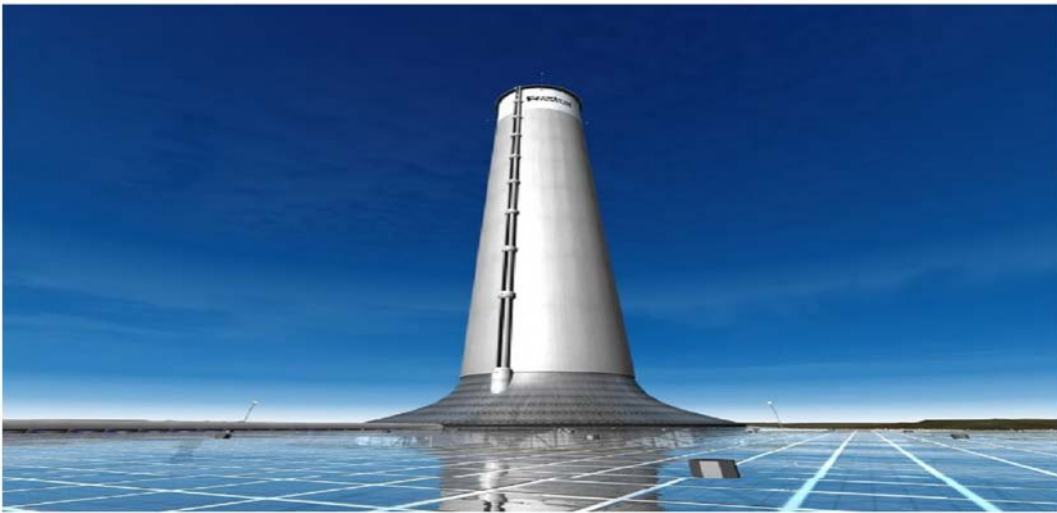
و نتيجة لهذه الفتوحات، تطورت عمارة المساجد لتوفر موارد جديدة وظهرت تقنيات حديثة بأساليب متقدمة فاستحدثت عناصر كثيرة لم تكن موجودة في المسجد النبوي و من خلال ممارسة الوظائف المختلفة والاحتياج الوظيفي للبناء أضيفت عناصر معمارية جديدة أهمها القبة و المئذنة.



الشكل (8.1): نموذج مسجد معاصر [10]

6: مفهوم المدخنة الشمسية و علاقتها بالطابع الإسلامي:

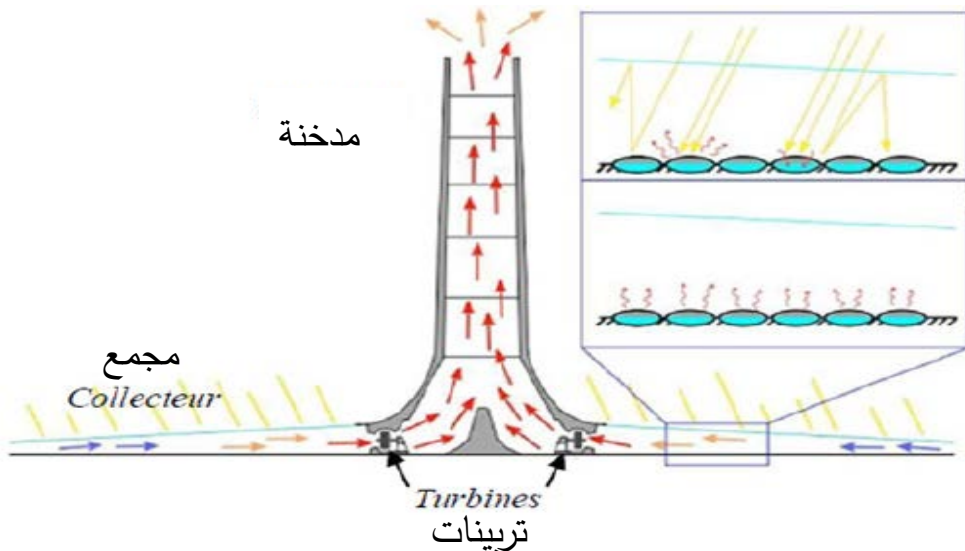
تعتبر المدخنة الشمسية من أبرز الطرق المستخدمة في التهوية الطبيعية حيث أنها تعمل على سحب الهواء الساخن من الفراغ الداخلي للمبنى بواسطة الطاقة الشمسية وتحريك الهواء داخلها، ويتم تصميمها من مواد تعمل على امتصاص الحرارة. كما يمكننا وصف المدخنة بأنها وعاء عمودي مفتوح من الأعلى ومن الأسفل، ويمكن أن تأخذ أي شكل هندسي.



الشكل (9،1): المدخنة شمسية. [11]

1.6 مبدأ عمل المدخنة الشمسية:

المدخنة الشمسية عبارة عن منشآت لتوليد الطاقة يتمثل مبدأ عملها في تسخين الهواء من خلال تأثير الاحتباس الحراري داخل المدخنة و تحت سطح المجمع، و الذي ينتج عنه تدرج في الضغط بين الهواء الساخن الموجود تحت المجمع الذي يكون أقل كثافة من الهواء المتواجد عند مخرج المدخنة و من خلال تأثير الحمل الحراري الطبيعي يتم إنتاج تيارات هوائية تتجه عبر المدخنة العمودية مؤدية إلى تشغيل التوربينات والتي تعمل بدورها على إنتاج الكهرباء.



الشكل (10،1): مبدأ عمل المدخنة الشمسية [12]

2.6: المكونات الأساسية للمدخنة الشمسية:

يتكون نظام المدخنة الشمسية من ثلاث أجزاء رئيسية (المجمع، المدخنة، التوربين).

1.2.6: المجمع: يمثل المكون الأساسي لأنه يعتبر مقر إنتاج الهواء الساخن من خلال ظاهرة الاحتباس الحراري، أين يتم تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية، يشمل مساحة شاسعة تقدر بعدة آلاف من الأمتار المربعة، ويتكون من أرضية وغطاء شفاف زجاجي أو بلاستيكي.



الشكل (1،11): المجمع في المدخنة. [13]

2.2.6. المدخنة: هي جزء مهم في برج الطاقة تعمل كآلة حرارية، كما يمكن أن تعمل بمثابة أنبوب ضغط و الذي ينتج الفارق في درجة الحرارة بين الهواء البارد في الأعلى والهواء الساخن في الأسفل.

إن كفاءة المدخنة لا تعتمد على درجة حرارة الهواء الداخل بقدر ما تعتمد على التناسب الطردي مع نسبة ارتفاعها، فكلما زاد ارتفاع المدخنة كلما كانت كمية الطاقة المنتجة أكثر.

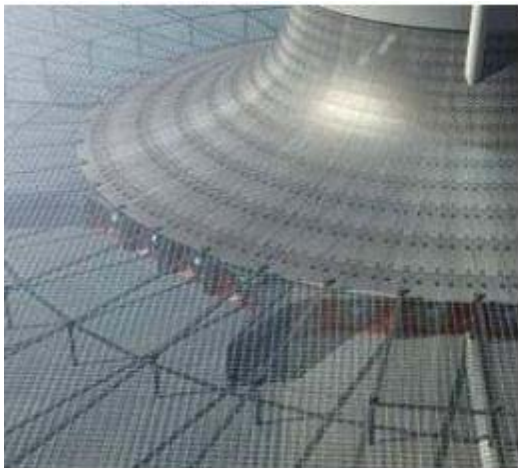


الشكل (1،12): أنبوب المدخنة الشمسية [14]

3.2.6 التريينات [15]: تتواجد دائما في قاعدة المداخن وذلك بسبب احتواء هذا الجزء من المدخنة على سرعة هواء عالية من أجل تحويل أقصى كمية من الطاقة الحركية إلى طاقة ميكانيكية ثم إلى طاقة كهربائية و توضع التريينات في المجمع بطريقتين إما عموديا الشكل (1،13) و (1،14) أو أفقيا في المدخنة الشكل (1،15). وذلك بهدف الحصول على الطاقة القصوى من الهواء الساخن حيث يمكن استخدام إما توربين كبير أو عدة تريينات صغيرة عند قاعدة المدخنة.



الشكل (1،13): توربين كبير



الشكل (1،14): تريينات عمودية المحور الشكل (1،15): تريينات أفقية المحور

3.6: المداخل الشمسية و التهوية الطبيعية :

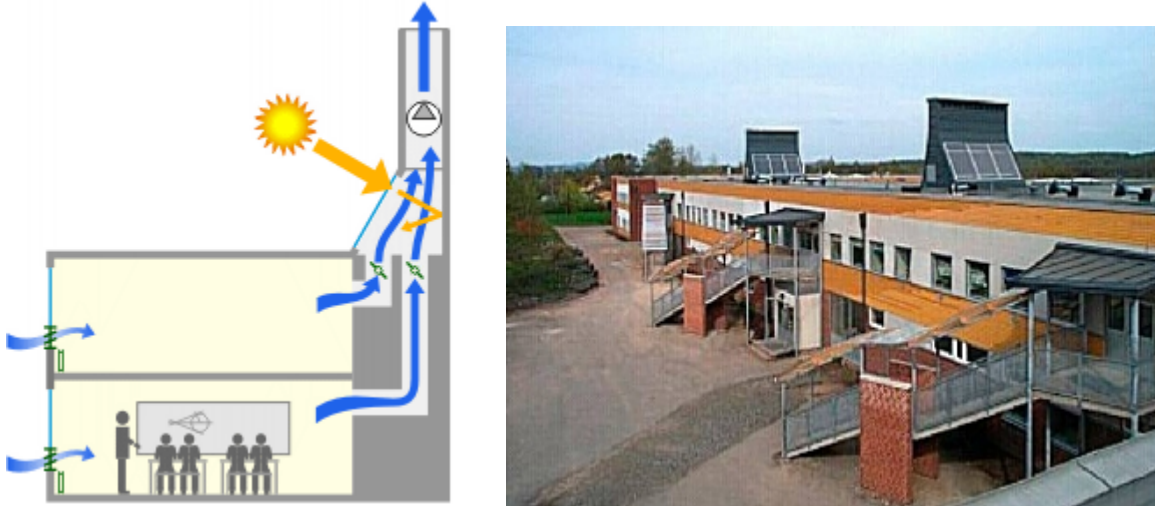
يمكننا التمييز بين نوعين من المداخل حسب فتحة المدخل وموقعها للتهوية الطبيعية داخل
البنية:

1.3.6: المدخنة الشمسية العمودية: يعتبر هذا النوع هو الأكثر شيوعا، حيث يكون دخول
الهواء من الفتحة الموجودة في الأسفل وخروجه من خلال الفتحة في الأعلى. كما تتميز
بأنها تتكامل بسهولة مع واجهات المباني و يمكن أيضا استخدام النوافذ الصغيرة الموجهة
نحو الجنوب كمداخل شمسية، لكن من سلبيات هذا النوع أن معدل التهوية متغير بتغير
الفصول.



الشكل (1.16): مدخنة شمسية عمودية بجامعة عبد الله للعلوم و التقنية [16]

2.3.6 المدخنة الشمسية المائلة: من ناحية الغاية فإن المداخل الشمسية العمودية أو المائلة
متشابهة، يوجد فرق واحد بينهما يكمن في أن المدخنة المائلة تكون متكاملة بزوايا معينة
مناسبة لإلتقاط أكبر قدر ممكن من الإشعاع الشمسي، أما المداخل العمودية قد تكون أقل
كفاءة في التقاط الإشعاع و هذا يختلف باختلاف المناطق الجغرافية.



الشكل (1.17): نموذج لمدخنة شمسية مائلة فوق سطح مدرسة [17]

4.6 التطبيقات الرئيسية:

- ❖ إنتاج الكهرباء: يعتبر إنتاج الكهرباء أهم تطبيق للمداخن الشمسية حيث يتم تحويل الطاقة الشمسية التي تصل إلى المجمع إلى طاقة حرارية بواسطة ظاهرة الاحتباس الحراري التي تحدث داخله ثم إلى طاقة حركية بفعل الحمل الحراري الذي ينتج عنه تيار يؤدي إلى تدوير توربين فتؤدي هي بدورها إلى إنتاج الكهرباء.
- ❖ توفير الراحة الحرارية: تعد المداخن الشمسية من بين التقنيات الطبيعية المستخدمة في توفير الراحة الحرارية داخل المباني عن طريق استبدال الهواء الداخلي المستخدم بهواء نقي من الخارج، و هو ما يعرف بالتهوية الطبيعية و التي ترتبط بأربعة متغيرات (درجة حرارة الهواء، شدة الإشعاع الشمسي، الرطوبة وسرعة الهواء).
- ❖ التجفيف الشمسي: يوجد نوعان من أنظمة مجففات الطاقة الشمسية التي تستخدم في التجفيف الشمسي بواسطة تخزين الطعام عن طريق تعريضه لحرارة الشمس، هما أنظمة التجفيف المباشرة وغير المباشرة.

5.6 علاقة المدخنة الشمسية بالعمارة الإسلامية:

إن من بين مميزات العمارة الإسلامية نجد القبة والمنارات والمآذن في المساجد و هذه الأخيرة تمتاز بالارتفاع الكبير مقارنة بجسم البناية و الذي قد يؤدي إلى خلق تدرج في درجة الحرارة بداخلها، وهذا يعتبر من بين أهم شروط تأثير عمل المدخنة على توفير التهوية الطبيعية. فيمكن إنجاز هذه المميزات المعمارية بتقنيات تسمح لنا باستغلالها كمداخن شمسية و مثال ذلك نجد التصميم المنجز لتهوية مبنى جامعة الملك عبد الله للعلوم و التقنية بالمملكة السعودية.

