

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/19/2022

## مذكرة مقدمة لنيل شهادة الماستر أكاديمي

إعداد الطالبتين:

داودي فاطمة الزهراء

محمادي سمية

تحت عنوان

دراسة عددية لتأثير شكل فوهة المدخنة الشمسية على  
السلوك الديناميكي و الحراري للهواء المتدفق عبر العنفة

تمت المناقشة يوم 11 / 06 / 2022 أمام اللجنة المكونة من:

رئيسا  
مشرفا و مقررا  
مناقشا

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

حداد زكريا  
بولشفار هشام  
بن منصور نادية

السنة الجامعية: 2021/2022

# إهداء

قبل أي شيء الحمد والشكر لله الذي  
بفضله وصلت لكتابة هذه الأسطر

أهدي هذا العمل

إلى والدي ووالدتي

إلى أختي وإخوتي

إلى زميلتي في العمل فاطمة الزهراء

# إهداء

أهدي هذا العمل المتواضع إلى  
الوالدين الكريمين حفظهما الله  
وإلى كل أفراد أسرتي  
كل الأصدقاء ومن كانوا برفقتي ومصاحبتي أثناء  
دراستي في الجامعة  
إلى زميلتي في العمل سمية  
إلى كل من لم يدخر جهدا في مساعدتي  
و ساهم في تلقيني ولو بحرف في حياتي الدراسية  
إلى أستاذي الذي كان لنا النور والدليل في هذه  
الطريق الطويلة، ومنه تعلمنا أن الأفكار الملهمة  
تحتاج إلى من يغرسها بعقول طلابها، فلك الشكر  
على جهودك القيمة وبارك فيك وجزاك الله عن كل  
ما فعلته لأجلنا كل خير إن شاء الله.

داودي فاطمة الزهراء

# شكر و عرفان

الحمد والشكر لله الذي بفضلہ وصلنا لكتابة هذه الأسطر، الحمد لله الذي وفقنا لإعداد هذه المذكرة و بلوغ هذه المرحلة في مشوارنا الجامعي.

نتقدم بالشكر إلى من كانوا سببا في وصولنا لما نحن عليه الآن، الوالدان الكريمان حفظهما الله ورعاهما وإن شاء الله يرونا في أعلى المراتب.

كما نتوجه بالشكر والتقدير والامتنان للأساتذة الأفاضل أعضاء لجنة المناقشة وعلى رأسها رئيس اللجنة الأستاذ الفاضل زكريا حداد على تشریفنا برئاسته لجنة المناقشة وكذلك الأستاذة الفاضلة نادية بن منصور على تشریفنا بمناقشة هذه المذكرة.

كل الشكر والامتنان لأستاذنا المشرف بولشفار هشام الذي ساعدنا على إنهاء هذا العمل كما يجب ولم يبخل علينا بشيء.

كما لا ننسى أن نشكر كل الأصدقاء ومن كان لنا عوناً وساعدنا على إتمام المذكرة.

## الفهرس

إهداء

شكر و عرفان

الفهرس.....i

المصطلحات.....iv

قائمة الأشكال.....v

المقدمة.....01

### الفصل الأول: عموميات حول المدخنة الشمسية

مقدمة.....05

1. تعريف المدخنة الشمسية.....05

2. تاريخ المدخنة الشمسية.....06

3. مبدأ عمل المدخنة الشمسية.....07

4. مكونات المدخنة الشمسية.....08

❖ المجمع.....08

❖ التوربينات.....08

❖ المدخنة.....10

5. استعمالات المدخنة الشمسية.....12

❖ انتاج الكهرباء.....12

❖ توفير الراحة الحرارية.....12

❖ التجفيف الشمسي.....13

6. الظواهر المتحكمة في المدخنة الشمسية.....15

❖ تأثير الدفيئة.....15

❖ تأثير الحمل الحراري.....15

❖ تأثير فينتوري.....15

7. طرق تخزين الطاقة.....15

❖ عن طريق تسخين الرمل.....15

❖ عن طريق تسخين الحصى.....15

16.....	❖ عن طريق تسخين المياه
17.....	8.مزايا وعيوب المدخنة الشمسية
17.....	❖ المزايا
17.....	❖ العيوب
17.....	9.نماذج المدخنة الشمسية حول العالم
17.....	❖ مشروع مانزاناريس
19.....	❖ المدخنة الشمسية في بوتسوانا
19.....	❖ مشروع مدخنة شمسية في اريزونا
20.....	❖ مدخنة اسوان المصرية
20.....	❖ نموذج إيران
21.....	❖ نموذج الصين
22.....	10.مداخن شمسية غير تقليدية
22.....	• مدخنة شمسية مائلة
23.....	• بركة شمسية بمدخنة
24.....	• نموذج المدخنة الشمسية العائمة
24.....	• برج تبريد هجين_مدخنة شمسية
25.....	• حرارة جوفية مدخنة شمسية

### الفصل الثاني: النمذجة الرياضية والمعادلات الفيزيائية

27.....	مقدمة
27.....	1. وصف المشكلة الفيزيائية
29.....	2. النمذجة الرياضية
30.....	3. صياغة المعادلات في الاحداثيات الديكارتية
30.....	4. الفرضيات التبسيطية
31.....	5. المعادلات اللابعدية
32.....	6. الشروط الحدية

### الفصل الثالث: المحاكاة العددية:

34.....	مقدمة
34.....	1. نظرة عامة حول البرنامج Comsol
34.....	❖ التعريف ببرنامج Comsol

34.....	❖ مميزات البرنامج.....
35.....	2. خطوات العمل على البرنامج.....
<b>الفصل الأخير: النتائج والمناقشة</b>	
42.....	مقدمة.....
42.....	1. تأثير الفارق في الحرارة بين المجمع والأرضية على حركة الهواء داخل المدخنة.....
42.....	❖ حالة مدخنة ذات فوهة متباعدة.....
47.....	❖ حالة مدخنة ذات فوهة مستقيمة.....
51.....	❖ حالة مدخنة ذات فوهة متقاربة.....
56.....	2. تأثير الشكل الهندسي لفوهة المدخنة الشمسية على سرعة الهواء العمودية.....
61.....	الخاتمة.....
62.....	المراجع والمواقع الالكترونية.....
<b>الملخصات</b>	

## المصطلحات

### الحروف اللاتينية:

الرمز	الاسم	الوحدة
$C_p$	السعة الحرارية الكتلية للهواء عند ضغط ثابت	$[J.kg^{-1}.K^{-1}]$
$g$	تسارع الجاذبية	$[m.s^{-2}]$
$T$	درجة حرارة الهواء	[K]
$T_c$	درجة الحرارة الساخنة	[K]
$T_f$	درجة الحرارة الباردة	[K]
$T_0$	درجة الحرارة المرجعية	[K]
$p$	ضغط الهواء	[Pa]
$k$	مصفوفة الإجهادات	
$x, y$	الإحداثيات الديكارتية	
$u, v$	مركبات سرعة الهواء في الإحداثيات الديكارتية	$[m.s^{-1}]$

### الحروف اليونانية:

$\rho$	الكتلة الحجمية للهواء	$[kg.m^{-3}]$
$\mu$	اللزوجة الديناميكية	$[kg.s^{-1}.m^{-1}]$
$\beta_T$	معامل التمدد الحراري في ضغط ثابت	$[K^{-1}]$
$\lambda$	الناقلية الحرارية للهواء	$[W.m^{-1}.K^{-1}]$
$\rho_0$	الكتلة الحجمية عند $T_0$	$[kg.m^{-3}]$

### الأعداد اللابعديّة:

$G_r$	عدد كراشوف
$P_r$	عدد براندتل
$R_a$	عدد رايلي

### دلائل:

$C$	ساخن
$f$	بارد
$+$	رمز لا بعدي

## قائمة الأشكال

### الفصل الأول:

- الشكل (1.1): صورة لمدخنة شمسية.....05
- الشكل (2.1): صورة توضح عمل المدخنة الشمسية.....07
- الشكل (3.1): صورة مجمع في المدخنة الشمسية.....08
- الشكل (4.1): توربين أفقي في مدخنة شمسية.....09
- الشكل (5.1): صورة تبين توربينات عمودية وأخرى لتوربين مدخنة ذات قطر كبير.....09
- الشكل (6.1): صورة مدخنة شمسية.....10
- الشكل (7.1): تقنيات المداخل المختلفة.....11
- الشكل (8.1): أشكال المداخل في الواقع العملي.....12
- الشكل (9.1): عملية التهوية الطبيعية.....13
- الشكل (10.1): صورة مجفف بمجمع شمسي.....14
- الشكل (11.1): صورة توضح الزراعة تحت مجمع المدخنة الشمسية.....14
- الشكل (12.1): مبدأ تخزين الحرارة خلال النهار في الدفيئة باستخدام الحصى.....16
- الشكل (13.1): مبدأ تخزين الحرارة خلال النهار باستخدام الأنابيب السوداء.....16
- الشكل (14.1): صورة النموذج الأولي من مانزاناريس في إسبانيا.....18
- الشكل (15.1): صورة المدخنة الشمسية في أريزونا.....19
- الشكل (16.1): صورة المدخنة الشمسية لمدينة أسوان المصرية.....20
- الشكل (17.1): نموذج المدخنة الشمسية في إيران.....21
- الشكل (18.1): نموذج المدخنة الشمسية في الصين.....22
- الشكل (19.1): مخطط لمدخنة شمسية مائلة لتوليد الطاقة.....22
- الشكل (20.1): صورة لبركة شمسية بمدخنة.....23

- الشكل (21.1): يظهر مدخنة شمسية عائمة..... 24.....
- الشكل (22.1): مدخنة هجينة للطاقة الشمسية الأرضية..... 25.....

### الفصل الثاني:

- الشكل (1.2): التمثيل الهندسي لمختلف أجزاء المدخنة الشمسية حالة فوهة مستقيمة..... 27.....
- الشكل (2.2): التمثيل الهندسي لمختلف أجزاء المدخنة الشمسية حالة فوهة متقاربة..... 28.....
- الشكل (3.2): التمثيل الهندسي لمختلف أجزاء المدخنة الشمسية حالة فوهة متباعدة..... 28.....
- الشكل (4.2): الشروط الحدية..... 32.....

### الفصل الثالث:

- الشكل (1.3): الواجهة Model Navigator..... 35.....
- الشكل (2.3): مراحل تحديد بعد ونمط التطبيق..... 36.....
- الشكل (3.3): هندسة المجال الفيزيائي..... 36.....
- الشكل (4.3): أمر خاص بإدخال الثوابت..... 37.....
- الشكل (5.3): النمط (Navier Stocks ns)..... 37.....
- الشكل (6.3): النمط (Convection conduction cc)..... 38.....
- الشكل (7.3): تحديد الشروط الحدية النمط لنمط ns..... 38.....
- الشكل (8.3): تحديد الشروط الحدية لنمط cc..... 39.....
- الشكل (9.3): انشاء شبكة تقسيمات المجال الهندسي (maillage)..... 39.....
- الشكل (10.3): بداية الحساب والمعالجة..... 40.....
- الشكل (11.3): اختيار وإظهار النتائج المختلفة للمحاكاة..... 40.....

## الفصل الرابع:

- الشكل (1.4): التوزيع الحراري داخل المدخنة الموافق  $\Delta T=5\text{ k}$ .....43
- الشكل (2.4): حقل السرعات داخل المدخنة الموافق للفارق الحراري  $\Delta T=5\text{ k}$ .....44
- الشكل (3.4): التوزيع الحراري داخل المدخنة الموافق  $\Delta T=10\text{K}$ .....44
- الشكل (4.4): حقل السرعات داخل المدخنة الموافق للفارق الحراري  $\Delta T=10\text{K}$ .....45
- الشكل (5.4): التوزيع الحراري داخل المدخنة الموافق  $\Delta T=20\text{K}$ .....45
- الشكل (6.4): حقل السرعات داخل المدخنة الموافق للفارق الحراري  $\Delta T = 20\text{K}$ .....46
- الشكل (7.4): منحنى بياني لتغير السرعة العمودية في منتصف المدخنة بدلالة  $\Delta T$ .....47
- الشكل (8.4): التوزيع الحراري داخل المدخنة الموافق  $\Delta T=5\text{ k}$ .....48
- الشكل (9.4): حقل السرعات داخل المدخنة الموافق للفارق الحراري  $\Delta T=5\text{ k}$ .....48
- الشكل (10.4): التوزيع الحراري داخل المدخنة الموافق  $\Delta T=10\text{ k}$ .....49
- الشكل (11.4): حقل السرعات داخل المدخنة الموافق للفارق الحراري  $\Delta T=10\text{k}$ .....49
- الشكل (12.4): التوزيع الحراري داخل المدخنة الموافق  $\Delta T=20\text{k}$ .....50
- الشكل (13.4): حقل السرعات داخل المدخنة الموافق للفارق الحراري  $\Delta T=20\text{k}$ .....50
- الشكل (14.4): منحنى بياني لتغير السرعة العمودية في منتصف المدخنة بدلالة  $\Delta T$ .....51
- الشكل (15.4): التوزيع الحراري داخل المدخنة الموافق  $\Delta T = 5\text{K}$ .....52
- الشكل (16.4): حقل السرعات داخل المدخنة الموافق للفارق الحراري  $\Delta T = 5\text{K}$ .....53
- الشكل (17.4): التوزيع الحراري داخل المدخنة الموافق  $\Delta T=10\text{K}$ .....53
- الشكل (18.4): حقل السرعات داخل المدخنة الموافق للفارق الحراري  $\Delta T = 10\text{K}$ .....54
- الشكل (19.4): التوزيع الحراري داخل المدخنة الموافق  $\Delta T = 20\text{K}$ .....54
- الشكل (20.4): حقل السرعات داخل المدخنة الموافق للفارق الحراري  $\Delta T = 20\text{K}$ .....55
- الشكل (21.4): منحنى بياني لتغير السرعة العمودية في منتصف المدخنة بدلالة  $\Delta T$ .....56
- الشكل (22.4): منحنى بياني لمقارنة السرعة العمودية داخل المدخنة بدلالة شكل الفوهة عند الفرق  $\Delta T=5\text{ K}$ .....58

الشكل (23.4): منحنى بياني لمقارنة السرعة العمودية داخل المدخنة بدلالة شكل الفوهة عند الفرق  $\Delta T = 10 \text{ K}$  ..... 58

الشكل (24.4): منحنى بياني لمقارنة السرعة العمودية داخل المدخنة بدلالة شكل الفوهة عند الفرق  $\Delta T = 20 \text{ K}$  ..... 59

المقدمة:

بعد توجه العالم بشكل كبير إلى استخدام الطاقة في توفير احتياجاته تعد الطاقة المتجددة كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح وكذلك طاقة المياه طوق النجاة للعالم مستقبلا لأنها طاقة غير قابلة للنفاذ مقارنة بطاقة الغاز والبتروال الذي يؤول للزوال. تعتبر الطاقة المتجددة حلا مثاليا لأنها لا تشكل أي خطر على البيئة مع تعدد طرق استغلالها والتي صارت مكسبا لبعض الدول المتطورة للزيادة في تطورها والنمو باقتصادها أكثر فأكثر.