6.6 البحث البيبليوغرافي:

[18] في هذا العمل تم تحويل مبنى سكني و دراسة حالة التهوية الطبيعية فيه، ومن أجل دراسة إمكانية تحسين التهوية الطبيعية على هذه الحالة الدراسية تم اللجوء إلى المنهج التحليلي و ذلك بافتراض تعديلات في تصميم المبنى و عمل محاكاة لها على برنامج حاسوبي وتم الاعتماد في الدراسة على ثلاثة إمكانيات للتغير في تصميم المبنى وهي إيجاد فناء داخلي للمبنى، رفع المبنى على أعمدة و توفير مدخنة شمسية لتفعيل حركة الهواء.

[19] يهدف هذا البحث إلى ضمان الراحة الحرارية في فصل الصيف في المناطق الحضرية دون اللجوء إلى أنظمة تكييف الهواء وزيادة الاستهلاك الطاقة التي تؤثر في تدهور المناخ المحلي وفي محاولة للحد من آثار هذه الظاهرة ، كان لابد من تطوير أساليب جديدة، منها المدخنة الشمسية التي تساهم في زيادة تحريك الهواء و بالتالي تدفقه إلى الخارج مساهما في تطيف الفضاء الداخلي.

[20] تمت هذه دراسة من أجل استغلال الطاقات المتجددة في المستقبل، مستخدمين جهاز شمسي والمتمثل في المدخنة الشمسية، والذي أظهر نجاحا في تطوير استغلال الطاقات المتجددة بزيادة كفاءتها الإنتاجية، ومعرفة الأبعاد التي تؤثر على مردودها والتي تتمثل في

ارتفاع المدخنة، قطر المدخنة وارتفاعها ، بحيث أن دراسة تأثير هذه العوامل على الإنتاج الكهربائي للمداخن الشمسية لها أهمية في تحسين تصميم هذه المعدات من أجل زيادة إنتاج الطاقة.

[21] في هذا البحث تم إجراء دراسة تجريبية لتقييم أداء وتحديد العوامل المؤثرة على كفاءة المدخنة الشمسية، وإنتاج الطاقة الكهربائية لنموذج مصغر في ولاية الوادي، حيث تم دراسة عدة متغيرات كدرجات الحرارة المحيطة، وارتفاع المدخنة وقطر المجمع، وكذلك تأثير العزل الحراري على توزيع درجات الحرارة و بالتالي على القدرة الناتجة ، وقد أظهرت النتائج أن الأبعاد الهندسية و الفرق الحراري هي من العوامل المهمة لتحديد كفاءة الناتج الطاقوي.

[22] خصص هذا العمل لدراسة المدخنة الشمسية في الجنوب الشرقي للجزائر (وادي سوف)، تجريبيا عن طريق القياس بواسطة أجهزة منها المستقلة كالأنيمومتر ومنها التابعة للحاسوب كالآرديونوو كنموذج للتجريب عن طريق المحاكاة حيث تم التوصل إلى أفضل أبعاد لأفضل أداء .

[23] هذا البحث يتعلق بدراسة ظاهرة الحمل الحراري الطبيعي للهواء داخل مدخنة شمسية تم فحص تأثير الفارق في درجة الحرارة بين أرضية المدخنة الشمسية ودرجة الحرارة الخارجية، على الانتقال الحراري داخل المدخنة، وأنجزت محاكاة عددية للانتقال الحراري، وذلك باستعمالهم لبرنامج "fluent". وكذلك أنجزت مقارنة نوعية مع بعض الأعمال المنجزة سابقا، حيث كانت النتائج مقارنة جدا للنتائج المتوفرة في المراجع التي تم تنويه إليها في هذا العمل.

[24] هذا العمل أنجز من أجل دراسة أحد العوامل المؤثرة في عملية التهوية الطبيعية، حيث تمت دراسة تأثير المدخنة الشمسية في مسرى تدفق الهواء داخل نموذج سكني مزود بمدخنة شمسية مائلة بزاوية $\Theta=45^\circ$ و بوجود مدخل لهواء ذلك من خلال إجراء محاكاة عددية للانتقال الحراري الطبيعي باستخدام برنامج Fluent .

[25] هذا البحث يتعلق بدراسة تخص المدخنة الشمسية والمتمثل في تأثير الشكل الهندسي للرباط الموجود بين المجمع و المدخنة على اتجاه و شدة حركة الهواء عبر عنفة تحويل الطاقة عند مدخل المدخنة و الناتج عن طريق الحمل الحراري الطبيعي. حيث تمت محاكاة عددية للحمل الحراري الطبيعي باستخدام برنامج للمحاكاة العددية المبني بطريقة العناصر المنتهية لحل المعادلات التفاضلية للحمل الحراري الطبيعي هي معادلة الاستمرارية، معادلة الحركة و معادلة الطاقة في الإحداثيات الاسطوانية مع إدخال تقريب Boussinesq. أظهرت نتائج المحاكاة أن تحويل الطاقة للمدخنة الشمسية يكون أكثر فعالية كلما زاد ميل الرباط، كما تتناسب فعالية المدخنة الشمسية طرديا مع قيمة رايلي Ra والذي يعبر عن الفارق في درجة الحرارة بين المجمع و الأرضية.

[26] هذا العمل يهدف إلى دراسة تدفق الهواء في برج شمسي تحت تأثير الحمل الحراري الطبيعي. بواسطة دراسة تجريبية تهدف إلى فهم ظاهرة الحمل الحراري الطبيعي في البرج باستخدام نموذج تم تحديد أبعاده مسبقا. كما تم إجراء دراسة مقارنة بين سرعات الهواء المحسوبة وتلك التي تم قياسها.

[27] اهتمت هذه دراسة بإمكانية تطبيق مدخنة شمسية في نموذج أولي لمبنى مكاتب متعدد الطوابق في هولندا. تم فيها إجراء تحليل الحساسية وتحسين التصميم عبر محاكاة الأداء الديناميكي. كما تم اختبار متانة التصميم الأمثل في المرحلة النهائية، هذا المشروع قام بمعايرة نموذج المدخنة الشمسية وتم الحصول على نتائج أولية مشجعة.

[28] في هذه الدراسة تم تقديم تقنية تسمح بتحسين التهوية الطبيعية والتبريد في المناطق ذات المناخ الحار. حيث تم إنشاء حركة الهواء داخل الوسط باستعمال المدخنة الشمسية. ومن أجل تحديد الخصائص المتعلقة بالنظام المقترح تمت دراسة تجريبية و أخرى عددية على المدخنة الشمسية مع التغيير في أبعادها وزاوية ميلها.

الفصل الثاني:
النمذجة والمعادلات الرياضية

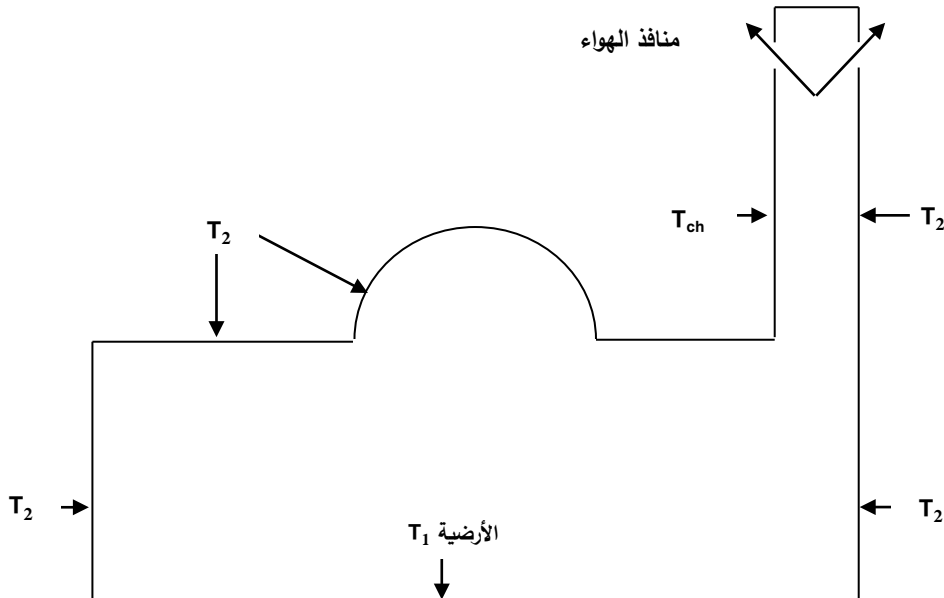
1.2 المقدمة:

يشمل هذا الفصل الصياغة الفيزيائية لدراسة المشكل المطروح مع وصف الحيز الهندسي الذي تتم فيه عملية المحاكاة، وكذلك تقديم المعادلات التفاضلية (الاستمرارية، الحركة و الطاقة) في نظام الإحداثيات الكارتيزية.

2.2 وصف النموذج الفيزيائي:

يتم في هذا العمل دراسة انتقال الحرارة بهدف تحقيق الراحة الحرارية داخل حيز عمراني يتميز بخصائص العمارة الإسلامية حيث وقع اختيارنا على عنصر مهم ألا وهو المسجد والذي بدوره يحمل مميزات عمرانية سبق ذكرها في الفصل الأول وأهمها القبة و المئذنة.

تكمن أهمية هذا العمل في دراسة تأثير المئذنة والتي تحاكي بدورها المدخنة الشمسية من الجانبين الهندسي والعملي على حركة الهواء وانتقال الحرارة داخل الحيز الهندسي الموضح في الشكل (2.1) والذي يحاكي شكل المسجد بطريقة مبسطة.



الشكل (2.1): مبنى يحاكي شكل المسجد.

نعتبر درجة الحرارة لكل الجدران الخارجية ثابتة ومتساوية T_2 بينما تكون درجة حرارة الأرضية أيضا متساوية وثابتة عند قيمة T_1 مع اعتبار أن $T_2 < T_1$.

3.2 النموذج الرياضي:

معادلات النموذج الرياضي يتم صياغتها في شكلها الشعاعي ثم بعد ذلك يتم كتابتها في الإحداثيات الكارتيزية مع مراعاة الفرضيات التبسيطية.

1.3.2 الكتابة الشعاعية:

❖ معادلة الاستمرارية:

$$(2.1) \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \cdot \vec{u}) = 0$$

ρ : الكتلة الحجمية للمائع.

\vec{u} : مركبات سرعة المائع.

❖ معادلة الحركة:

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \overrightarrow{\text{grad}} \vec{u}) \right) = -\vec{\nabla} p + \rho \vec{g} + \mu \Delta \vec{k} \quad (2.2)$$

p : ضغط المائع.

g : تسارع الجاذبية.

μ : اللزوجة الدينامكية.

\vec{k} : مصفوفة الاجهادات.

❖ معادلة الطاقة:

$$(2.3) \quad \frac{\partial T}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \overrightarrow{\text{grad}T}) = \frac{\lambda}{\rho C_p} \nabla^2 T$$

T: درجة حرارة المائع.

λ: الناقلية الحرارية للمائع.

Cp: السعة الحرارية للمائع عند ضغط ثابت.

2.3.2 المعادلات في الإحداثيات الكارتيزية:

❖ معادلة الاستمرارية:

$$(2.4) \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) = 0$$

❖ معادلة الحركة:

بإسقاط المعادلة (2.2) على كل المحورين (x) و (y) نتحصل على المعادلتين التاليتين:

وفق المحور (ox):

$$(2.5) \quad \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = - \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)$$

وفق المحور (oy):

$$(2.6) \quad \rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = - \frac{\partial P}{\partial y} + \rho g(y) + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)$$

❖ معادلة الطاقة:

$$(2.7) \quad \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\lambda}{\rho C_p} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right)$$

3.3.2 الفرضيات التبسيطية:

من أجل الحصول على شكل مبسط للنموذج الرياضي، وضعنا بعض الفرضيات التي تساعد على ذلك وهي كالآتي:

- المائع (الهواء) يعتبر نيوتوني وغير قابل للضغط.
- تدفق المائع ثنائي الأبعاد، دائم وشفيفي.
- تبديد اللزوجة وعمل قوى الضغط مهملان في معادلة الطاقة.
- الخصائص الفيزيائية للمائع ثابتة وتحدد بدرجة الحرارة المرجعية ماعدا في معادلة الحركة.
- كثافة المائع في الجزء المتعلق بالقوى الحجمية في معادلة الحركة تتغير خطيا مع درجة الحرارة T وفقا لتقريب بوسينسك.

حيث يعطى تقريب بوسينسك على الشكل التالي:

$$\rho(T) = \rho_0 [1 - \beta_t (T - T_0)]$$

ρ : الكتلة الحجمية للمائع.

β_t : معامل التمدد الحراري في ضغط ثابت.

ρ_0 : الكتلة الحجمية عند T_0 .

T_0 : درجة الحرارة المرجعية.