من بين طرق استغلال هذه الطاقة وبالأخص الطاقة الشمسية هناك تقنية المدخنة الشمسية، فهي تعد واحدة من أحدث التقنيات الجديدة النظيفة المبنية على استغلال قوى الطبيعة لاستخلاص الطاقة الكهربائية بصورة نظيفة مثل حركة الرياح واستغلال الضغط الجوي والطاقة الشمسية.

المدخنة الشمسية هي مولد طاقة طبيعي يستخدم الإشعاع الشمسي لزيادة الطاقة الداخلية للهواء المتدفق تحت تأثير الحمل الحراري الطبيعي من خلال رفع درجة حرارته مما يجعل من الممكن تحويل الطاقة الحركية التي يتم تحويلها إل العنفة التي تعمل على تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية.

اخترنا المدخنة الشمسية كنموذج للدراسة، وذلك بدراسة عددية الهدف منها مقارنة سرعة الهواء المتولد والتوزيع الحراري تحت تأثير الحمل الحراري الطبيعي داخل المدخنة لاختيار الشكل الهندسي المناسب للفوهة لأحسن أداء.

عملنا في هذه المذكرة يكون في أربعة فصول مقسمة على النحو التالي:

❖ الفصل الأول تحت عنوان عموميات حول المدخنة الشمسية، اعتمدنا ان يكون بوابة المذكرة للتعريف بالمدخنة الشمسية، مبدأ وطريقة عملها مع أهم الظواهر الفيزيائية التي تحدث فيها. كما اهتمنا بمكوناتها الرئيسية والتي من بينها المدخنة الشمسية التي كانت هدف عملنا.

تطرقنا أيضا إلى مجالات استعمالها وتقديم أبرز النماذج للمداخن الشمسية حول العالم وذكر بعض أنواع المداخن الغير تقليدية.

❖ الفصل الثاني تحت عنوان النمذجة الرياضية والمعادلات الفيزيائية للمدخنة الشمسية والذي تناولنا فيه أهم المعادلات الفيزيائية التي تصف ظاهرة الحمل الحراري الطبيعي داخل المدخنة الشمسية بالاعتماد على فرضيات التبسيط والشروط الحدية.

❖ الفصل الثالث مخصص للمحاكاة العددية، تحدثنا فيه عن برنامج المحاكاة الذي اخترنا العمل به وهو برنامج Comsol Multiphysics وأبرز خصائصه مع خطوات العمل عليه.

❖ أما الفصل الأخير فخصصناه للمناقشة وعرض النتائج المتحصل عليها تحت عنوان النتائج والمناقشة.

وفي الأخير الخاتمة وتليها قائمة المراجع والمواقع الالكترونية التي استغللناها في هذا العمل.

## الفصل الأول:

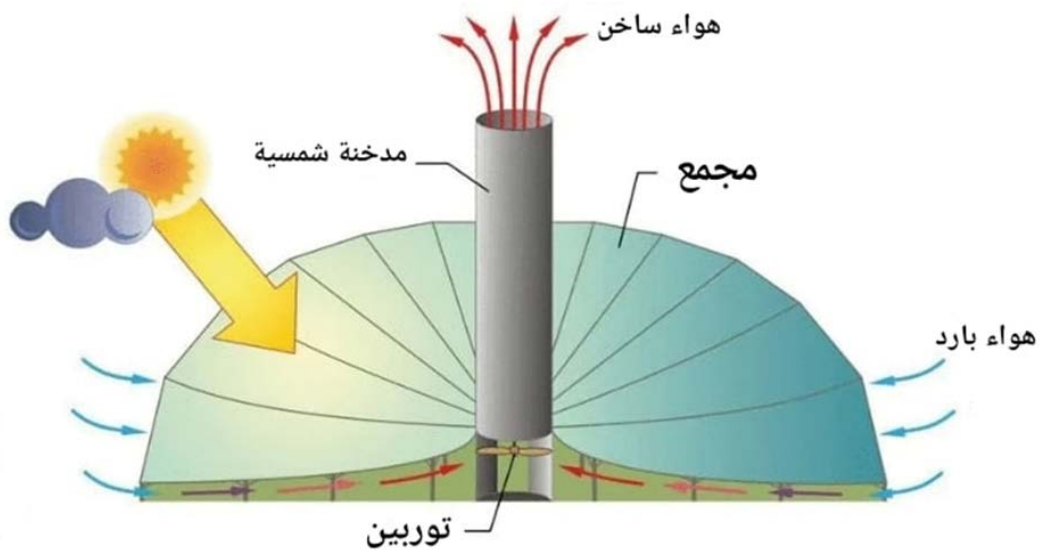
### عموميات حول المدخنة الشمسية

## مقدمة:

يسعى الباحثون والعلماء لتخفيف التلوث البيئي الناجم عن توليد الطاقة الكهربائية باستخدام المحطات ذات الوقود الأحفوري وذلك باكتشاف وتحسين طرق التوليد باستخدام الطاقات المتجددة. تعتبر تقنية المدخنة الشمسية من بين التقنيات التي يمكن استخدامها في محطات الطاقة لكونها طاقة نظيفة غير ضارة بالإنسان وبيئته كما أن مصادرها طبيعية ومستدامة.

### 1. تعريف المدخنة الشمسية:

يمكن اعتبارها تكنولوجيا جديدة نظيفة وهي عبارة عن محطة طاقة مصممة لإنتاج الكهرباء من خلال استغلال الطاقات الطبيعية من طاقة شمسية وحركة الرياح والضغط الجوي. وتتم بتوجيه الهواء الساخن الصاعد عن طريق تأثير الاحتباس الحراري في المجمع المعرض لأشعة الشمس، تتخفض كثافته ويتم تسريع الهواء تحت تأثير الحمل الحراري الطبيعي حيث يرتفع في المدخنة العمودية في وسط المجمع مروراً بتوربينات الرياح التي بدورها تحول طاقة التدفق إلى طاقة ميكانيكية وتشغل المولدات لتوليد الكهرباء. تقنياتها بسيطة وموثوقة ويمكن استغلالها في المناطق النائية المشمسة.



شكل (1.1): صورة لمدخنة شمسية [1]

## 2. تاريخ المدخنة الشمسية [2]:

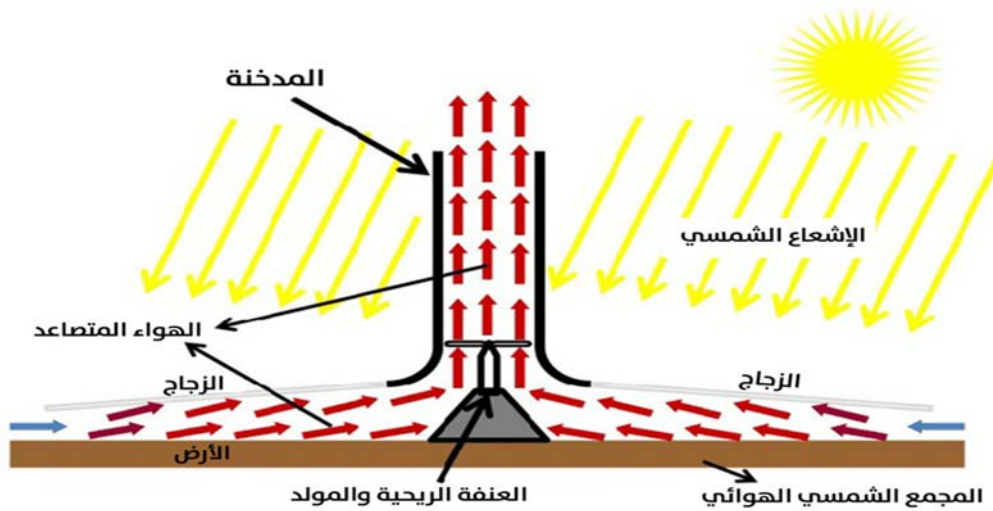
قدم العديد من الباحثين حول العالم أفكارًا مختلفة أو مشاريع ملموسة عن المدخنة الشمسية، نذكر أهمها في ترتيبها الزمني:

- أول من نشر عن تحويل الطاقة بالحمل الحراري هو الإنجليزي ألفريد بينيت، الذي نشر براءة اختراع بخصوص هذا المبدأ في عام 1897
- ثم اقترح جندي إسباني، العقيد إيسيدورو كاباتانيس في عام 1903 نموذجًا لموقد الطاقة الشمسية لإنتاج الكهرباء.
- كما اقترح الفيزيائي الفرنسي برنارد دوبوس في عام 1926 استغلال الرياح العمودية المنتجة بواسطة أنبوب كبير مركب على جانب جبل.
- تم تخطيط أحد التمثيلات الأولى للمدخنة الشمسية في عام 1931 بواسطة كاتب ألماني هانسجونتر.
- بين عامي 1940 و1960 قام المهندس الفرنسي إدجار دنازاري بعد أن لاحظ عدة دوامات رملية في الجنوب الصحراوي الجزائري أثناء فترة الاحتلال الفرنسي وقام بقياس خصائصها بفضل مقياس خاص، تخيل جهازًا أعطاه اسم "مدخنة الفراغ" تسمى اليوم مدخنة دوامة وفي عام 1956 أودع براءة اختراعه الأولى في الجزائر العاصمة.
- تمت إعادة تسجيل براءة الاختراع هذه في باريس في 3 أوت 1964.
- في عام 1975 نشر المهندس الكندي لويس ميشود مشروع Vortex Power المحطة في نشرة جمعية الأرصاد الجوية الأمريكية بخصوص توليد رفا جويًا دائريًا في مدخنة أسطوانية.
- في عام 1981 تم بناء نموذج أولي لمدخن تعمل بالطاقة الشمسية في إسبانيا في مانزاناريس من طرف المهندس الألماني يور غشلايش.

- في 8 أكتوبر 1985 قدم الروسي جورج مامولاشفيلي براءة اختراع لمشروع يمكن مقارنتها بمدخنة دوامة من Nazaré تسمى محطة الطاقة الحرارية الجوية عمودي.
- في ماي 2009 قدم نيفين نينيكو ساندر و نيزتيك براءة اختراع الموقد الشمسي يسمى محطة الطاقة الشمسية مع ناشر قصير وكان هذا الناشر يهدف إلى تشكل عمود جاذبية دائري.

### 3. مبدأ عمل المدخنة الشمسية:

إن مبدأ عمل المدخنة الشمسية بسيط نسبيا حيث يتم تسخين الهواء عن طريق مرور أشعة الشمس عبر سطح المجمع الزجاجي الذي يحاكي ظاهرة الاحتباس الحراري مما يؤدي إلى تسخين الهواء ثم تقوم آلية الحمل الحراري الطبيعي بتوليد حركة للهواء تجعله يتدفق من محيط المجمع نحو المدخنة، فيصعد الهواء الساخن لتتحول طاقته إلى طاقة حركية تعمل على تدوير شفرات التوربين التي بدورها تشغل المولد لإنتاج الطاقة الكهربائية.



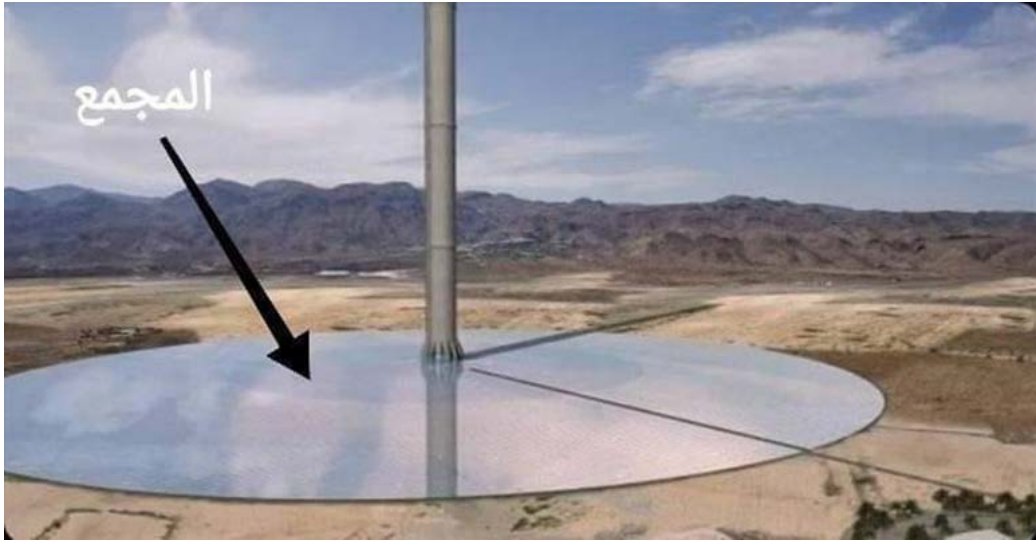
شكل (2.1): صورة توضح عمل المدخنة الشمسية [3]

#### 4. مكونات المدخنة الشمسية:

تتكون المدخنة الشمسية من ثلاث أجزاء أساسية وهي: المجمع، التوربينات والمدخنة.

##### • المجمع:

يعتبر المجمع مكون أساسي لأنه يلعب الدور الأساسي في عملية المبادلات الحرارية التي تحول طاقة الإشعاع الشمسي إلى طاقة داخلية تحت تأثير الاحتباس الحراري الذي يستخدم لإنتاج الهواء الساخن ويتكون المجمع من فيلم بلاستيكي شفاف أو سطح زجاجي.

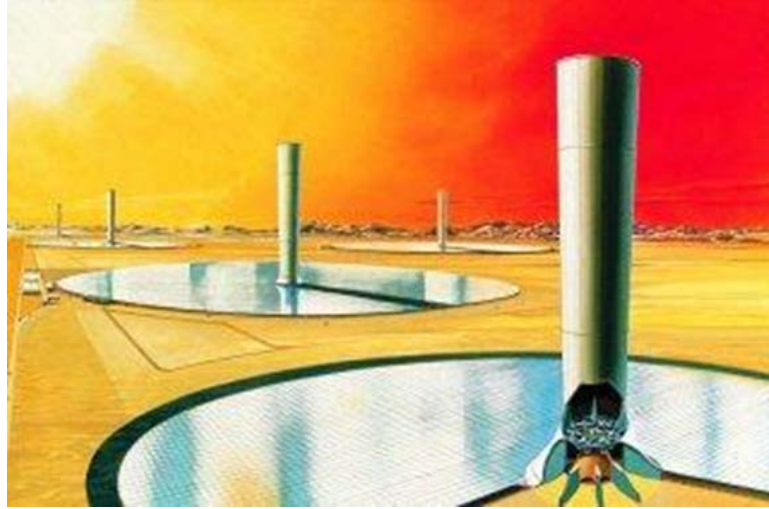


شكل (3.1): صورة مجمع في مدخنة شمسية [4]

##### • التوربينات:

تعتبر التوربينات أحد العناصر المهمة في عمل المدخنة الشمسية، حيث تستخدم لاستخراج الطاقة من الهواء ونقلها إلى المولد، بصفة أبسط هي تحويل الطاقة الميكانيكية إلى الطاقة الكهربائية، كما يمكننا تعديل انخفاض الضغط ومعدل التدفق من خلال تغيير زاوية ميل شفرات التوربين.

يتم وضع التوربين إما عموديا أو أفقيا في المدخنة، من أجل الحصول على الطاقة القصوى من الهواء الساخن ويجب أن تكون ريشة التوربينات تغطي الجزء الكامل من المدخنة لذلك يجب استعمال توربين كبير أو عدة توربينات صغيرة عند سفح المدخنة.



شكل (4.1): توربين أفقي في مدخنة شمسية [4]



شكل (5.1): صورة تبين توربينات عمودية وأخرى لتوربين مدخنة ذات قطر كبير [4]

• المدخنة:

المدخنة أو أنبوب البرج وهي السمة الرئيسية لمحطة المدخنة الشمسية، بحيث تكون المدخنة عالية على شكل أسطوانة أو مخروط مفرغ من الداخل توضع وسط البيت الزجاجي فوهتها السفلى مفتوحة لشفط الهواء الساخن المتولد داخل الفراغ تحت السقف الزجاجي. ويكون اتجاه تدفق الهواء دائما في اتجاه واحد من الفوهة السفلى إلى الفوهة العليا الخارجية للمدخنة والبيت الزجاجي ملتصق على أعلى الفوهة السفلى بعوازل حرارية. من المهم أن تبنى المدخنة من الداخل بطريقة انزلاقية وتدهن بطلاء انزلاقي وذلك لتقليل معامل الاحتكاك بين الهواء والجدار الداخلي حتى يحتفظ التدفق الهوائي بأعلى سرعة ممكنة نتيجة فروقات درجة الحرارة ولا تضيع الطاقة الحركية للهواء بسبب الاحتكاك بجدار المدخنة. قد تزيد فروقات درجات الحرارة في الشتاء داخل المدخنة والحرارة الخارجية عن 20° درجة مئوية، وبما أن سرعة الهواء داخل المدخنة قد تزيد وكلما زاد ارتفاع المدخنة، كلما زادت كمية الطاقة التي يمكن استخراجها.



شكل (6.1): صورة مدخنة شمسية [5]

على الرغم من أن الكفاءة تتناسب مع ارتفاع المدخنة إلا أنه من الناحية العلمية هناك قيود أخرى، لذلك وجدت أنواع منها التي تعتمد على طرق بناء هذه المداخل مبينة في الشكل (8.1).



شكل (7.1): تقنيات المداخل المختلفة [6]

ويمكن التمييز بين الأنواع التالية من المداخل في المقطع الطولي الشاقولي.

- المداخل الأسطوانية، يكون المقطع العرضي ثابتا من القاعدة إلى القمة.
- المداخل بشكل جذع المخروط، بميل ثابت في المقطع الطولي حوالي 2.5%.
- المداخل بمقطع طولي مختلط أي جذع مخروط في الأسفل وبميل طولي حوالي 15%-10 حتى ثلث الارتفاع تقريبا، ومن ثم بشكل أسطوانة حتى أعلى القمة.



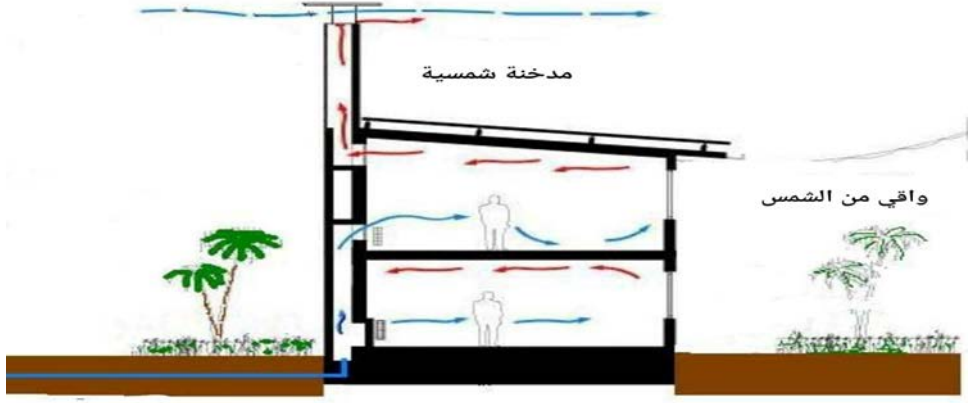
الشكل (1.8): أشكال المداخن في الواقع العملي [7]

وفي المقطع العرضي يمكن أن تأخذ أحد الأشكال التالية:

- دائري أملس.
- متعدد الأضلاع أملس (مضلع منتظم من الخارج ودائري أملس من الداخل).
- دائري ذو نتوءات من الخارج.
- متعدد الأضلاع مع نتوءات بارزة من الخارج.

#### 5. استعمالات المدخنة الشمسية:

- إنتاج الكهرباء: ويتم ذلك بتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية بواسطة ظاهرة الاحتباس الحراري التي تحدث داخل المجمع ثم إلى طاقة حركية بفعل الحمل الحراري الذي ينتج تياراً يؤدي إلى تدوير التوربين التي بدورها تؤدي إلى إنتاج الكهرباء.
- توفير الراحة الحرارية: استخدام المدخنة الشمسية يعتبر عامل مهم في عملية التهوية الطبيعية داخل المباني عن طريق تزويد المبنى بالهواء النقي من الخارج واستبدال الهواء الداخل المستخدم نتيجة فرق الضغط بين الهواء الساخن والبارد أو نتيجة حركة الرياح، والتي ترتبط بأربع متغيرات (درجة حرارة الهواء، شدة الإشعاع الشمسي، الرطوبة وسرعة الهواء).



الشكل (9.1): عملية التهوية الطبيعية [8]

- **التجفيف الشمسي:** وهناك نوعان المجفف الصندوقي ومجفف بمجمع شمسي. يمكن أن يكون المجمع الشمسي على هيئة صندوق زجاجي مع بيئة داخلية بألوان قاتمة لامتصاص الطاقة الشمسية لتسخين الهواء، وهذا الهواء المسخن في المجمع يتحرك عبر الحمل الحراري الطبيعي أو المراوح نحو المواد المراد تجفيفها.



شكل (10.1): صورة مجفف بمجمع شمسي [9]

- كما يمكن استغلال المداخل الشمسية في الزراعة بزراعة الخضر والفواكه الموسمية.



شكل (11.1): صورة توضح الزراعة تحت مجمع المدخنة الشمسية [10]

## 6. الظواهر المتحكمة في المدخنة الشمسية:

- **تأثير الدفيئة:** يسمح المجمع بدخول أشعة الشمس التي تسخن الهواء، تحدث هذه العملية أيضا في الخارج إلا أن الهواء الساخن يرتفع ليحل محله الهواء البارد. أما في المجمع فهي محصورة والهواء الساخن محصور لا يمكنه الخروج فتزداد سخونة في الداخل.
- **تأثير الحمل الحراري:** يتم الحمل الحراري في حركة الموائع بفعل الطبيعة وينتج عن طريق الاختلاف في الكثافة بين الجسيمات الباردة والساخنة في المائع، وتغير الكثافة يسبب التباين في درجة الحرارة، حيث يتم دفع الهواء الساخن إلى المدخنة عن طريق الهواء البارد.
- **تأثير فينتوري:** حيث تتسارع جسيمات الهواء بسبب تضيق منطقة الدوران الذي يتسبب في انخفاض درجة الحرارة.

## 7. طرق تخزين الطاقة:

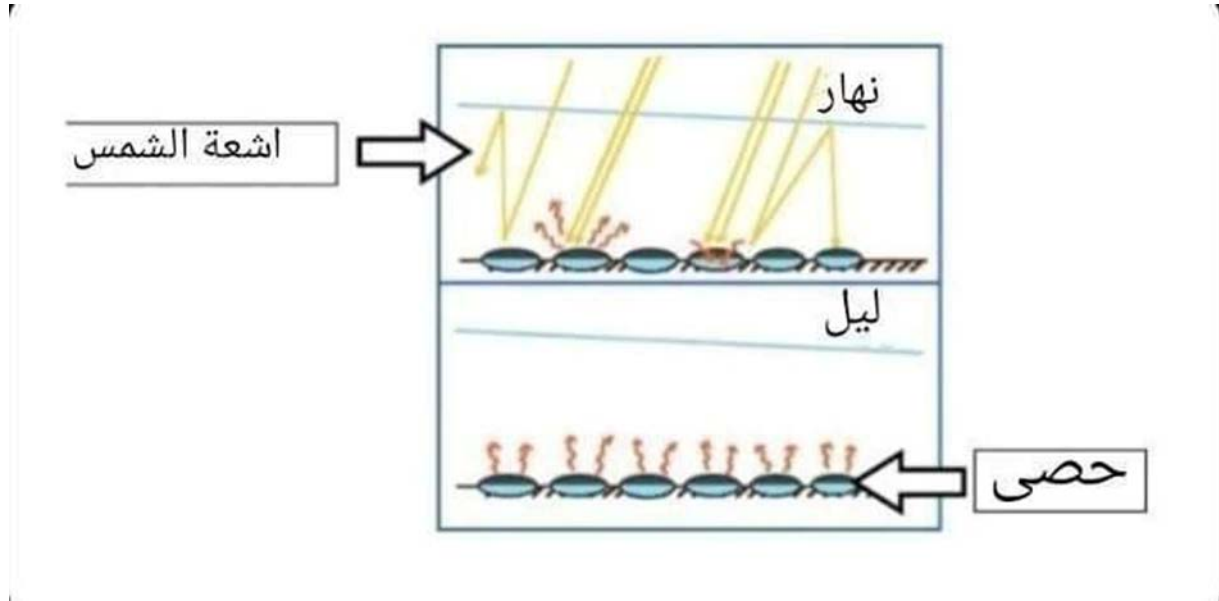
تعمل المدخنة الشمسية في وجود الإشعاع الشمسي أي أنها تعمل خلال النهار، سيؤدي عدم وجود الإشعاع (في الليل) إلى إيقاف تشغيل الموقد، لهذا نستخدم ضوء النهار لعمل المدخنة ليلا عن طريق تخزين الطاقة كما هناك عدة طرق لتخزين الطاقة أثناء الليل من بينها:

### • عن طريق تسخين الرمل:

يسخن الرمل ويمتص حرارة الشمس، وينقل تدفق الهواء الساخن إلى المدخنة، حيث يتم تسخين الرمال بواسطة الشمس أثناء النهار ويتم تخزين الحرارة ثم الطاقة، التي تسمح بتشغيل التوربين. هذا يسمح للنظام بالعمل عندما يكون هناك حد أدنى من ضوء الشمس.