4.3.2 الكتابة اللابعدي للمعادلات:

يمكننا كتابة النموذج الرياضي المعبر عنه بالمعادلات السابقة مع الأخذ بعين الاعتبار فرضيات التبسيط في الشكل اللابعدي باستعمال معايير مرجعية معطاة بالشكل الآتي:

$$x^+ = \frac{x}{L}; \quad u^+ = \frac{u}{\frac{a}{L}}; \quad P^+ = \frac{P}{\rho u_0^2};$$

$$y^+ = \frac{y}{L}; \quad v^+ = \frac{v}{\frac{a}{L}}; \quad T^+ = \frac{T-T_f}{T_c-T_f};$$

$$P_r = \frac{v}{a}; \quad \text{عدد براندتل (Prandtl):}$$

$$G_r = \frac{g\beta_t L^3 \Delta T}{v^2}; \quad \text{عدد كراشف (Grashof):}$$

$$R_a = G_r \cdot P_r; \quad \text{عدد رايلي (Rayleigh):}$$

❖ معادلة الاستمرارية:

$$(2.8) \quad \frac{\partial u^+}{\partial x^+} + \frac{\partial v^+}{\partial y^+} = 0$$

❖ معادلة الحركة:

على المحور (Ox).

$$(2.9) \quad u^+ \frac{\partial u^+}{\partial x^+} + v^+ \frac{\partial u^+}{\partial y^+} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P^+}{\partial x^+} + P_r \left(\frac{\partial^2 u^+}{\partial x^{+2}} + \frac{\partial^2 u^+}{\partial y^{+2}} \right)$$

على المحور (Oy).

$$(2.10) \quad u^+ \frac{\partial v^+}{\partial x^+} + v^+ \frac{\partial v^+}{\partial y^+} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P^+}{\partial x^+} + P_r \left(\frac{\partial^2 v^+}{\partial x^{+2}} + \frac{\partial^2 v^+}{\partial y^{+2}} \right) + R_a \cdot P_r \cdot T^+$$

❖ معادلة الطاقة:

$$(2.11) \quad u^+ \frac{\partial T^+}{\partial x^+} + v^+ \frac{\partial T^+}{\partial y^+} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T^+}{\partial x^{+2}} + \frac{\partial^2 T^+}{\partial y^{+2}} \right)$$

5.3.2 الشروط الحدية:

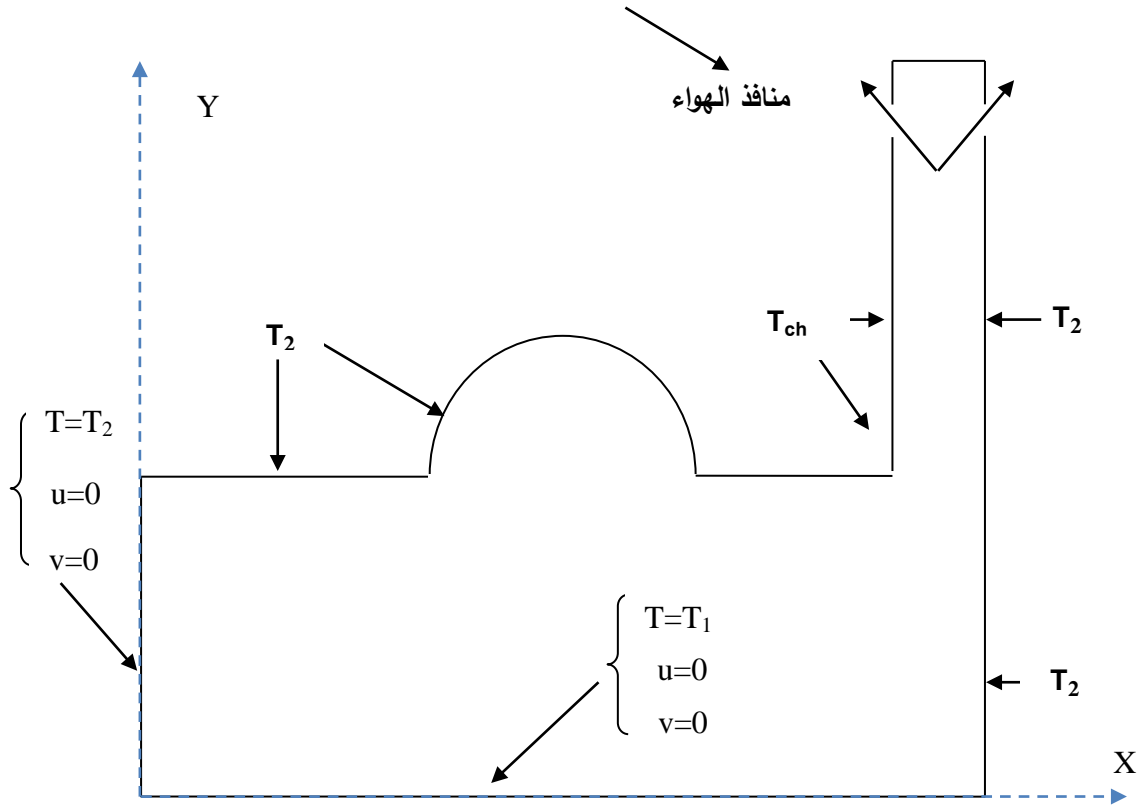
$$\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{\partial T}{\partial y} = 0 \quad \text{الشروط الحدية عند مخرج الهواء:}$$

$T=T_1$ $u=v=0$ الشروط الحدية بالنسبة للأرضية

$T=T_2$ $u=v=0$ الشروط الحدية للجدران

$T=T_{ch}$ $u=v=0$: الشروط الحدية بالنسبة لسطح الماص للحرارة

$$\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{\partial T}{\partial y} = 0$$



الشكل (2.2): الشروط الحدية داخل المبنى

الفصل الثالث:

المحاكاة العددية

1.3 المقدمة:

إن دراسة حركة الهواء وكذا انتقال الحرارة داخل المبنى من بين المسائل التي يصعب علينا حلها و الوصول إلى نتائجها بالطريقة التحليلية وذلك بسبب هندستها المعقدة، مما يقودونا إلى اللجوء إلى إيجاد حل تقريبي وذلك باستعمال المحاكاة العددية بواسطة استخدام أحد البرامج المستعملة في تطبيقات حركات الموائع والتي من بينها: Ansys Fluent, Open Foam, Cmsol Multiphysics حيث استعملنا هذا الأخير في دراستنا من أجل معرفة انتقال الحرارة عن طريق إجراء محاكاة لظاهرة الحمل الطبيعي داخل حيز هندسي يأخذ شكل المسجد.

2.3 تقديم شامل لبرنامج Cmsol Multiphysics:

1.2.3 التعريف بالبرنامج:

برنامج Cmsol عبارة عن حزمة برمجية لتحليل العناصر المنتهية التي تستعمل في محاكاة العديد من التطبيقات الفيزيائية و الهندسية، خاصة الظواهر المقترنة، أو الفيزياء المتعددة. فهو يتضمن بيئة كاملة لنمذجة أي ظاهرة فيزيائية، حيث يمكن بواسطته حل شتى أنواع المعضلات العلمية والهندسية القائمة على المعادلات التفاضلية الجزئية (PDEs) وذلك باعتماده على طريقة العناصر المنتهية عن طريق تقسيم المجال إلى عدد كبير من العناصر لتتحول المعادلات التفاضلية إلى معادلات جبرية بسيطة يمكن حلها بالطرق الحسابية باستعمال الطرق التكرارية لحل جمل المعادلات.

من بين مجالات استخدام البرنامج: ديناميكيات الموائع، النقل الحراري، التخزين الجيولوجي للمياه الجوفية، تحليل استخراج الغاز والبتترول، تدفق الوسائط المسامية المشبعة وغير المشبعة... الخ.

1.1.2.3 طريقة العناصر المنتهية:

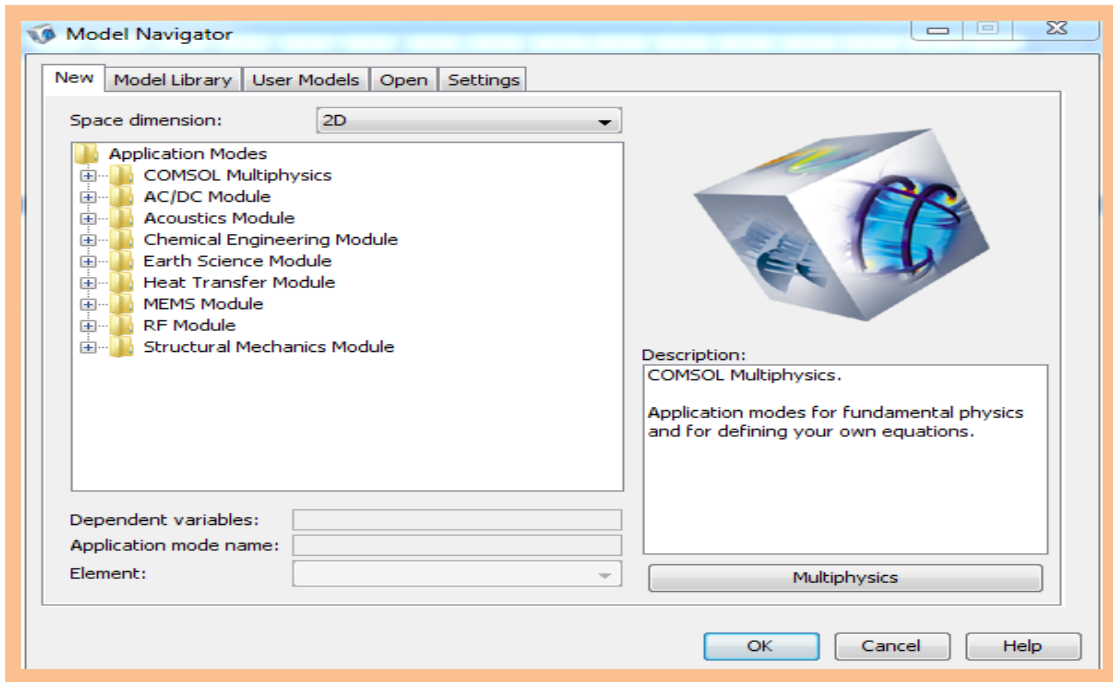
طريقة العناصر المنتهية هي واحدة من الطرق التي تستعمل التقريبات و التجزيء في حل المعادلات التفاضلية تعرف أيضا بتحليل العناصر المنتهية. تعتمد أساسا على تقسيم الحيز الهندسي إلى شبكة ذات عناصر منتهية العدد.

2.2.3 نقاط قوة البرنامج Comsol Multiphysics:

- بإمكانه التعامل مع الظواهر الفيزيائية المتغيرة مع الزمن أو الثابتة و إيجاد حلول للأنظمة الأحادية، الثنائية و الثلاثية الأبعاد.
- حل ومعالجة أنظمة النماذج التقليدية لنوع واحد من الفيزياء وتعميمها إلى نماذج متعددة الفيزياء.
- توفره على ميزة دمج اقتران المجالات ذات الأبعاد المختلفة للمساحة في نفس المشكلة.
- قدرته على تبسيط النمذجة و التقليل من وقت التنفيذ.

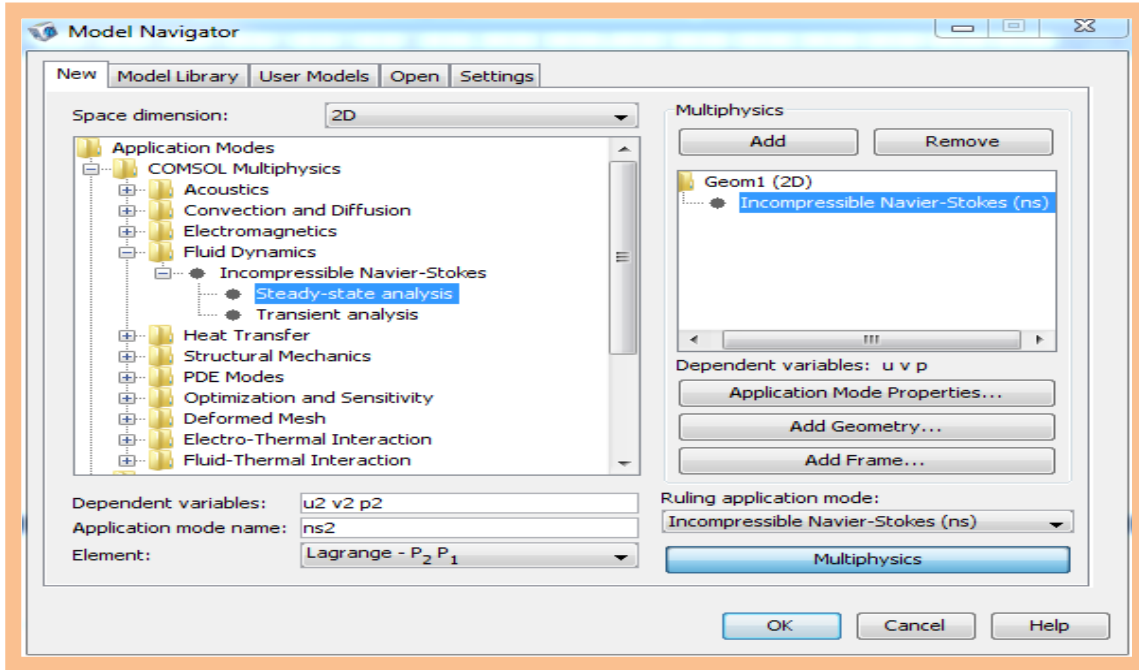
3.2.3 خطوات العمل على برنامج Comsol:

الخطوة 01: تشغيل البرنامج لتظهر لنا نافذة البرنامج الرئيسية (Model Navigator) التي تسمح بضبط بعد و نمط التطبيق للبدء في النمذجة المراد دراستها فهي تعتبر الواجهة التي يتم فيها التحكم في جميع إعدادات البرنامج الأولية، كذلك يمكن فتح المكتبة النموذجية التي تتوفر على تطبيقات موجودة سابقا.



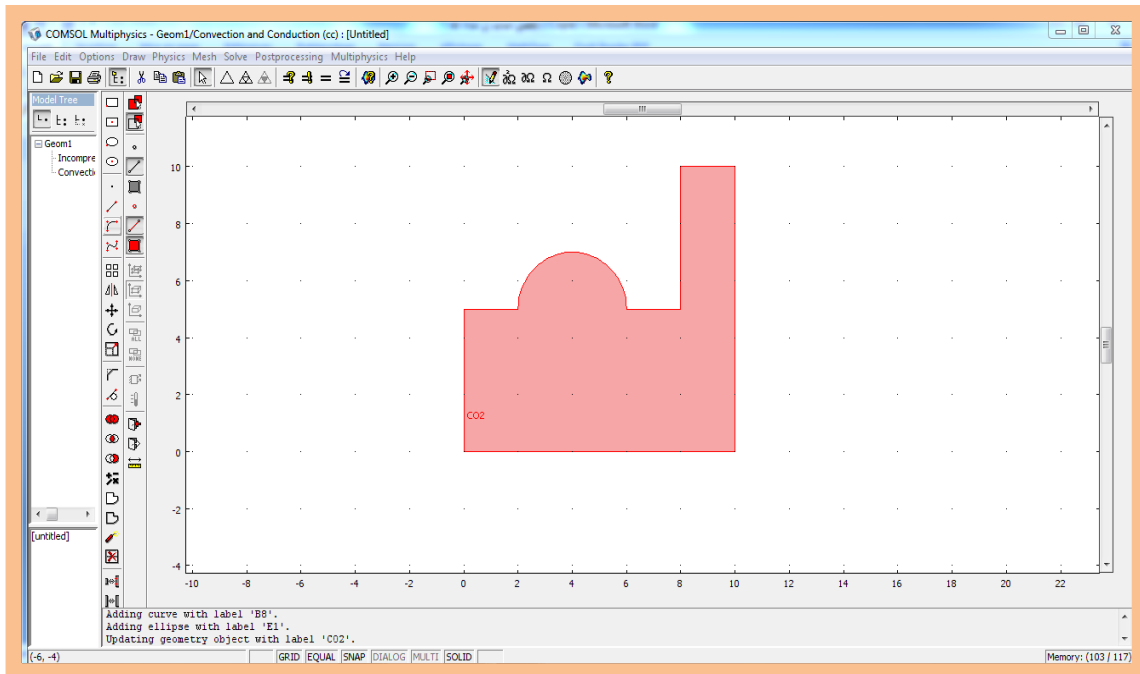
الشكل (3.1): الواجهة Model Navigator.

الخطوة 02: يتم فيها تحديد بعد ونمط التطبيق للنموذج .



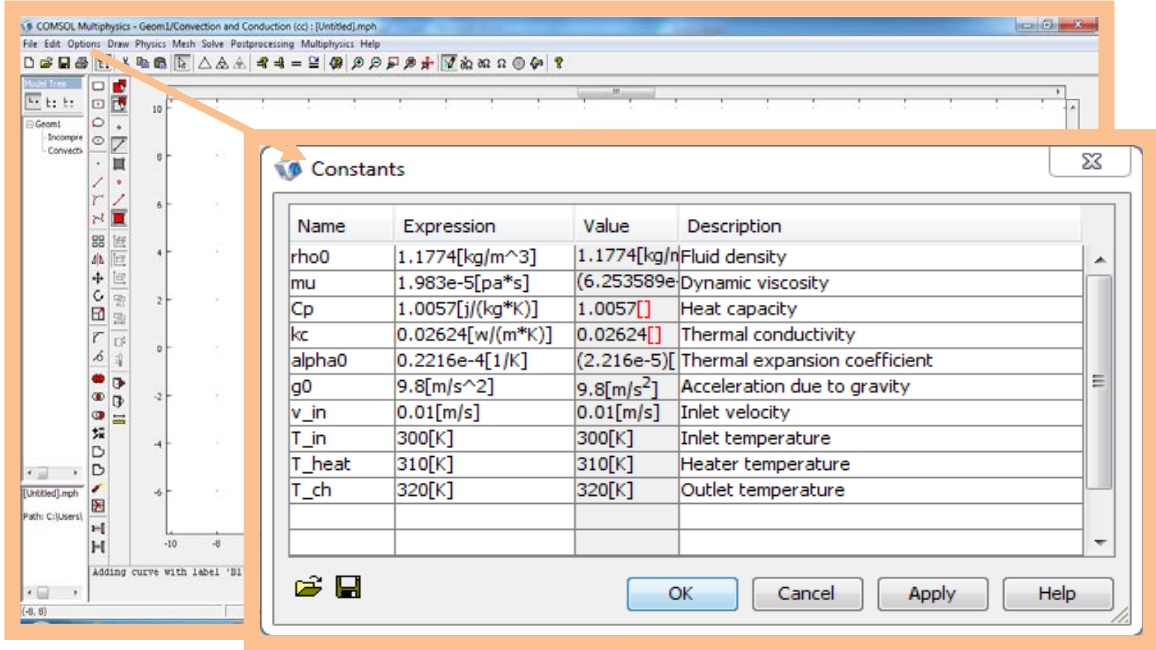
الشكل (3.2): خطوات تحديد بعد ونمط التطبيق للنموذج.

الخطوة 03: انشاء الشكل الهندسي .



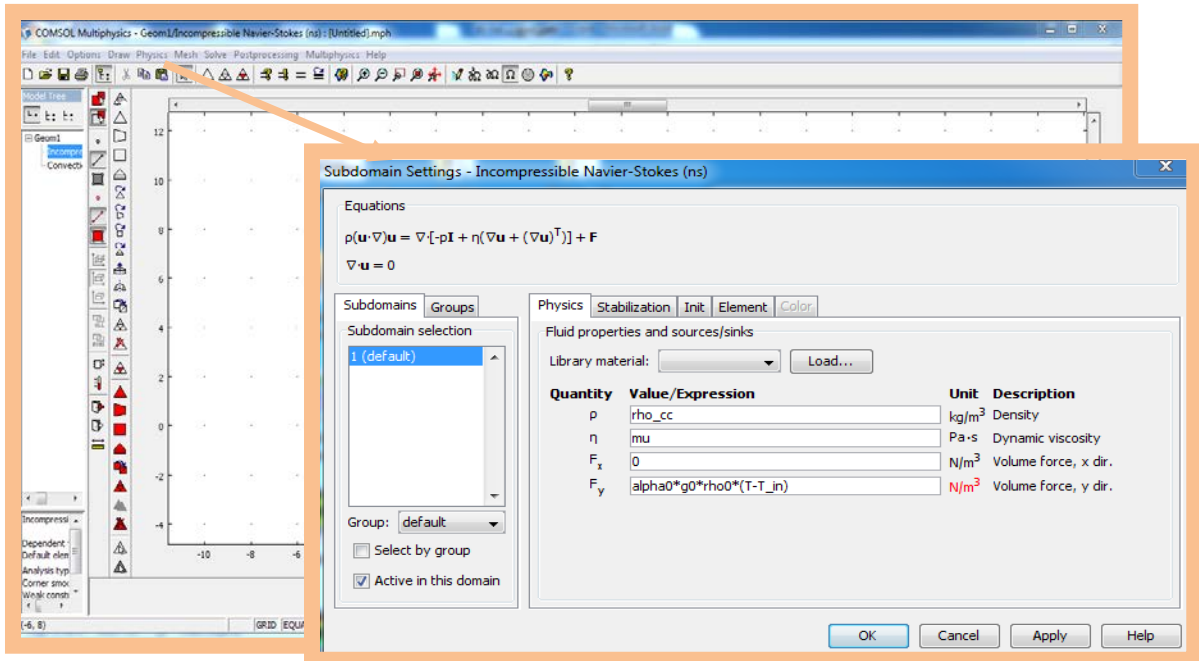
الشكل (3.3): هندسة النموذج الفيزيائي.

الخطوة 04: ادخال الثوابت الخاصة بالنموذج.



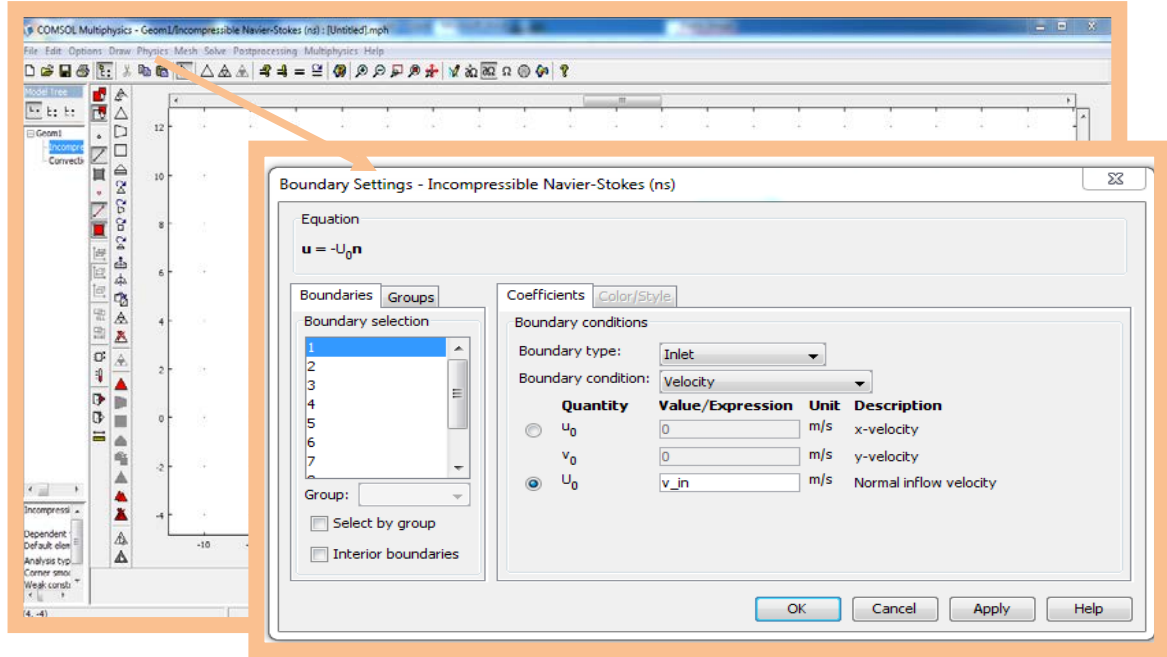
الشكل (3.4): نافذة ضبط الثوابت الخاصة بالنموذج.

الخطوة 05: تعيين المعلومات لكل نمط في النموذج الفيزيائي.



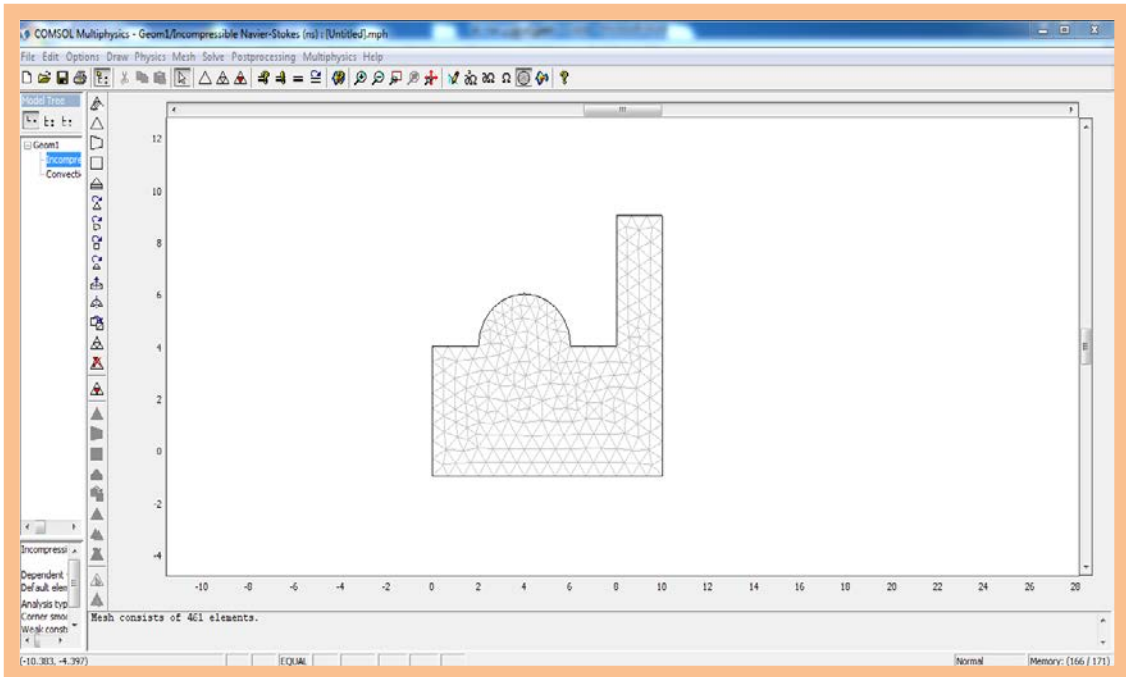
الشكل (3.5): تحديد المعلومات الخاصة بالنموذج الفيزيائي لكل نمط.

الخطوة 06: تعيين خصائص ووظيفة كل سطح (الشروط الحدية) لكل نمط.