### • عن طريق تسخين الحصى:

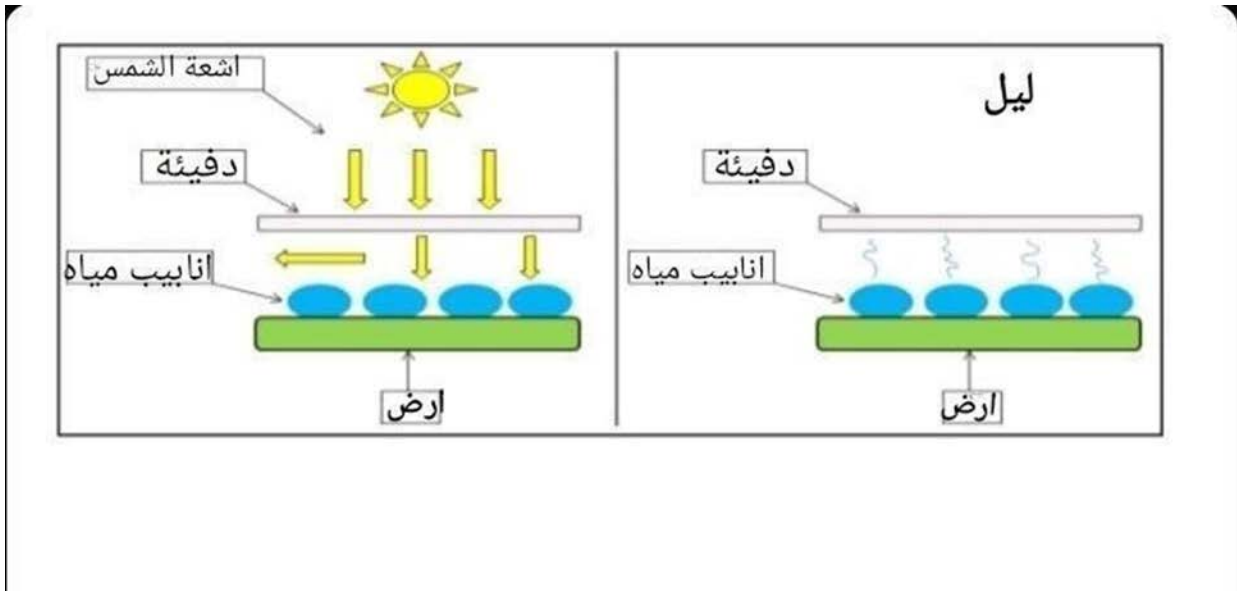
من أجل تحسين هذا الإنتاج الليلي، يمكننا وضع الحصى والتي لها قدرة تخزين حرارة مهمة للغاية. خلال النهار تتعرض هذه الحصى باستمرار لأشعة الشمس وبالتالي تقوم بتخزين هذه الحرارة لتحريرها ليلا.



شكل (12.1): مبدأ تخزين الحرارة خلال النهار في الدفيئة باستخدام الحصى [4]

• عن طريق تسخين المياه:

كما تنتج مجمعات الهواء الساخن من خلال تأثير الاحتباس الحراري، يتم وضع خزانات سوداء أنبوبية مملوءة بالماء تحت المجمع، تجمع جيوب المياه الحرارة أثناء النهار وتطلقها في الهواء ليلاً. كما هو موضح في الشكل.



شكل (13.1): مبدأ تخزين الحرارة خلال النهار في الدفيئة باستخدام الأنابيب السوداء [4]

## 8. مزايا وعيوب المدخنة الشمسية:

### • المزايا:

- ✓ مناسبة بشكل خاص لتوليد الكهرباء في الصحاري والأراضي القاحلة الغنية بالشمس.
- ✓ يمكن للمدخنة الشمسية الدمج بين إنتاج الطاقة والتهوئة الطبيعية.
- ✓ لا تشكل أي خطر على البيئة.
- ✓ توفير فرص العمل.
- ✓ هيكل لا يحتاج تغذيته بالوقود لينتج طاقة.
- ✓ استمرارية نسبية لإنتاج الطاقة الكهربائية ليلاً ونهاراً بفضل آلية تخزين الطاقة.

### • العيوب:

- ✓ تكلفة الاستثمار الأولية مرتفعة.
- ✓ خلال البناء يتطلب هذا الهيكل الضخم الكثير من مواد البناء وخبرات الهندسة.
- ✓ كفاءة منخفضة.
- ✓ عدم اليقين بشأن صلابة المبنى واحتمال الانهيار أثناء العمر المتوقع.
- ✓ يحتل المجمع مساحة كبيرة جداً.
- ✓ الإنتاج ليس ثابتاً خلال اليوم والسنة.

## 9. نماذج المدخنة الشمسية حول العالم:

### ❖ مشروع مانزاناريس:

تم تصميم أول نموذج تجريبي لمحطة الطاقة الشمسية من قبل Shlaich Bergeranian حيث تم بناء البرج الشمسي عام 1982 في مانزاناريس (بلدة إسبانية تبعد 150 كيلومتراً عن مدريد). مكثت في الخدمة حتى عام 1989. تتكون المدخنة من أنابيب صفائح معدنية بسمك 1.25 مم، يتم تقوية كل 4 أمتار بواسطة عوارض شعرية. كانت ممسكة بكابلات فولاذية. أظهر النموذج الأولي الجدوى التكنولوجية للمشروع. تم استخدامه لغرض البحث

وفشل في إنتاج الكهرباء بأسعار تنافسية. أنتج لمدة 8.8 ساعة في اليوم في المتوسط [11].

مواصفات المشروع:

- ارتفاع البرج 194.6 م، وقطره 10.16م.
- قطر الجامع 244 م.
- متوسط ارتفاع السقف 1.85 مم.
- فرق درجة الحرارة في المجمع.  $20^{\circ}\text{C}$
- الطاقة الكهربائية الاسمية. 50KW
- سطح المجمع في غشاء بلاستيكي 40000م
- سطح المجمع الزجاجي 6000م<sup>2</sup>.
- عدد التوربينات 1.
- سرعة الهواء في المدخنة 12م/ث.



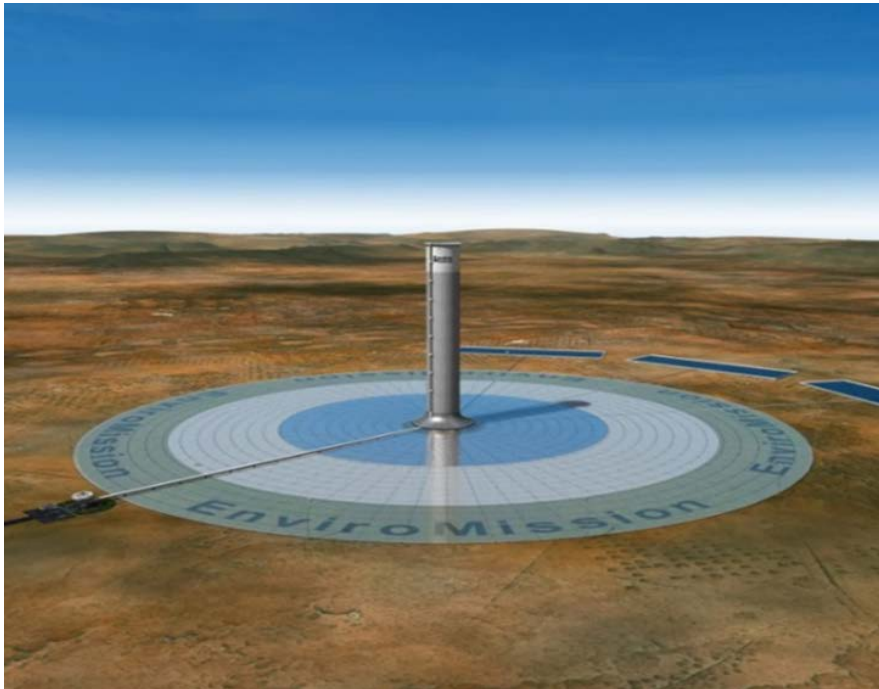
شكل (14.1): صورة النموذج الأولي من مانزاناريس في إسبانيا [12]

### ❖ المدخنة الشمسية في بوتسوانا:

إن استيراد نسبة كبيرة من الطاقة الكهربائية في جنوب افريقيا وكذلك الموقع الجغرافي والتوزيع السكاني لبوتسوانا، حفزت هذه الحاجة إلى النظر في الطاقة المتجددة كبديل للطاقة المستوردة، في 2008 تم إجراء دراسة تجريبية منهجية على نظام مدخنة شمسية، وهو إعطاء اهتمام خاص لقياس سرعة الهواء ودرجة الحرارة والإشعاع الشمسي [13].

### ❖ مشروع مدخنة شمسية في اريزونا:

مشروع لشركة EnviroMission الأسترالية المتخصصة في الأبراج الشمسية. تعمل المحطة على تطوير 200 ميغاواط من الطاقة قادرة على إمداد 150 ألف منزل. يبلغ ارتفاع بناء هذا البرج 800 متر وقطره 130 مترًا. يتم تشغيل برج المشروع من قبل "هيئة الطاقة العامة لجنوب كاليفورنيا". سيعوض برج الطاقة الشمسية مليون طن من غازات الاحتباس الحراري سنويًا وسيقلل أيضًا من استهلاك المياه السنوي بما يصل إلى مليار لتر من المياه سنويًا [14].



شكل (15.1): صورة المدخنة الشمسية في أريزونا [14]

### ❖ مدخنة أوسوان المصرية:

تم تنفيذ مشروع المدخنة الشمسية في كلية هندسة الطاقة في جامعة أسوان بصناعة مصرية بنسبة 100% ما عدا المولد الكهربائي فقط، حيث إنه تم تنفيذ هذا المشروع في ظل تعاون بحثي بين كلية هندسة الطاقة بأوسوان وجامعتي فوبرتالو الروهر بألمانيا بتمويل من صندوق العلوم والتنمية التكنولوجية، وتم قبول نتائج ومخرجات هذا المشروع بشكل نهائي.

وزن المدخنة التي تم إنشاؤها كنموذج عملي لهذه الفكرة بكلية هندسة الطاقة يبلغ 7 أطنان، ومقامة على قطعة أرض مساحتها 28 م<sup>2</sup>، وهو عبارة عن مجمع شمسي مصنوع من الزجاج ويرتفع عن الأرض بمسافة 1.5 متر تقريباً، والزجاج محمول فوق دعائم حديدية، بجانب مدخنة عبارة عن ماسورة ضخمة من الحديد طولها نحو 20 متراً، وبلغت التكلفة الإجمالية للمدخنة 250 ألف جنيه بتمويل من صندوق العلوم والتنمية التكنولوجية [15].

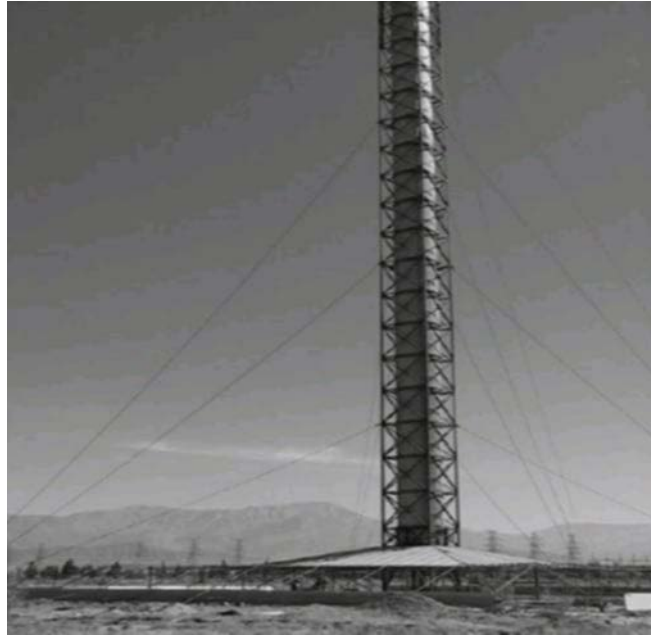


شكل (16.1): صورة المدخنة الشمسية لمدينة أوسوان المصرية [15]

### ❖ نموذج إيران:

يبلغ متوسط كثافة الاشعاع في منطقة إيران كرمان (خط عرض 30، 17 شمالاً وخط طول 57،5 شرقاً) أكثر من 2000 واط لكل متر مربع وشمس مشرقة 2800 ساعة في العام،

لذلك تم بناء مصنع في هذه المنطقة الصحراوية كان الهدف منه خلق مادة صناعية قائمة من تخزين الكربون (هواء) وجعله كمصدر للطاقة قابل للاستخدام، إن مصنع كارمان التجريبي للبرج البالغ من الارتفاع والي 60 متر قطر 3 متر مع وجود مجمع أحادي الطبقة بقطر 40 متر، الذي يكون قادرا على إنتاج 400 واط من الطاقة الكهربائية وذلك عند الاشعاع 800 واط للمتر مربع [16].



شكل (17.1): نموذج المدخنة الشمسية في إيران [16]

#### ❖ نموذج الصين:

مدخنة شمسية بقدرة 27.5 ميجاوات في الصين (في جينشاوان، ووهاي، منغوليا). تم تمويل هذا المشروع من قبل شركة محلية في منغوليا الداخلية بمبلغ 1.38 مليار يوان (208 مليون دولار). القدرة الإجمالية المخطط لها حتى ديسمبر 2013 من خلال هذا المشروع هو 27.5 ميجاوات، وهو ما يمثل إجمالي 2.780.000 متر مربع من الصحراء التي تشغلها تعمل البيوت الزجاجية كمجمع وإجمالي الاستثمارات 1.38 مليار يوان كما تم تنفيذ بناء النموذج الأولي الصيني على ثلاث مراحل [12].



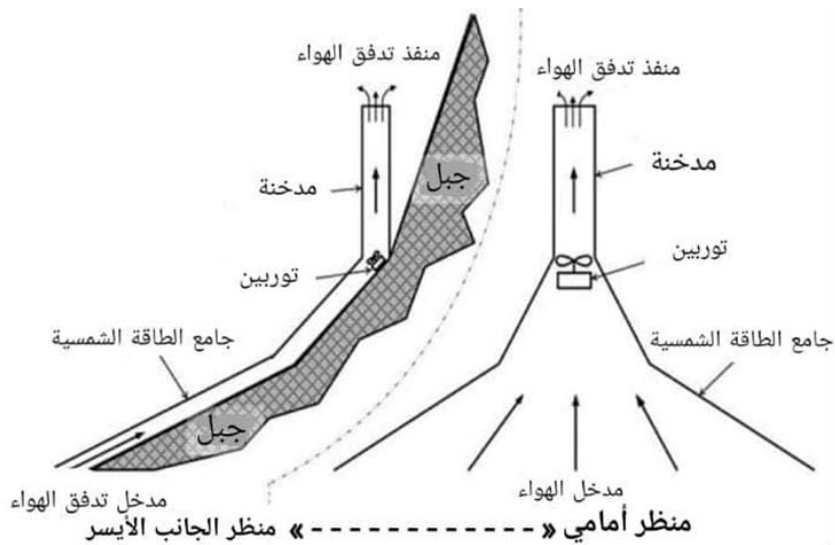
شكل (18.1): نموذج المدخنة الشمسية في الصين [17]

## 10. مداخن شمسية غير تقليدية:

### • مدخنة شمسية مائلة:

تتمثل الفكرة في استغلال ارتفاع الجبال لإنشاء مدخنة شمسية في مركز جبل شاهق الارتفاع بمثابة مدخنة، وتنتشر منطقة المجمع حول الجبل المنحدر لتوليد الطاقة كما هو مبين في

الشكل (19.1).



شكل (19.1): مخطط لمدخنة شمسية مائلة لتوليد الطاقة [18]

• بركة شمسية بمدخنة:

تم بناء نموذج أولي صغير يجمع بين بركة مائية ومدخنة. تم بناء البرج من مجاري دائرية مرنة، ثم دعم القناة من خلال هيكل مولد هوائي تجريبي صغير يقع على بعد عدة أمتار قليلة من البركة.



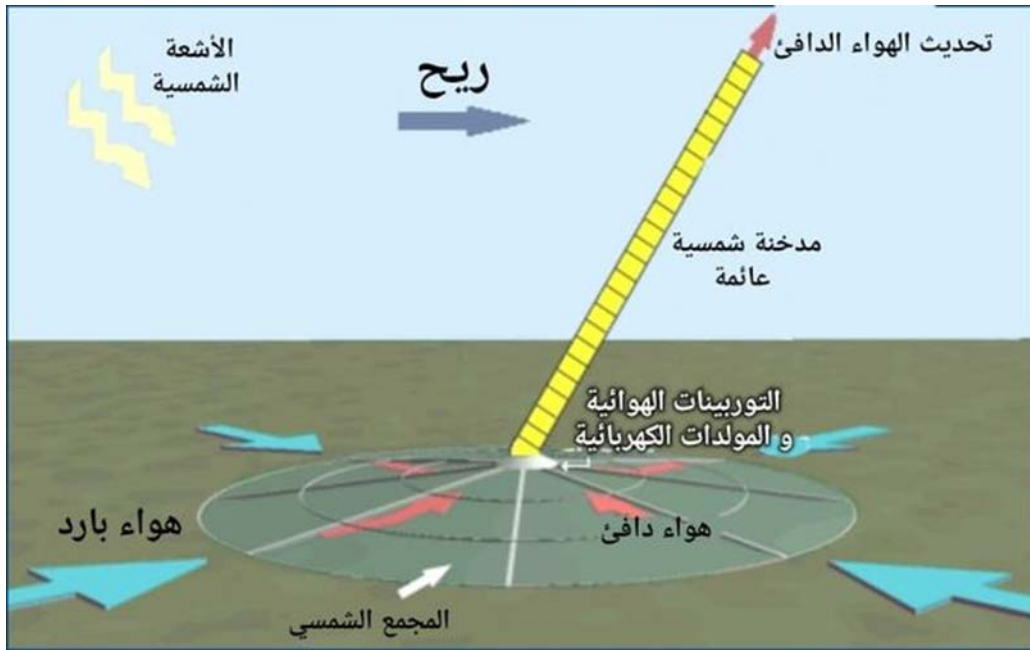
شكل (20.1): صورة لبركة شمسية بمدخنة [19]

تمت دراسة مفهوم الجمع بين البركة الشمسية والمدخنة لإنتاج الطاقة في المناطق المتأثرة بالملوحة. في الحالة الأولى يتم استخدام مبادل حراري غير مباشر، بينما تستخدم الوحدة الموجودة في الثانية مبادل حراري مباشر. تتم إزالة الحرارة من البركة الشمسية عن طريق استخراج محلول ملحي ساخن من أسفل الواجهة بين طبقة التدرج ومنطقة الحمل الحراري السفلية وضخها عبر مبادل حراري من الماء إلى الهواء داخل البرج. بعد توصيل الحرارة يعود الماء إلى قاع البركة الشمسية. وبالتالي يتم تسخين الهواء المحيط ويمكن استخدام تدفق الهواء المستحث بواسطة التوربينات الهوائية لإنتاج الطاقة.

قدم كذلك نظامًا جديدًا للطاقة الشمسية بالمداخن مع دمج تحلية مياه البحر لإنتاج الكهرباء والمياه العذبة، في الآونة الأخيرة تم اقتراح مفهوم يستخدم نظام المدخنة الشمسية لتوليد الطاقة وتحلية مياه البحر بشكل مناسب في موقع مجاور للبحر.

• نموذج المدخنة الشمسية العائمة:

إنها عبارة عن أسطوانة نسيجية طويلة تصل لارتفاع شاهق بالنسبة للمدخنة، وأطلق على هذه المحطة هذا الاسم لتشابهها مع محطة توليد الهيدروكهربائية، حيث أنه يتم تشغيل تلك المحطات بفعل الماء وهذا بفعل تدفق الهواء للأعلى بمبدأ الطفو، وفي المحطتين تربط العنفة بمولد كهربائي، كما أنها تقنية اخترعت لبناء المداخن الشمسية العالية جدا ومن أجل الحصول على طاقات كبيرة، ويمكن لها أن تطفو بذاتها وفقا لبنيتها ذات الجدران المزدوجة والمصنوعة من الألياف الخفيفة.



شكل (21.1): يظهر مدخنة شمسية عائمة [20]

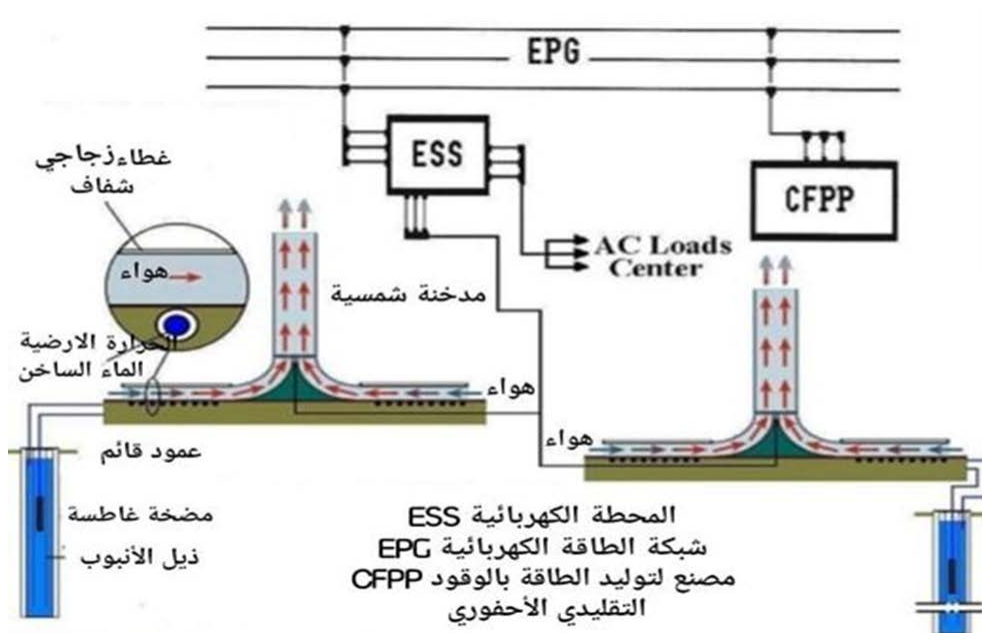
• برج تبريد هجين \_ مدخنة شمسية:

بناءا على نظام المدخنة الشمسية التقليدي، لقد أدخل مفهومًا جديدًا قادرًا على إنتاج المزيد من الطاقة الكهربائية عن طريق استعادة الحرارة المرفوضة من المكثف الذي تكمله مكاسب

مبدأ عمل هذا النظام على النحو التالي، يدخل الهواء البارد المحيط إلى النظام من القاعدة المفتوحة ويمر عبر المشعات حيث يقوم المكثف بتبريد المياه داخل مسارها. ثم يمر الهواء الساخن من خلال الفضاء تحت سقف شفاف ويكسب الكثير من الحرارة من الإشعاع الشمسي. حيث تعمل الأرض تحتها كمجمع وذلك بتسخين الهواء المتدفق أكثر. يتدفق الهواء المزدهر شعاعيا باتجاه المركز من خلال توربينات الرياح، حيث توجهه بعض دوارات دليل المدخل والتي يتم تثبيتها في حلق المدخنة، يدفع الهواء التوربين في مساره يولد الطاقة الكهربائية مماثلة في المداخل الشمسية.

### • حرارة جوفية \_ مدخنة شمسية:

من أجل زيادة كفاءة المدخنة الشمسية في محطة توليد الكهرباء، تم اقتراح بعض المناهج مثل: مدخنة الطاقة الشمسية الهجينة الصنع. هذه التكنولوجيا الجديدة تسمح للحرارة بتحويل الطاقة من خلال العمل مع كل من الطاقة الشمسية المنخفضة والطاقة الحرارية الأرضية. هذا الاقتراح يسمح بتوليد الطاقة الكهربائية حتى في حالة عدم توفر ضوء الشمس.



الشكل (22.1): مدخنة هجينة للطاقة الشمسية الحرارية الأرضية [12]

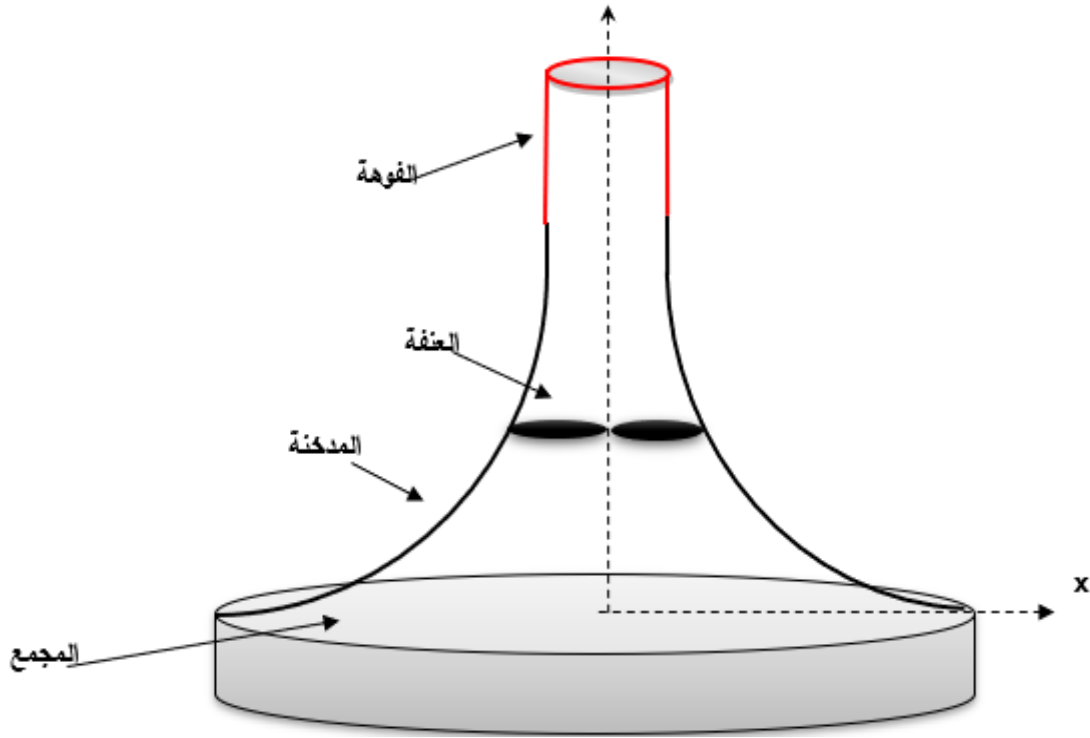
الفصل الثاني:  
النمذجة الرياضية والمعادلات الفيزيائية

**مقدمة:**

الهدف من هذا الفصل هو النمذجة الرياضية والمعادلات الفيزيائية لمقارنة سرعة الهواء المتولد والتوزيع الحراري تحت تأثير الحمل الحراري الطبيعي داخل المدخنة لاختيار الشكل الهندسي المناسب للفوهة لأحسن أداء.