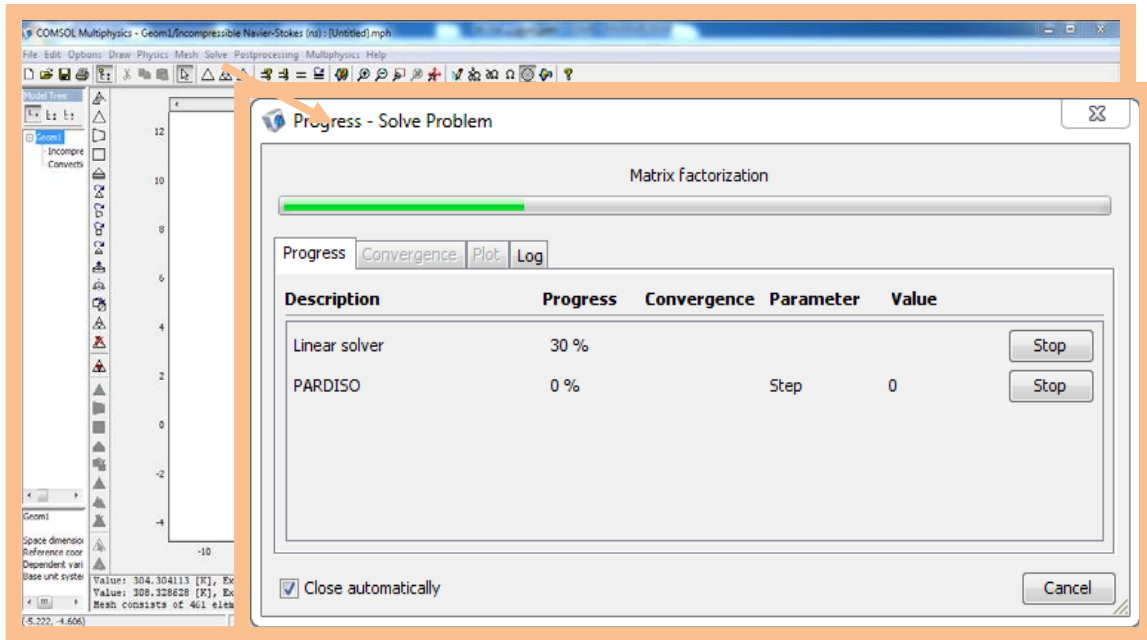
الشكل (3.6): تعيين الشروط الحدية لنمط الأول.

الخطوة 07: تقسيم الحيز الهندسي إلى مجموعة من الشبكات.



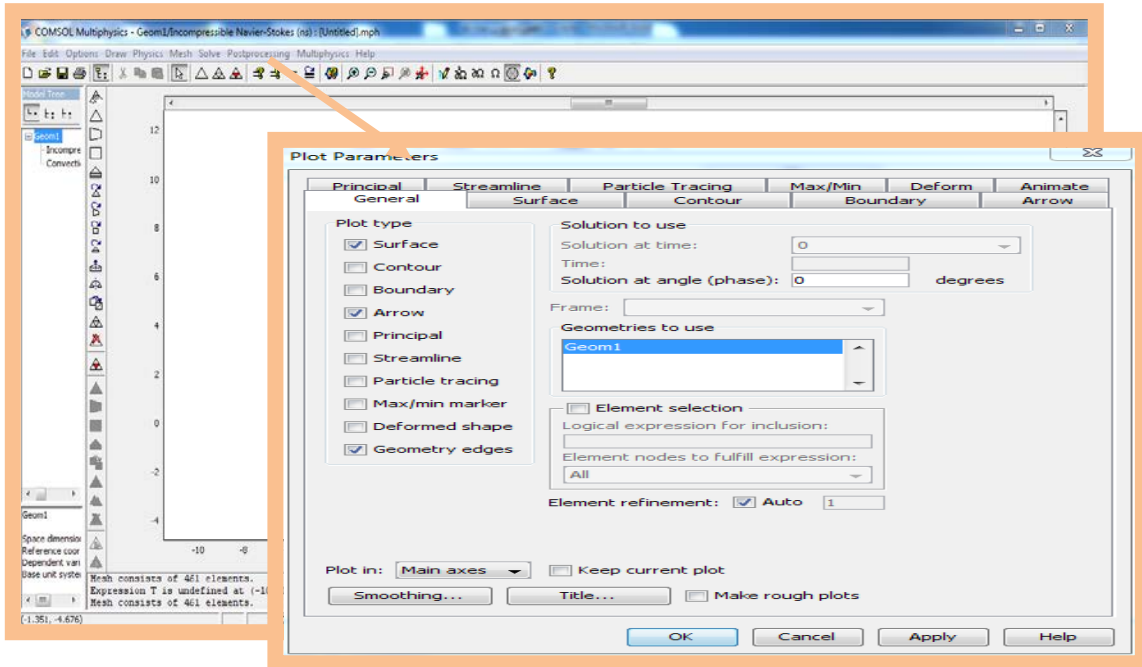
الشكل (3.7) شبكة تقسيم المجال الهندسي.

الخطوة 08: الحساب والمعالجة (حل النموذج).



الشكل (3.8): البدء في حل النموذج.

الخطوة 09: نتائج المحاكاة.



الشكل (3.9): ضبط طريقة إظهار نتائج المحاكاة.

الفصل الرابع:

النتائج و المناقشة

1.4 المقدمة:

نتطرق في هذا الفصل الأخير إلى عرض ومناقشة نتائج المحاكاة العددية التي قمنا بإجرائها باستعمال برنامج Comsol Multiphysics داخل حيز هندسي يصف شكل مبسط للمسجد حيث اعتمد على دور المأذنة الذي يحاكي المدخنة الشمسية وهو ما يمثل هدف هذه الدراسة الذي استخدمنا فيه هذه الوسيلة لتحقيق الراحة الحرارية داخل عنصر مهم في العمارة الإسلامية ألا وهو المسجد والتي تعتمد في مبدأ عملها على ظاهرة الحمل الحراري الطبيعي الذي يعمل على نقل الحرارة عبر حركة الهواء الناتجة من إختلاف في كثافة المائع تحت تأثير الفارق في الحرارة.

2.4 الخصائص و الأبعاد الهندسية للمبنى موضوع المحاكاة:

يتمثل شكل المبنى الذي أجرينا عليه المحاكاة العددية في حيز هندسي $(10 \times 5)m^2$ يحتوي على مدخل للهواء حيث لا نعتمد على تأثير التهوية الخارجية باعتبار السرعة الخارجية للهواء منعدمة $v_{in}=0$ m/s ودرجة حرارته $T_1=27^\circ$ و منفذ للهواء من أعلى المدخنة العمودية ذات السطح الماص للحرارة على ارتفاع 10 m بالإضافة إلى نصف دائرة قطرها 4m كما تعتبر أرضية المبنى سطح ناشر للحرارة ذو درجة حرارة ثابتة $T_2=37^\circ$

3.4 الخصائص الفيزيائية للمائع (الهواء): [29]

جدول (1.4): يوضح الخصائص الفيزيائية للهواء عند درجة حرارة 27° .

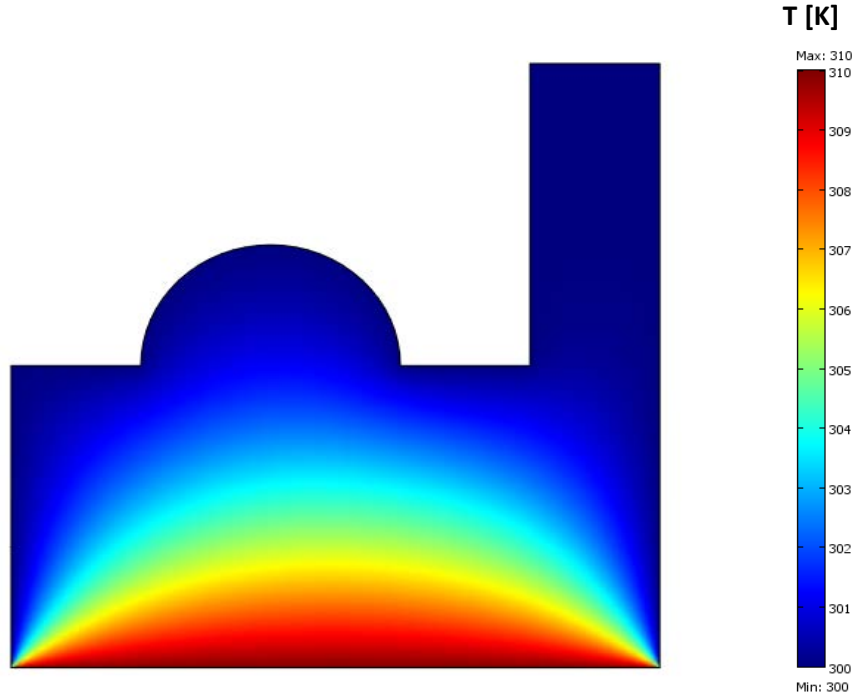
الخصائص المائع	الكتلة الحجمية [kg.m ⁻³]	اللزوجة ديناميكية [kg. m ⁻¹ .s ⁻¹]	السعة الحرارية [j.kg ⁻¹ .k ⁻¹]	الناقلية الحرارية [w. m ⁻¹ .k ⁻¹]	معامل التمدد الحراري [k ⁻¹]
الهواء	1.1774	$1.846 \cdot 10^{-5}$	$1.0057 \cdot 10^3$	$2.624 \cdot 10^{-2}$	$3.35 \cdot 10^{-3}$

4.4 نتائج المحاكاة العددية لدور المدخنة الشمسية بدون تهوية خارجية $V_{in}=0$ m/s :

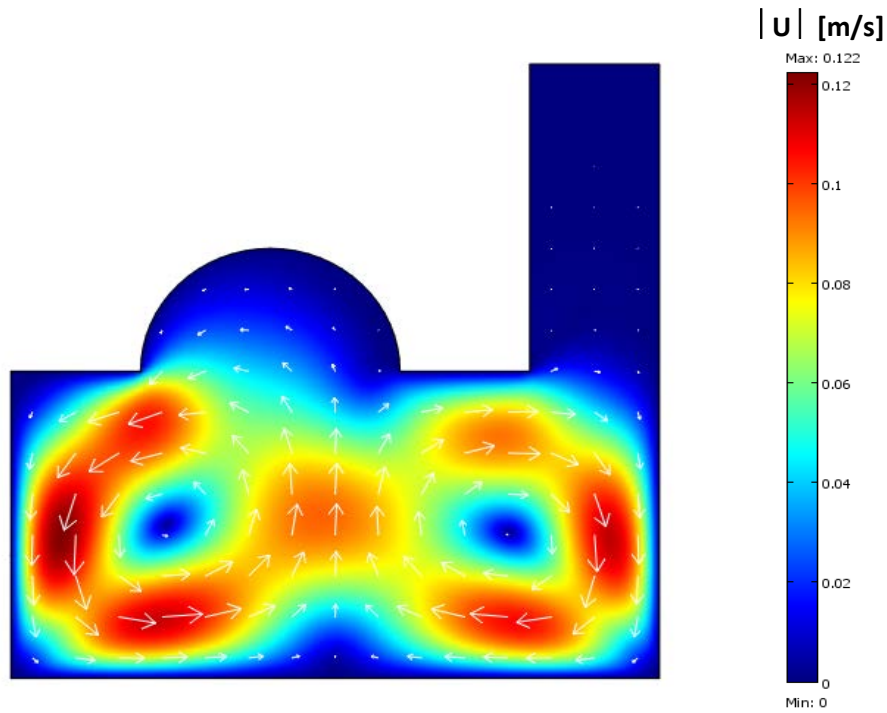
1.4.4 بدون التأثير الحراري للمدخنة $\Delta T_{ch}=0$ C°

النتائج التي تم الحصول عليها في هذه الحالة موضحة في الشكلين (4.1)، (4.2) والتي تبين التوزيع الحراري داخل المبنى و كذلك حقل السرعات ومساحات تساوي السرعات. نلاحظ من خلال الشكل (4.1) توزيع الحرارة داخل المبنى يأخذ شكل القبة حيث نجد أن درجة الحرارة على سطح الأرضية كبيرة بفارق 10° مما هي عليه في الأجزاء الأخرى أين تكون فيه منخفضة حيث أن درجة الحرارة تنخفض تدريجيا كلما ابتعدنا عن الأرضية في هذه الحالة انتقال الحرارة يتم عبر ظاهرة شبه النقل حراري لأن ظاهرة الحمل الحراري الطبيعي ضعيفة وغير نشطة في عملية التهوية الطبيعية وذلك بسبب حجم الفراغ داخل المبنى و كذلك غياب التأثير الحراري للمدخنة شمسية وعدم وجود تهوية خارجية.

أما بالنسبة للشكل (4.2) الذي يبين حقل و مساحات تساوي السرعات داخل المبنى بدون تأثير المدخنة الشمسية نلاحظ تشكل حلقتين تدوران في اتجاهين متعاكسين داخل فراغ المبنى و هذه الظاهرة معروفة باسم ظاهرة عدم الاستقرار لريلي بينارد (Rayleigh-Bénard) التي تؤكد حدوث ظاهرة الحمل الحراري الطبيعي رغم ضعفه حيث أن أقصى محصلة لسرعة الهواء بلغت $|U_{max}| = 0.122$ m/s، كما نلاحظ أن الهواء لا يرتفع داخل المدخنة حيث أن حركة الهواء عبرها تكاد تكون منعدمة. في هذه الحالة المدخنة لا تؤدي أي دور في عملية تحريك الهواء أو سحبه من المبنى إلى خارجه لأن الفارق في درجة الحرارة بين الأرضية و باقي الجدران لا يكفي وحده في توليد حركة هواء عبر المدخنة.