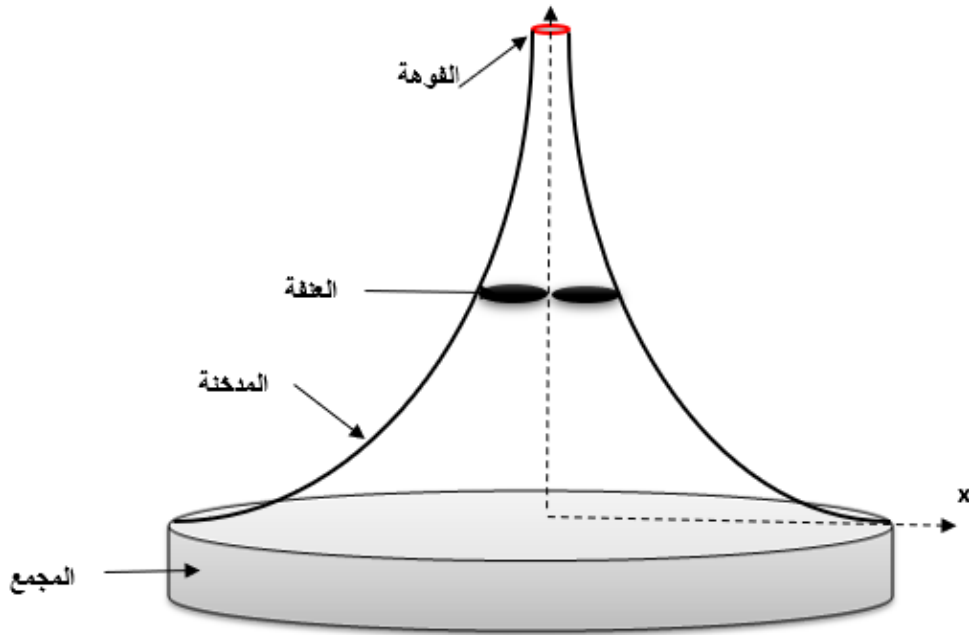
**1. وصف المشكلة الفيزيائية:**

بعدما تطرقنا في الفصل الأول إلى عموميات حول المدخنة الشمسية ومختلف استعمالاتها وكذلك مبدأ عملها، سنحاول في هذا الفصل إلى دراسة النموذج الرياضي للمدخنة الشمسية والمعادلات الفيزيائية التي تعبر عن ظاهرة الحمل الحراري الطبيعي. كما نتطرق إلى الأشكال الهندسية المختلفة للمدخنة.

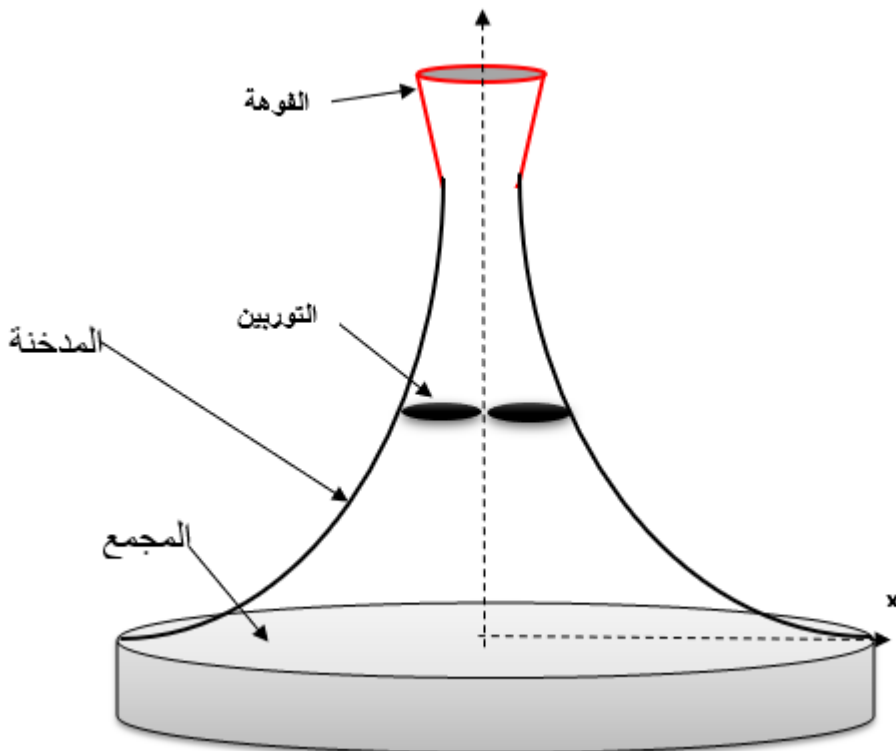


الشكل (2.1): التمثيل الهندسي لمختلف أجزاء المدخنة الشمسية

حالة فوهة مستقيمة



الشكل (2.2): التمثيل الهندسي لمختلف أجزاء المدخنة الشمسية  
حالة فوهة متقاربة



الشكل 2.3: التمثيل الهندسي لمختلف أجزاء المدخنة الشمسية  
حالة فوهة متباعدة

## 2. النمذجة الرياضية:

يمكننا اعتبار معادلة الاستمرارية، معادلة كمية الحركة ومعادلة الطاقة هي المعادلات التي تصف ظاهرة الحمل الحراري داخل المدخنة الشمسية. يتم التعبير عنها في البداية في شكلها الشعاعي ثم يتم كتابتها في الاحداثيات الديكارتية.

### • معادلة الاستمرارية:

وهي المعادلة التي تعبر عن انحفاظ الكتلة كالتالي:

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

حيث:

$\rho$ : الكتلة الحجمية للهواء.

$\vec{v}$ : مركبات السرعة.

### • معادلة كمية الحركة:

مبدأ انحفاظ كمية الحركة يسمح لنا بكتابة المعادلة التالية:

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

حيث:

$\vec{g}$ : تسارع الجاذبية.

$\mu$ : اللزوجة الديناميكية.

$\vec{k}$ : مصفوفة الاجهادات.

$p$ : ضغط الهواء.

### • معادلة الطاقة:

معادلة انحفاظ الطاقة يتم الحصول عليها من المبدأ الأول للديناميكا الحرارية

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

حيث:

$T$ : درجة حرارة الهواء.

$\lambda$ : الناقلية الحرارية للهواء.

$C_p$ : السعة الحرارية للهواء.

### 3- صياغة المعادلات في الاحداثيات الديكارتية:

• معادلة الاستمرارية:

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

• معادلة كمية الحركة:

اسقاط المعادلة (2.2) على المحور (OX) والمحور (OY):  
على المحور (OX):

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

على 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:

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

### 4- الفرضيات التبسيطية:

لبناء نموذج رياضي يحاكي الظاهرة الفيزيائية في شروطها البسيطة لابد من وضع

عدد من الافتراضات وأخذها بعين الاعتبار، لذلك نفترض أن :

- خصائص المائع (الهواء) الفيزيائية ثابتة.
- المائع (الهواء) نيوتوني.
- تبديد اللزوجة وقوى الضغط مهملان.
- انعدام التبادل الاشعاعي مع السائل.
- المشكلة ثنائية الابعاد، دائمة وصفائحية.
- نفترض أننا في إطار تقريب بوسينسك حيث:

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

$\rho_0$ : الكتلة الحجمية عند  $T_0$

$T_0$ : درجة الحرارة المرجعية.  
 $\beta_T$ : معامل التمدد الحراري في ضغط ثابت.

### 5- المعادلات اللابعدية:

ننتقل إلى كتابة المعادلات السابقة في صيغتها اللابعدية مع أخذ بعين الاعتبار الفرضيات التبسيطية السابقة و هذا لإبراز العوامل التي نتحكم بها في الظاهرة الفيزيائية و هي كل من الاعداد اللابعدية التالية :

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

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

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

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

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

معادلة الاستمرارية:

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

معادلة الحركة:

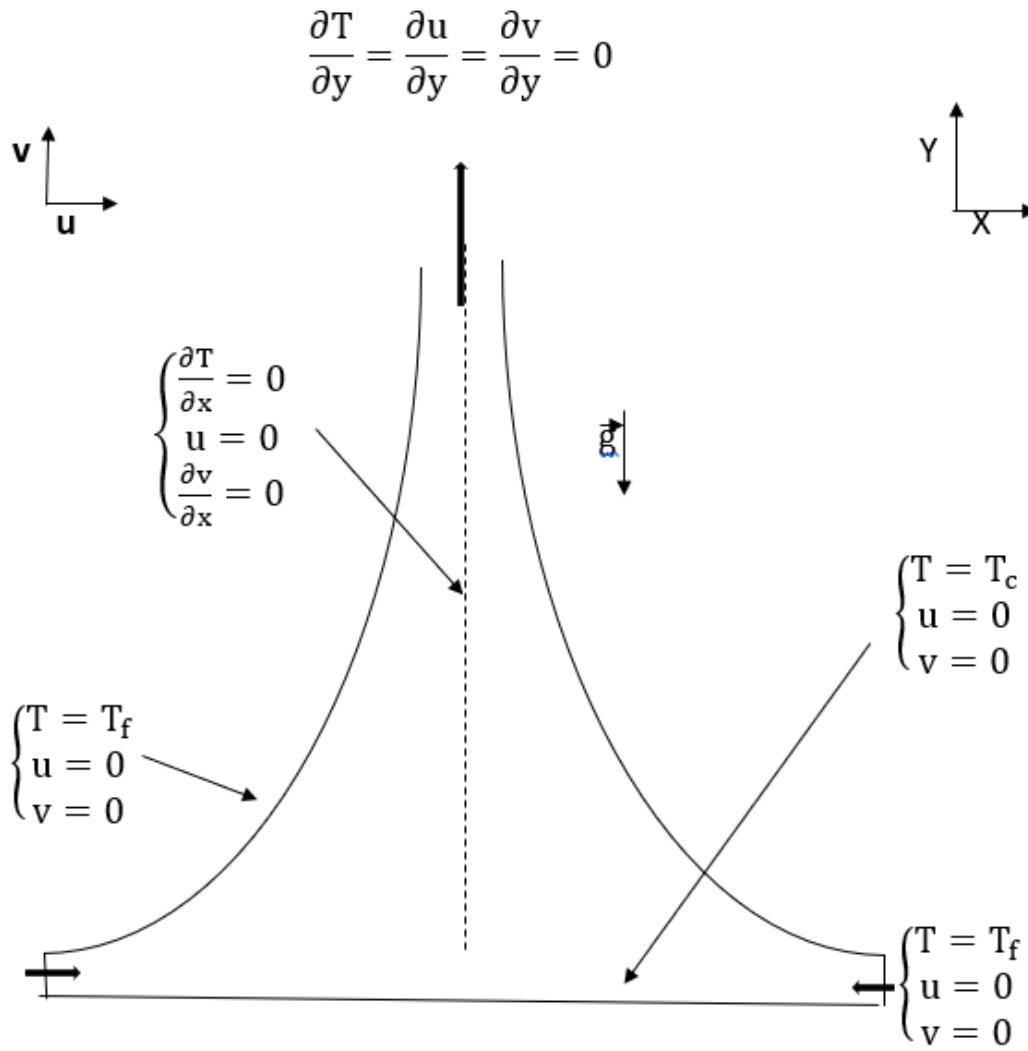
$$(2.9) \quad u^+ \frac{\partial u^+}{\partial x^+} + v^+ \frac{\partial u^+}{\partial y^+} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P^+}{\partial x^+} + P_r \left( \frac{\partial^2 u^+}{\partial x^{+2}} + \frac{\partial^2 u^+}{\partial y^{+2}} \right)$$

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

معادلة الطاقة:

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

6- الشروط الحدية:



الشكل (2.4): الشروط الحدية

الفصل الثالث:  
المحاكاة العددية

## مقدمة:

في كثير من الحالات نلجأ للمحاكاة العددية لحل بعض المشاكل الفيزيائية التي صعب حل معادلاتها بالتحليل وذلك كحل تقريبي باستخدام البرمجة المباشرة أو أحد البرامج المتاحة والمستعملة في تطبيقات الموائع وحركتها. من بين العديد من البرامج، البرنامج Comsol Multiphysics الذي اعتمدنا عليه لإجراء المحاكات العددية لمقارنة سرعة الهواء المتولد والتوزيع الحراري تحت تأثير الحمل الحراري الطبيعي داخل المدخنة لاختيار الشكل الهندسي المناسب للفوهة.

### 1. نظرة عامة حول البرنامج Comsol:

#### ❖ التعريف ببرنامج Comsol:

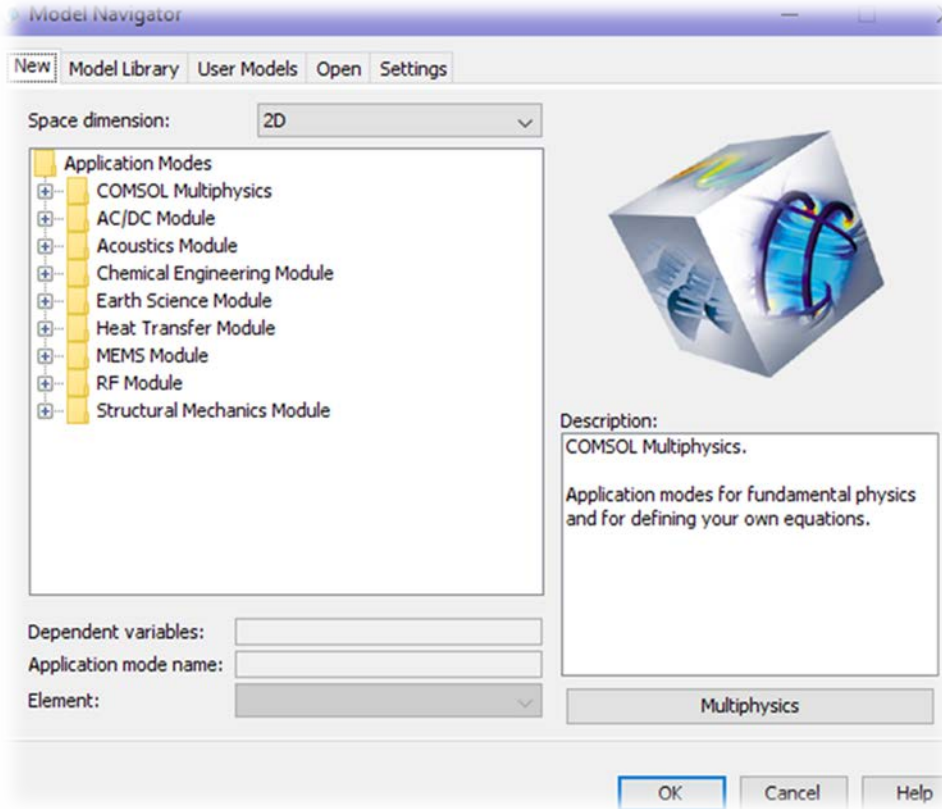
هو برنامج محاكاة عام لتصميم النماذج والأجهزة والعمليات في جميع مجالات الهندسة والتصنيع والبحث العلمي. بالإضافة إلى استخدام النمذجة متعددة الفيزياء للمشاريع. كما يعد برنامج لتحليل العناصر المحدودة عبر الأنظمة الأساسية وبرنامج محاكاة لحل المعادلات التفاضلية الجزئية.

#### ❖ مميزات البرنامج:

- ✓ نمذجة الظواهر الفيزيائية المتعددة نتائج دقيقة.
- ✓ واجهات ومميزات محددة مسبقاً للنمذجة القائمة على الفيزياء.
- ✓ اتباع سير عمل نمذجة متسقة.
- ✓ تسلسل خطوات الدراسة.
- ✓ المرونة من خلال النمذجة القائمة على المعادلات.
- ✓ الشبكات الآلية واليدوية.
- ✓ أحدث الأساليب العددية لحلول دقيقة.
- ✓ أدوات لإظهار البيانات والمعالجة اللاحقة لنتائج النمذجة الجاهزة للنشر.

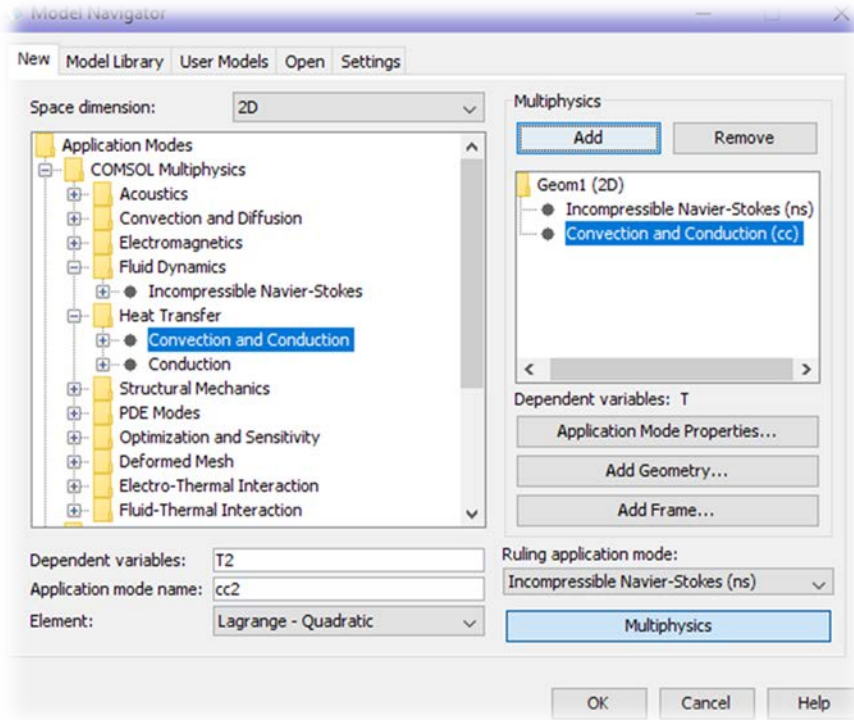
## 2. خطوات العمل على البرنامج:

**الخطوة 01:** فتح البرنامج، حيث تظهر لنا واجهة Model Navigator التي تسمح لنا ببدأ عملية النمذجة والتحكم في جميع إعدادات البرنامج.



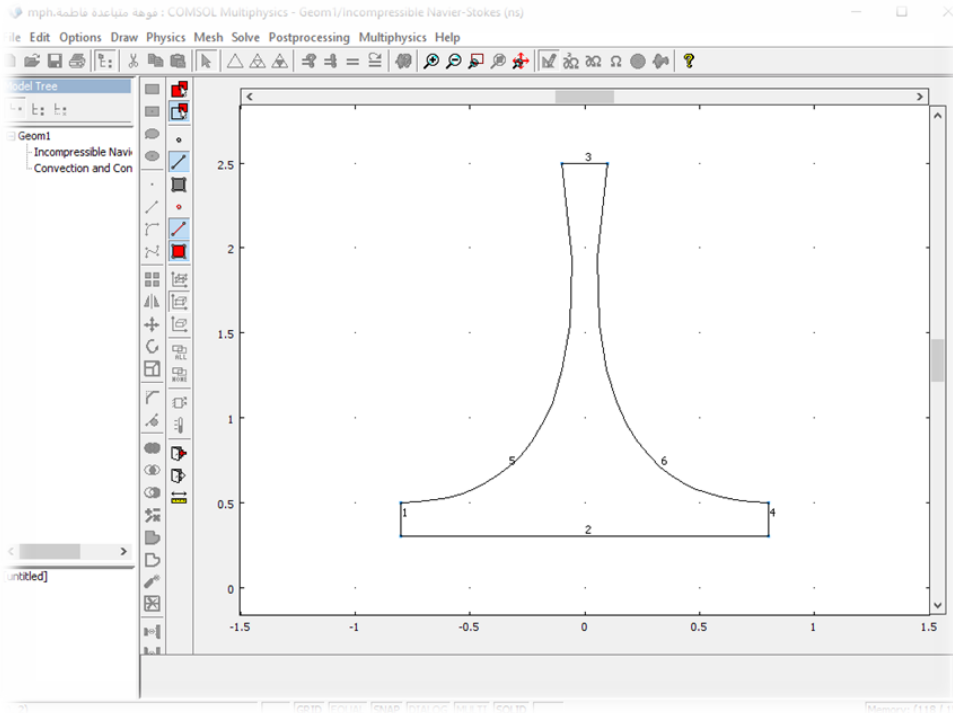
الشكل (1.3): الواجهة Model Navigator

### الخطوة 02: تحديد بعد ونمط التطبيق للنموذج



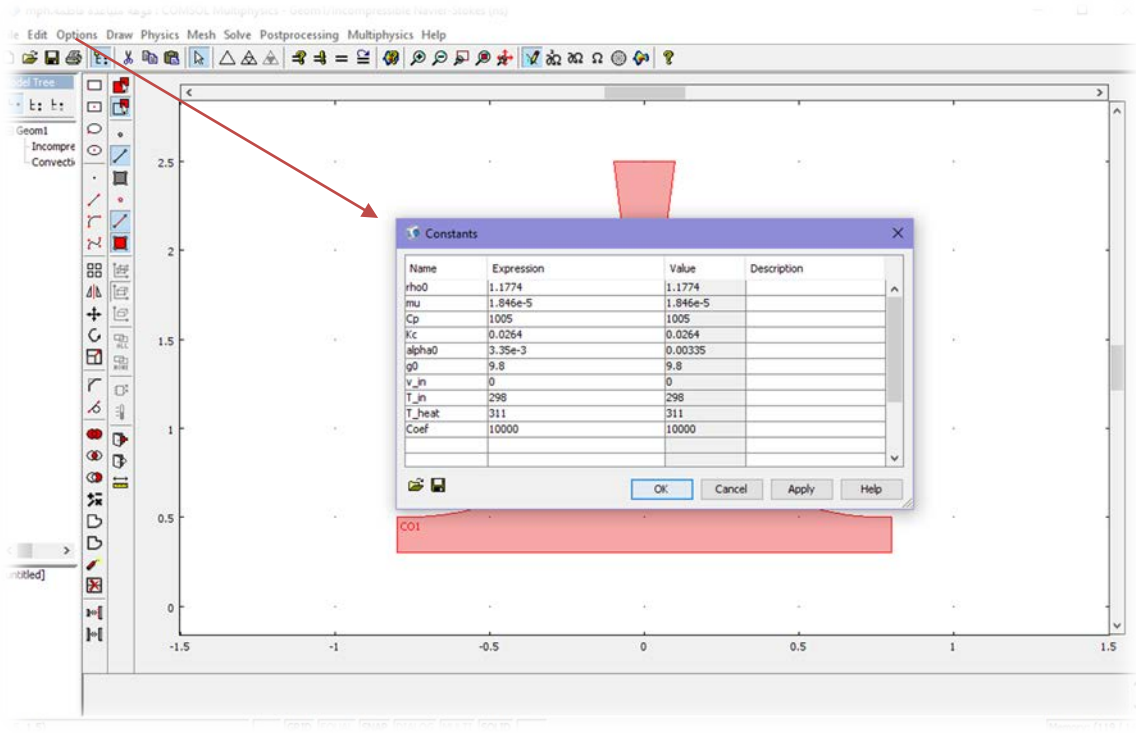
الشكل (2.3): مراحل تحديد بعد ونمط التطبيق