الشكل (4.1): التوزيع الحراري داخل المبنى بدون تأثير المدخنة الشمسية $\Delta T_{ch}=0$ C^o.



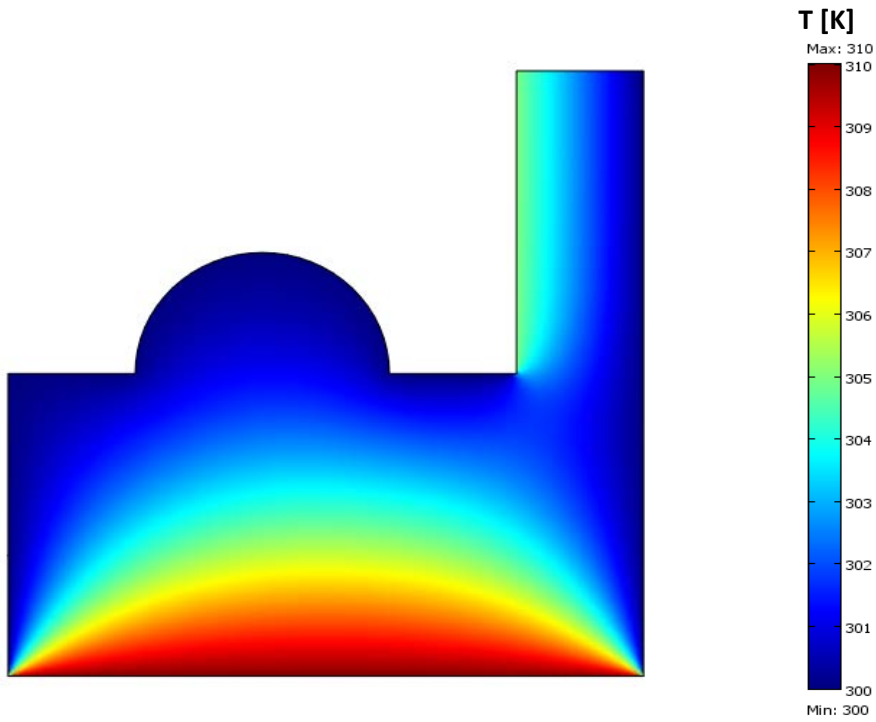
الشكل (4.2): حقل و مساحات تساوي السرعات داخل المبنى بدون تأثير المدخنة

الشمسية $\Delta T_{ch}=0$ C^o.

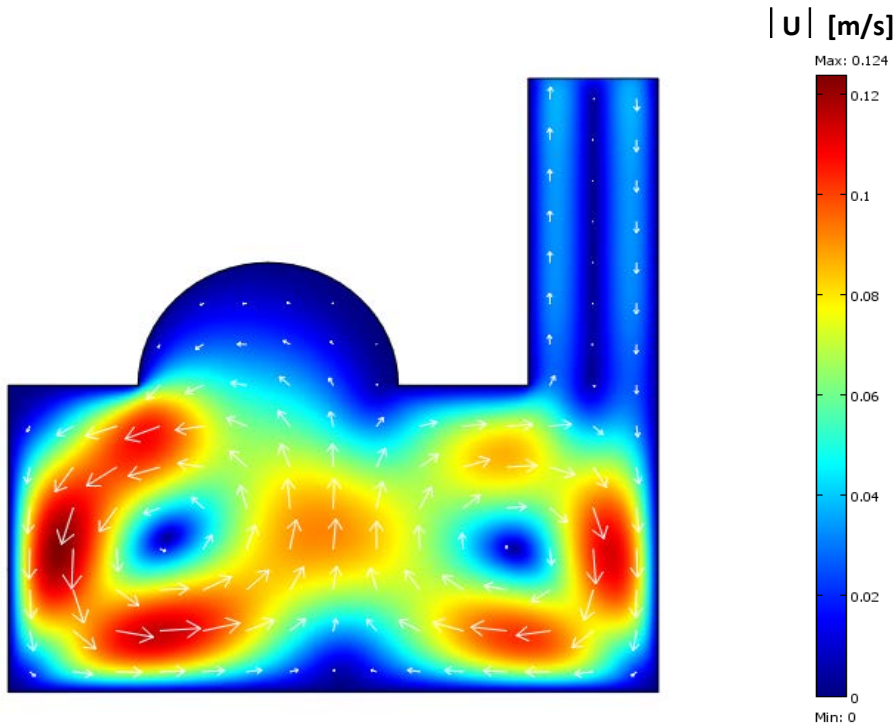
2.4.4 التأثير الحراري للمدخنة بفارق في درجة الحرارة $\Delta T_{ch}=5C^{\circ}$:

النتائج موضحة في الشكلين (4.3)، (4.4) والتي تبين كل من التوزيع الحراري و حقل السرعات داخل المبنى. تبين من الشكل (4.3) أن توزيع الحرارة داخل المبنى مشابه للشكل السابق مع تغير في توزيع درجة الحرارة على مستوى السطح الماص للمدخنة، حيث أن درجة الحرارة تنخفض تدريجيا كلما ابتعدنا عن الأرضية في هذه الحالة انتقال الحرارة يتم دائما عبر ظاهرة شبه النقل حراري في الفراغ الرئيسي للمبنى حيث تبقى ظاهرة الحمل الحراري الطبيعي الناتج ضئيلة نسبيا حتى مع تأثير المدخنة الشمسية بفارق 5° بين الجدار الماص للحرارة و حرارة الجدران المجاورة التي هي نفسها درجة حرارة الهواء الخارجي.

أما في الشكل (4.4) نلاحظ بالنسبة لتوزيع خطوط و مساحات تساوي السرعة المحصلة تشكل دوامتين تدوران في اتجاهين متعاكسين حيث تبقى الجهة اليسرى للمبنى أكثر نشاطا في ما يخص حركة الهواء الدورانية تحت تأثير الحمل الحراري الطبيعي لعدم وجود أي عامل آخر كالتهووية الخارجية. و على عكس الحالة الأولى فإن حركة الهواء عبر المدخنة بدأت في الظهور و لو بنسبة ضئيلة و هذا تحت التأثير الحراري للمدخنة حيث نلاحظ صعود الهواء الدافئ إلى أعلى المدخنة من الجهة المجاورة للجدار الماص للحرارة و نزوله إلى أرضية المبنى من الجهة الأقل حرارة كما زادت شدة السرعة القصوى نسبيا إلى قيمة $|U_{max}| = 0.124 \text{ m/s}$ ، نلاحظ إذا في هذه الحالة أن تأثير المدخنة الشمسية غير فعال بسبب الفارق الضئيل في درجة الحرارة بين الجدار الماص و درجة حرارة الهواء الخارجية و الذي يقدر ب 5° فقط.



الشكل (4.3): التوزيع الحراري داخل المبنى مع تأثير المدخنة بفارق حراري $\Delta T_{ch}=5C^{\circ}$.



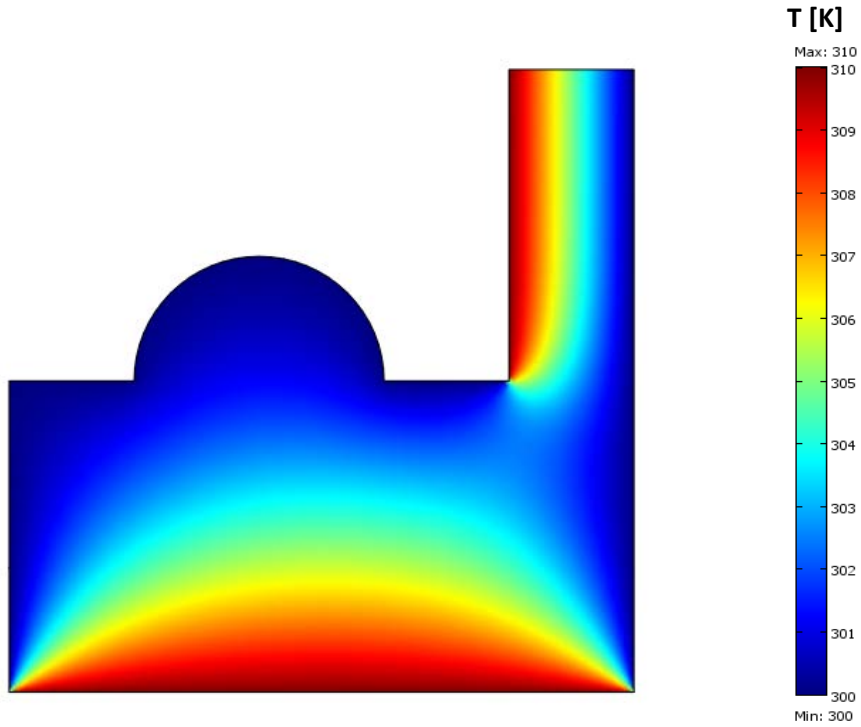
الشكل (4.4): حقل و مساحات تساوي السرعات داخل المبنى مع تأثير المدخنة بفارق

حراري $\Delta T_{ch}=5C^{\circ}$.

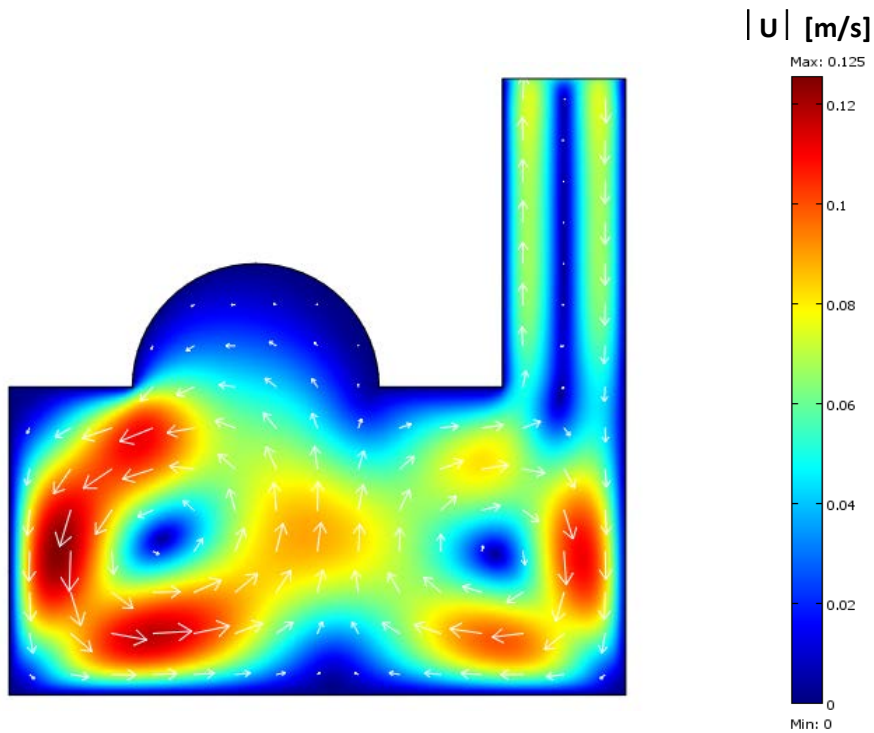
3.4.4 التأثير الحراري للمدخنة بفارق في درجة الحرارة $\Delta T_{ch}=10C^{\circ}$:

نتائج المحاكاة التي تم الحصول عليها في هذه الحالة موضحة في الشكلين (4.5)، (4.6) التي تمثل التوزيع الحراري وحقل محصلة السرعات داخل كل من المبنى و المدخنة. يبين الشكل (4.5) أن توزيع الحرارة في الفراغ الرئيسي يتناقص تدريجياً كلما ابتعدنا عن أرضية المبنى ذات درجة الحرارة العالية و هذا التدرج يتحكم فيه شبه النقل الحراري لأن تيارات الهواء الناتجة عن الحمل الحراري الطبيعي تبقى ضعيفة رغم الزيادة في تأثير المدخنة الشمسية و هذا بزيادة الفارق في درجة الحرارة . كما أن التدرج الأفقي في درجة الحرارة من الجدار الماص بدرجة حرارة عالية إلى الجهة الأقل حرارة حيث أن الفارق يساوي $\Delta T_{ch}=10C^{\circ}$ يحدث بنفس الكيفية العمودية من الأرضية إلى السطح حيث يبقى تمركز الحرارة على مستوى السطح الماص للمدخنة الشمسية و كذلك الأرضية.

أما بالنسبة للشكل (4.6) الذي يظهر مساحات تساوي السرعات و حقل السرعات المبين بالأسهم فإن تشكل دوامتان تدوران في اتجاهين متعاكسين هو نتيجة لحركة الهواء المتولدة عن ظاهرة الحمل الحراري الطبيعي و المعروفة بدوامات رايلي - بينارد و التي تبقى شدتها ضعيفة جداً رغم الارتفاع الطفيف في قيمة السرعة المطلقة القصوى من $|U_{max}| = 0.124 \text{ m/s}$ إلى $|U_{max}| = 0.125 \text{ m/s}$ و هذا كنتيجة مباشرة للزيادة في تأثير المدخنة الشمسية الذي يبقى غير فعال و لا يحدث فارقاً كبيراً في عملية سحب الهواء من فراغ المبنى عبر المدخنة العمودية. كما نلاحظ كذلك أن الزيادة في الفرق في درجة الحرارة من $5^{\circ} C$ إلى $10^{\circ} C$ نتج عنه زيادة في تأثير المدخنة الشمسية من خلال زيادة نسبة و سرعة الهواء الساخن المتصاعد عبر المدخنة إلى المحيط الخارجي و لكن هذه السرعة تبقى ضعيفة نسبياً و هذا ما جعل الهواء ينزل إلى أرضية المبنى عبر المدخنة بعد انخفاض درجة حرارته مرة أخرى في الوسط الخارجي.



الشكل (4.5): التوزيع الحراري داخل المبنى مع تأثير المدخنة بفارق حراري $\Delta T_{ch}=10C^{\circ}$.



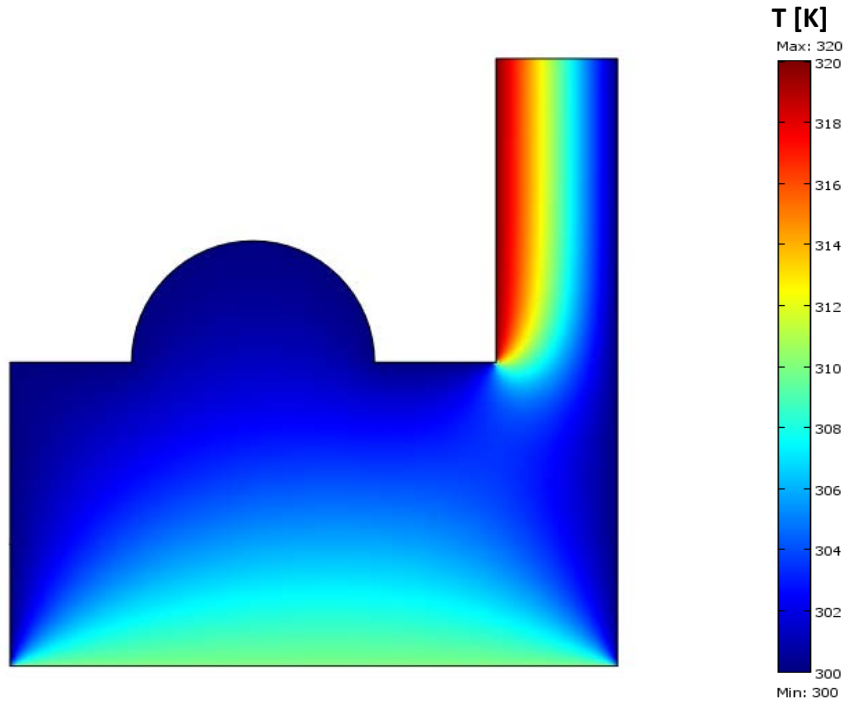
الشكل (4.6): حقل و مساحات تساوي السرعات داخل المبنى مع تأثير المدخنة بفارق

حراري $\Delta T_{ch}=10C^{\circ}$.

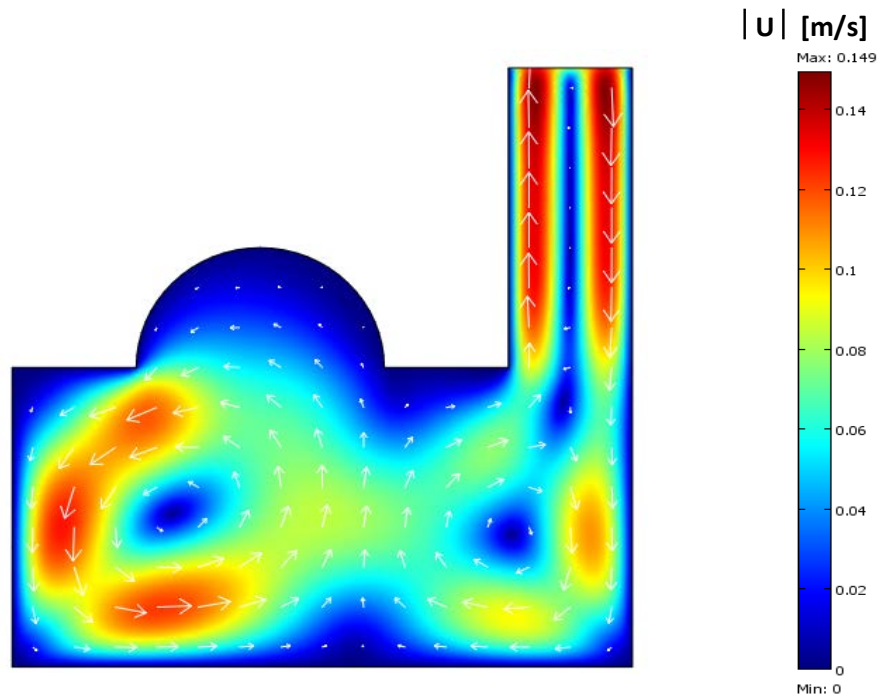
4.4.4 التأثير الحراري للمدخنة بفارق في درجة الحرارة $\Delta T_{ch}=20C^{\circ}$:

النتائج التي تم الحصول عليها مرفقة في الشكلين (4.7)، (4.8) والتي توضح التوزيع الحراري وحقل السرعات داخل فراغ المبنى. نلاحظ من خلال الشكل (4.7) أن توزيع الحرارة في الفراغ الرئيسي لا يختلف عن الحالات السابقة رغم الزيادة الملموسة في فارق درجة حرارة الجدار الماص و حرارة المحيط الخارجي حيث بلغ $\Delta T_{ch}=20C^{\circ}$ و هو ضعف الفارق بين الأرضية و درجة حرارة الجدران الأخرى و التي تعادل درجة حرارة الهواء الخارجي. كما أصبح تمركز الحرارة على مستوى المدخنة و كذلك التدرج الأفقي في درجة الحرارة من الجدار الماص إلى الجهة الأخرى يحدث بنفس الكيفية العمودية من الأرضية إلى السطح.

بالنسبة للشكل (4.8) الذي يظهر مساحات تساوي السرعات و حقل السرعات المبين بالأسهم فإن تشكل حركة الهواء داخل فراغ المبنى يخضع دائما إلى ظاهرة رايلي - بينارد و التي تتميز بدوامات حلقيه لها سرعة دورانية و كل دوامتان متجاورتان لهما اتجاهان متعاكسان كما أن حجم و شكل كل دوامة يتناسب مع الخصائص الهندسية المجاورة لمحيطها حيث أن الدوامة الأكبر حجما تتمركز في الجانب الأيسر من المبنى. نلاحظ في هذه الحالة أن تأثير المدخنة الشمسية أصبح أكثر وضوحا على حركة الهواء داخل فراغ المبنى و كذلك داخل المدخنة العمودية حيث أن السرعة القصوى للهواء انتقلت من تمركزها داخل الدوامة المتواجدة على يسار المبنى في الحالات السابقة إلى المدخنة الشمسية و بلغت شدتها $|U_{max}| = 0.149 \text{ m/s}$ وهذا الارتفاع الملموس في شدة حركة الهواء و كذلك تغيير تمركزها هي نتيجة مباشرة للزيادة في تأثير المدخنة الشمسية الذي أحدث فارقا كبيرا. كما نلاحظ كذلك أن الزيادة في الفرق في درجة الحرارة من 5°C إلى 20°C أعطى أكثر فعالية لتأثير المدخنة الشمسية داخل المبنى من خلال زيادة نسبة و سرعة الهواء الساخن المتصاعد عبر المدخنة إلى المحيط الخارجي و لكن هذه السرعة تبقى ضعيفة نسبيا مقارنة بخصائص الهواء في المحيط الخارجي.



الشكل (4.7): التوزيع الحراري داخل المبنى مع تأثير المدخنة بفارق حراري $\Delta T_{ch}=20C^{\circ}$.



الشكل (4.8): حقل و مساحات تساوي السرعات داخل المبنى مع تأثير المدخنة بفارق

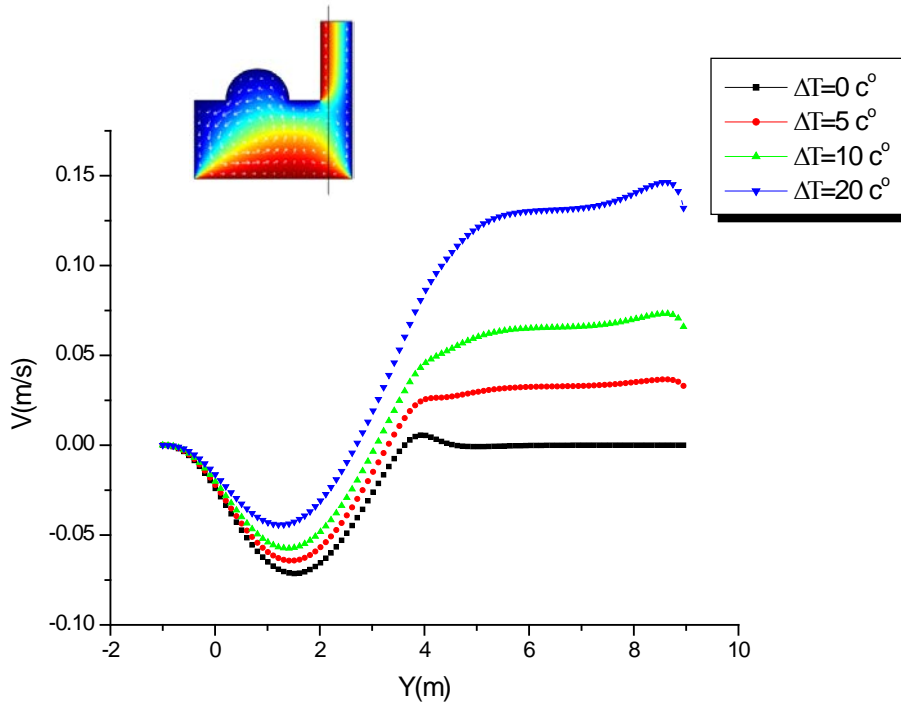
حراري $\Delta T_{ch}=20C^{\circ}$

5.4 مقارنة نتائج التأثير الحراري للمدخنة الشمسية على حركة الهواء :

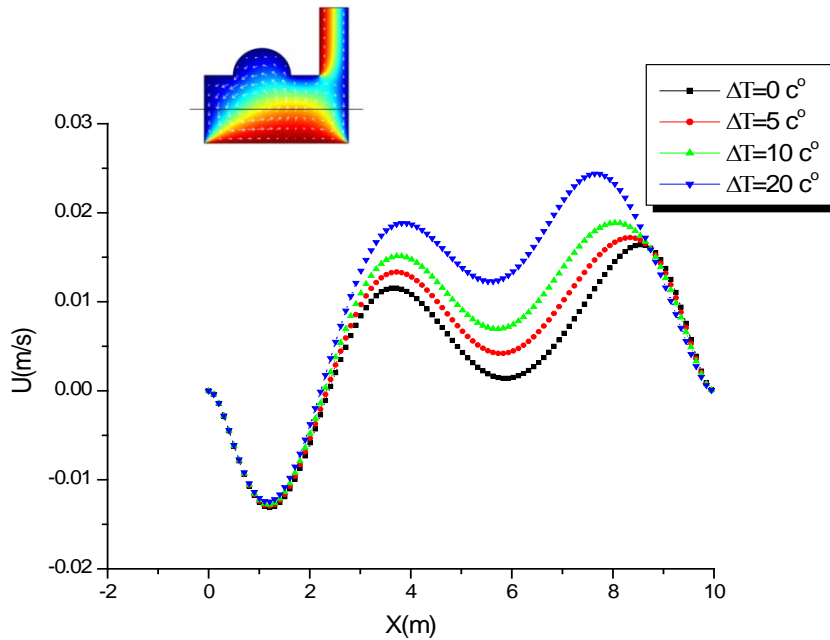
نتائج المقارنة التي تم الحصول عليها موضحة في الشكلين (4.9) و(4.10) والتي تمثل مقارنة السرعات العمودية للهواء عبر المدخنة على بعد 8.5m من مدخل المبنى و مقارنة السرعات الأفقية للهواء داخل حجم المبنى على ارتفاع 2.5m من الأرضية وذلك بدلالة الفارق في درجة حرارة الجدار الماص للمدخنة ΔT_{ch} في كل من الحالتين.

بالنسبة للشكل (4.9) أظهرت نتائج المقارنة أن زيادة الفارق في درجة حرارة المدخنة الشمسية يؤثر مباشرة في حركة الهواء المتصاعد عبر المدخنة و هذا التأثير يتجلى من خلال الزيادة في السرعة العمودية للهواء كلما زاد الفارق في درجة حرارة الجدار حيث تكون شبه معدومة تقارب الصفر في حالة غياب التأثير الحراري للمدخنة عند الفرق في درجة الحرارة $0c^{\circ}$ حتى تصل إلى قيمة تقدر 0.149 m/s عندما يكون الفارق الحراري للمدخنة يساوي $20c^{\circ}$. كما نلاحظ أن حركة الهواء داخل المدخنة تتأثر بفعالية الحمل الحراري الناتج عن الزيادة في فارق درجة الحرارة بين الجدار الماص و درجة حرارة المحيط و هذا التأثير لا يقتصر على الهواء داخل المدخنة فقط بل يتعدى إلى الهواء المجاور للأرضية و الذي غالبا ما يكون ساكنا و هذا لغياب أي تأثير خارجي.

أما بالنسبة لنتائج مقارنة السرعة الأفقية المبينة في الشكل (4.10) نلاحظ من خلالها أن التأثير الحراري للمدخنة الشمسية لا يكاد يكون ملموسا و هذا نتيجة لقيمة سرعة الهواء الأفقية التي تعتبر ضعيفة جدا و التي تصل قيمتها القصوي إلى 0.025 m/s ، كما نلاحظ أن تأثيرا طفيفا جدا يحدث في النصف الأيمن من المبنى و هذا لقربه من المدخنة حيث يتأثر الهواء المجاور بتغير الفارق في الحرارة بين الجدار الماص و باقي أجزاء المبنى.



الشكل (4.9): مقارنة السرعات العمودية للهواء داخل المدخنة ($x=8.5m$) بدلالة الفارق في درجة حرارة الجدار الماص للمدخنة الشمسية ΔT_{ch}



الشكل (4.10): مقارنة السرعات الأفقية للهواء داخل حجم المبنى على ارتفاع ($y=2.5m$) بدلالة الفارق في درجة حرارة الجدار الماص للمدخنة ΔT_{ch}

الخاتمة

قمنا في دراستنا هذه بإجراء محاكاة عددية لدور المدخنة الشمسية داخل حيز هندسي يحاكي شكل المسجد الذي يعتبر عنصرا مهما في العمارة الإسلامية و هذا باستعمال برنامج محاكاة عددية Comsol Multiphysics الذي يعتمد على طريقة العناصر المنتهية لحل المعادلات التفاضلية (الاستمرارية، الحركة و الطاقة) الواصفة للظاهرة الفيزيائية موضوع هذا العمل و هي الحمل الحراري الطبيعي.

و من خلال نتائج المحاكاة العددية التي قمنا بإجراءها في حالة غياب التأثير الحراري للمدخنة الشمسية بالإضافة إلى التأثير الحراري للمدخنة بفارق 5°C ثم 10°C وبعدها 20°C و مع غياب التهوية الخارجية في كل هذه الحالات يمكننا أن نستنتج ما يلي:

❖ ظاهرة الحمل الحراري الطبيعي تكون ضعيفة وغير فعالة في عملية التهوية الطبيعية في حالة عدم وجود تأثير حراري للمدخنة. كما أن في هذه الحالة الفارق في درجة الحرارة بين الأرضية وباقي الجدران لا يكفي في تحريك الهواء حيث تكون حركة الهواء عبر المدخنة الشمسية شبه منعدمة في غياب دور المدخنة.

❖ إن الحمل الحراري الطبيعي الناتج عبر المدخنة الشمسية يعتمد على الفارق في درجة الحرارة بين الجدار الماص ودرجة حرارة الهواء الخارجية، كلما زاد الفارق تزيد فعالية الحمل الحراري لكن تبقى في هذه الدراسة ضعيفة نسبيا وذلك يعود إلى سببين :

- غياب تيارات الهواء الخارجية التي تلعب دورا هاما في عملية التهوية الطبيعية.
- الحجم المعتبر للمبنى مقارنة بتيارات الهواء الناتجة.

❖ دور المدخنة الشمسية يزداد فعالية كلما زاد الفارق في درجة الحرارة، كما أنه يلعب دورا هاما في عملية تسريع سحب الهواء عبر المدخنة العمودية و لكنه لا يؤثر بشكل فعال في تحريك الهواء أفقيا من مدخل المبنى إلى جوار المدخنة .

❖ نظرا لأن أقصى سرعة هواء متحصل عليها تحت تأثير المدخنة الشمسية و التي تبلغ قيمتها 0.149 m/s و تحت تأثير فارق حراري يقدر ب 20°C و اعتمادا على سلم

[30] Beaufort لقياس سرعة الهواء في الجو الخارجي حيث أن سرعة 0.28 m/s هي سرعة ينتجها الحمل الحراري الطبيعي في الظروف المثالية مع رياح أفقية منعدمة، فإننا نستنتج أن سرعة الهواء الناتجة عن التأثير الحراري للمدخنة تقارب نصف سرعة الهواء الخارجي في أحسن الظروف و كون حجم المبنى كبير نسبيا فإن دور المدخنة غير فعال في حالتنا هذه دون تهوية خارجية.

❖ وفي الأخير نستنتج أنه لتحقيق الراحة الحرارية داخل المسجد بالاعتماد على المأذنة لتلعب دور المدخنة الشمسية يجب توفير فارق عال في درجة الحرارة على مستوى المدخنة مع توفير تهوية خارجية تساعد في زيادة تيارات الحمل الحراري الطبيعي التي تعمل على تحقيق التهوية الطبيعية لتوفير الراحة الحرارية.

يمكننا تحسين هذه الدراسة في المستقبل من خلال تحليل تأثير التهوية الخارجية على دور المدخنة الشمسية و كذلك على توفير الراحة الحرارية، كما يمكن إجراء دراسة شاملة لكل أجزاء المبنى و تأثير العناصر الأخرى و أبعادها الهندسية مثل القبة و منافذ الهواء و ارتفاع المدخنة الشمسية و كل هذا من أجل تحقيق الاستغلال الأمثل لهذه الخصائص الهندسية المميزة للعمارة الإسلامية في تحقيق الراحة الحرارية بأقل كلفة ممكنة.

قائمة المراجع و المواقع الإلكترونية:

- [1] دالية محمد عبد القادر يامين، "تعديل تصاميم المباني السكنية القائمة في فلسطين لتتكيف مع بيئتها في ظل ظاهرة التغير المناخي"، شهادة الماجستير في الهندسة المعمارية، جامعة النجاح الوطنية، نابلس، فلسطين 2016 .
- [2] سمر محمود زعرب، " دراسة تقييمية للراحة الحرارية في المباني السكنية في قطاع غزة"، شهادة الماجستير في الهندسة المعمارية، الجامعة الإسلامية، غزة، فلسطين 2014 .
- [3] العيسوي محمد عبد الفاتح، "تأثير تصميم الغلاف الخارجي للمبنى على الاكتساب الحراري والراحة الحرارية للمستعملين"، شهادة ماجستير، جامعة القاهرة 2003.
- [4] بن حرمة حسيبة، زروقي أمال، "الارتياح الحراري للمساكن في المناطق الصحراوية"، شهادة ماستر أكاديمي في الفيزياء، جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2018.
- [5] شفق العوضي، المناخ وعمارة المناطق الحارة، القاهرة، دار الكتب القومية 1985.
- [6] <https://www.almrsl.com/post/838702> (04/04/2021) .
- [7] مريم ماضي - بن شيخة، "دراسة ومقارنة بين كفاءة الأداء الحراري لروزنة المسكن الفردي العتيق والحديث (دراسة حالة مدينة بسكرة)"، شهادة دكتورة في الهندسة المعمارية، جامعة محمد خيضر بسكرة. 2019
- [8] محمد عبد السميع عيد و آخرون، "دور عمارة المساجد في تأصيل مفاهيم الاستدامة (مفهوم الترشيح) في المدن العربية المعاصرة"، المؤتمر المعماري الأردني الدولي الخامس - العمارة المعاصرة في العالم العربي - الفرص و التحديات، عمان الأردن 2016.
- [9] فجر علي عبد المحسن التوايهة، "أثر التشريع الإسلامي في عملية التصميم نحو تصميم إسلامي معاصر"، جامعة النجاح الوطنية، نابلس فلسطين 2011 .

[10] د. أحمد محمد سعيد السعدني، "المساجد بين الماضي والحاضر نظرة مستدامة"، كلية الهندسة، جامعة بنها (Journal of Urban Research, vol.32)، 2019 .

[11] Mamlouki Mohammed et Boufares Abdelaziz, "Etude et réalisation d'une cheminée solaire," Thèse de Mastère, Université Mohamed Boudiaf - M'sila 2019.

[12] https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_updraft_tower (01/04/2021)

[13] Jörg Schlaich , Wolfgang Schiel, " solar chimneys, Encyclopedia of Physical Science and Technology Third Edition ", 2000, Consulting Engineers, Stuttgart.

[14] <https://www.geek.com/geek-pick/solar-tower-in-arizona-to-power-150000-homes-for-80-years-1406459> (10/01/2021).

[15] Abdulcelil BUĞUTEKİN, " Expérimental study of température filed in a solar chimney plant in Adiyaman " .Is BilimiveTekniği Dergisi, 32, 2, 73-80, 2012 J. of Thermal Science and Technology ©2012 TIBTD Printed in Turkey ISSN 1300-3615.

[16] <https://www.kaust.edu.sa/ar/about/green-campus/energy-efficiency/> (04/04/2021) .

[17] <https://energieplus-lesite.be/etudes-de-cas/ventilation3/école-tanga/> (04/04/2021).

[18] حجازي عرفات إسماعيل شاهين، "توظيف التهوية الطبيعية في عمارة المسكن الفلسطيني المعاصر"، شهادة الماجستير في الهندسة المعمارية، جامعة النجاح الوطنية، نابلس، فلسطين 2017.

[19] Mlle KHALDI Sabrina, "Etude numérique de ventilation naturelle par la cheminée solaire", Thèse magister Université ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEN 2013.

[20] Ismail Zabat, "Etude numérique de l'efficacité dimensionnelle d'une cheminée solaire", thèse de master Université de kasdi Merbah Ouargla, 2011.

[21] مريم حميدي، "إنتاج الطاقة الكهربائية باستعمال المدخنة الشمسية"، شهادة

ماستر أكاديمي في الفيزياء، جامعة الشهيد حمة لخضر بالوادي 2019.

[22] **خولة دقعة**، "دراسة المدخنة الشمسية في الجنوب الشرقي للجزائر (واد سوف)"

، شهادة ماستر أكاديمي في الفيزياء، جامعة الشهيد حمة لخضر بالوادي 2018.

[23] **Bahache Hadjer**, "Simulation Numérique de la Convection Naturelle dans une Cheminée Solaire ", thèse master Académique, Université Mohamed Boudiaf- M' sila 2017.

[24] **عامر سهير**،"محاكاة عددية لدور الحمل الحراري في التهوية الطبيعية للبنىات"

،ماستر أكاديمي ،جامعة محمد بوضياف-مسيلة 2018.

[25] **عمرون أمينة- بن داود دنيا**،"محاكاة عددية لتأثير الشكل الهندسي للمدخنة

الشمسية على تدفق الهواء عبر عنفة تحويل الطاقة"،شهادة ماستر أكاديمي،جامعة

محمد بوضياف-مسيلة 2020.

[26] **Germain Wende Pouré Ouedraogo - Dieudonné Joseph Bathieb**, "Étude expérimentale de l'écoulement de l'air en convection naturelle dans une tour solaire", Afrique science 12(6) (2016) 213 – 222.

[27] **Gontikaki ,M ,Trcka ,M ,Hensen ,J.L.M & .Hoes, P.** "Optimization of a solar chimney design to enhance naturel ventilation in a multi-storey office building", Proceedings of the 10th International Conference for Enhanced Building Operations, Kuwait 2010.

[28] **Akchiche Zineb**, "Etude de comportement d'une cheminée solaire en vue de l'isolation thermique", thèse magister, université kasdi merbah Ouargla 2011.

[29] https://www.engineeringtoolbox.com/air-properties-d_156.htm

(20/03/2021).

[30] <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/enseignements-generaux-conditions-maritimes/description-previsions-meteo/tableau-echelle-beaufort.html>

(23/05/2021)

ملخص :

هذا العمل يتعلق بدراسة تأثير مأذنة المسجد في لعب دور المدخنة الشمسية التي تعتمد في مبدأ عملها على ظاهرة الحمل الحراري الطبيعي وذلك بهدف تحقيق الراحة الحرارية داخل المساجد التي تعتبر عنصرا مهما في العمارة الإسلامية. حيث قمنا بإجراء محاكاة عددية للانتقال الحراري الطبيعي بواسطة برنامج Comsol Multiphysics الذي يعتمد على طريقة العناصر المنتهية في حل المعادلات التفاضلية الواسفة لهذه الظاهرة مع إدخال تقريب Boussinesq. حيث أظهرت نتائج المحاكاة أن دور المدخنة الشمسية مهم في تحريك الهواء داخل المبنى ولكنه ليس فعالا في حالة غياب التهوية الخارجية.

الكلمات المفتاحية: المدخنة الشمسية، الراحة الحرارية، المحاكاة العددية، العمارة الإسلامية.

Abstract:

This work concerns a numerical study of the solar chimney effect inside a mosque's minaret; this effect depends principally on the phenomenon of natural convection with the aim of achieving thermal comfort in this building which is considered as an important element in the Islamic architecture. We performed a numerical simulation of the natural thermal convection using Comsol Multiphysics software based on the finite element method in solving the differential equations describing this phenomenon with the introduction of the Boussines's approximation. Our results showed that the role of the mosque's minaret as solar chimney is important in the generation of the airflow inside the building but it is not effective in the absence of external ventilation.

Keywords: solar chimney, thermal comfort, numerical simulation, Islamic architecture.

Résumé:

Ce travail concerne une étude numérique de l'effet de cheminée solaire à l'intérieur d'un minaret d'une mosquée, cet effet dépend principalement du phénomène de la convection naturelle dans le but d'atteindre le confort thermique à l'intérieur de ce bâtiment considéré comme un élément important dans l'architecture islamique. Nous avons effectué une simulation numérique de la convection naturelle thermique à l'aide du logiciel Comsol Multiphysics basé sur la méthode des éléments finis en résolvant les équations différentielles décrivant ce phénomène avec l'introduction de l'approximation de Boussinesq. Nos résultats ont montré que le rôle du minaret d'une mosquée jouant le rôle de la cheminée solaire est important dans la génération du flux d'air à l'intérieur du bâtiment mais il n'est pas efficace en l'absence de la ventilation extérieure.

Mots clés: cheminée solaire, confort thermique, simulation numérique, architecture islamique.