### الخطوة 03: إنشاء الشكل الهندسي



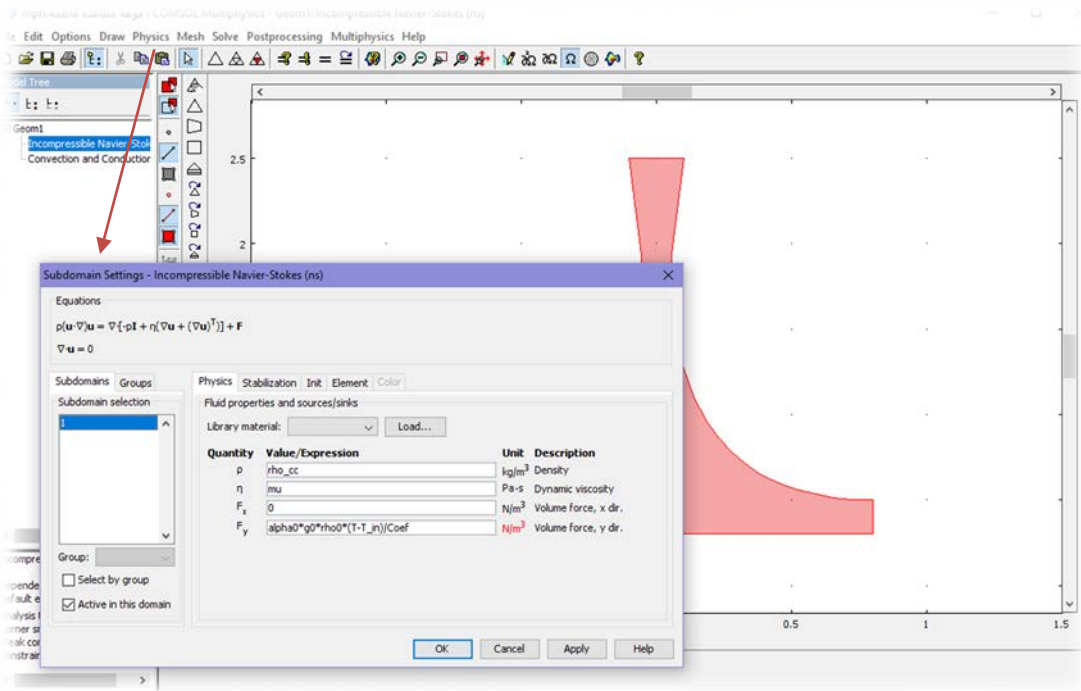
الشكل (3.3): هندسة المجال الفيزيائي

الخطوة 04: إدخال الثوابت الخاصة

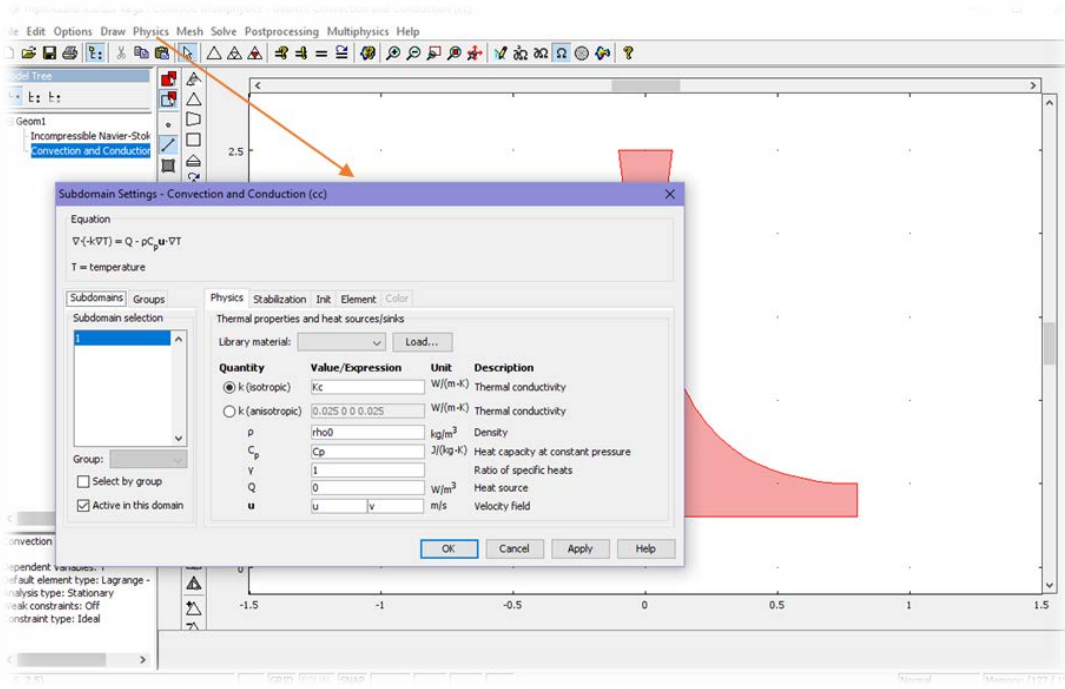


الشكل (4.3): إدخال الثوابت

الخطوة 05: تحديد المعلومات الخاصة بالمجال الفيزيائي

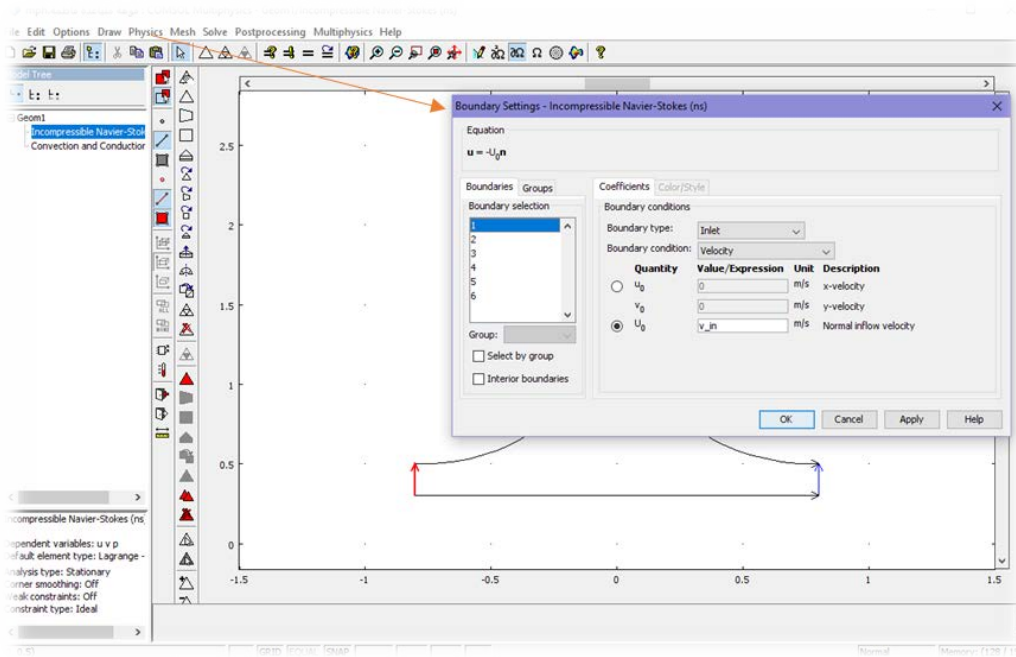


الشكل (5.3): النمط (Navier Stocks ns)

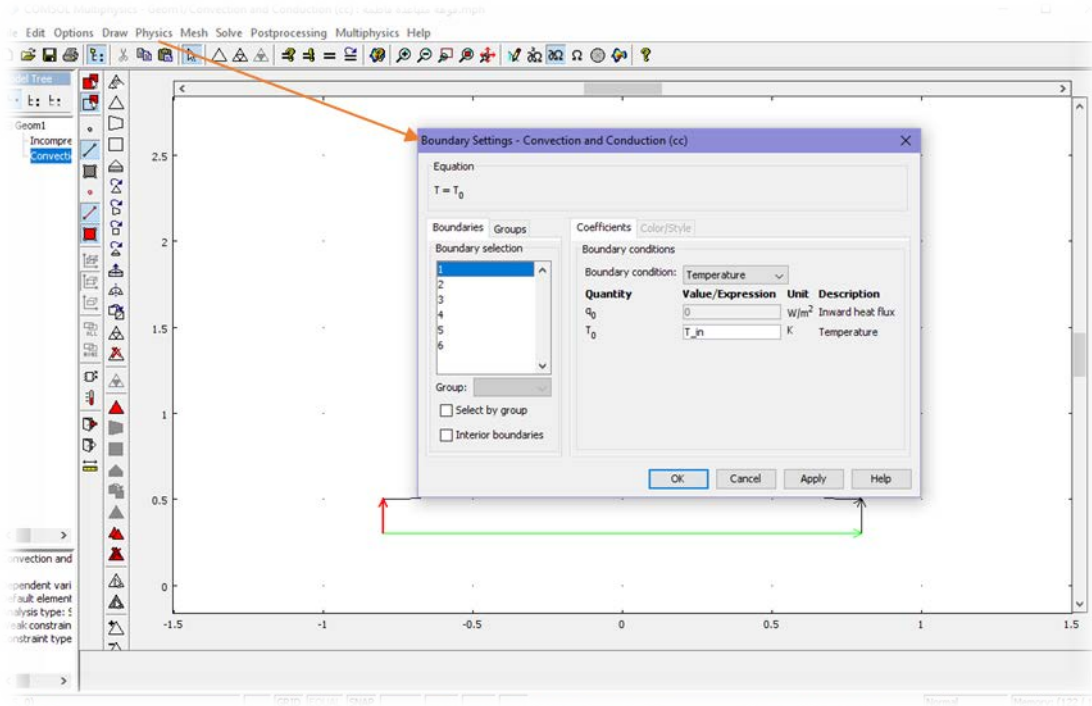


الشكل (6.3): النمط (Convection Conduction cc)

الخطوة 06: تحديد الشروط الحدية (وظيفة وخصائص كل سطح)

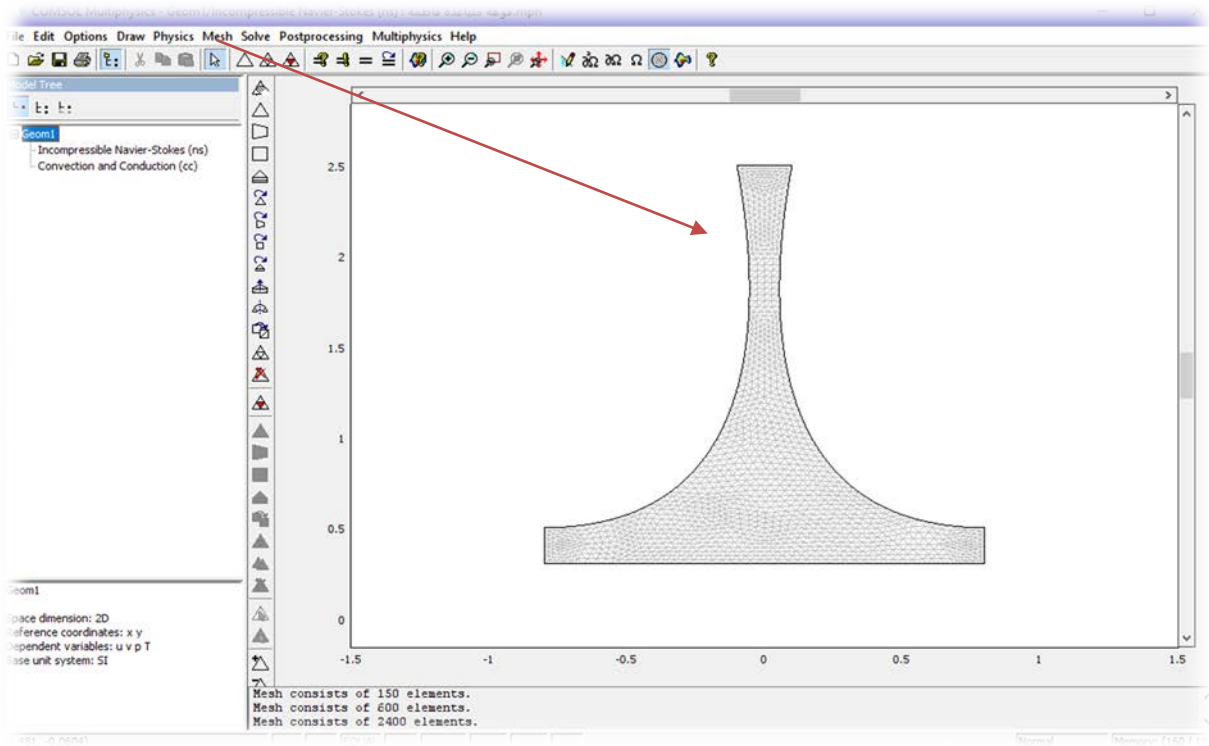


الشكل (7.3): تحديد الشروط الحدية لنمط ns



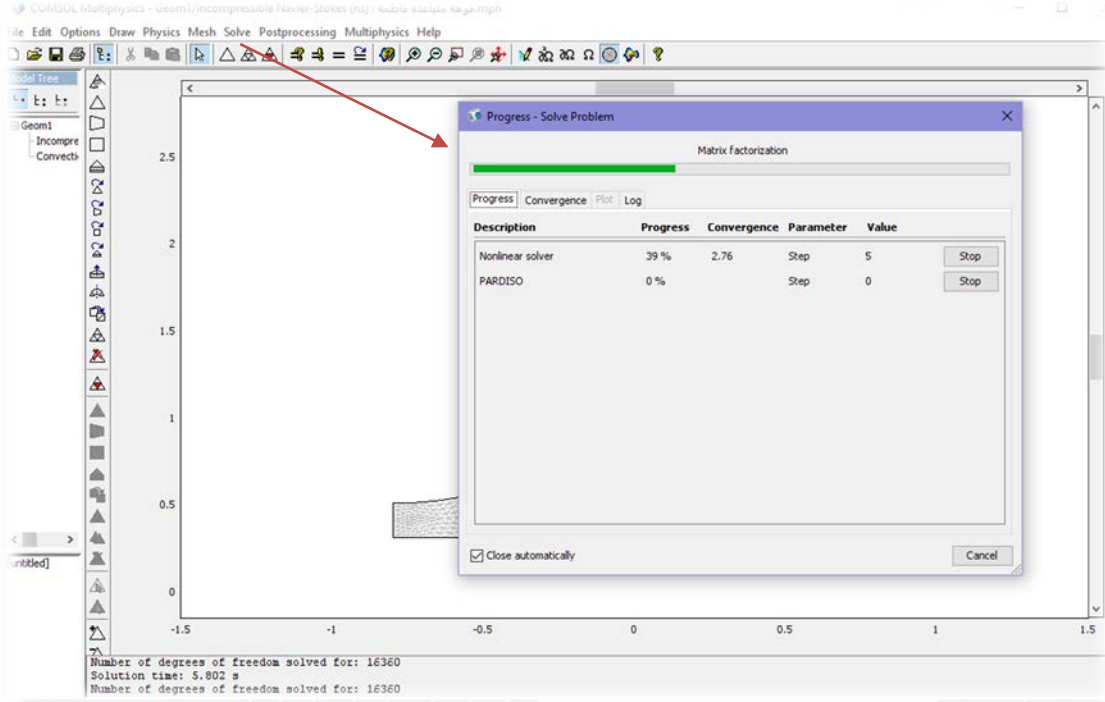
الشكل (8.3): تحديد الشروط الحدية لنمط CC

الخطوة 07: تقسيم الحيز الهندسي (maillage)



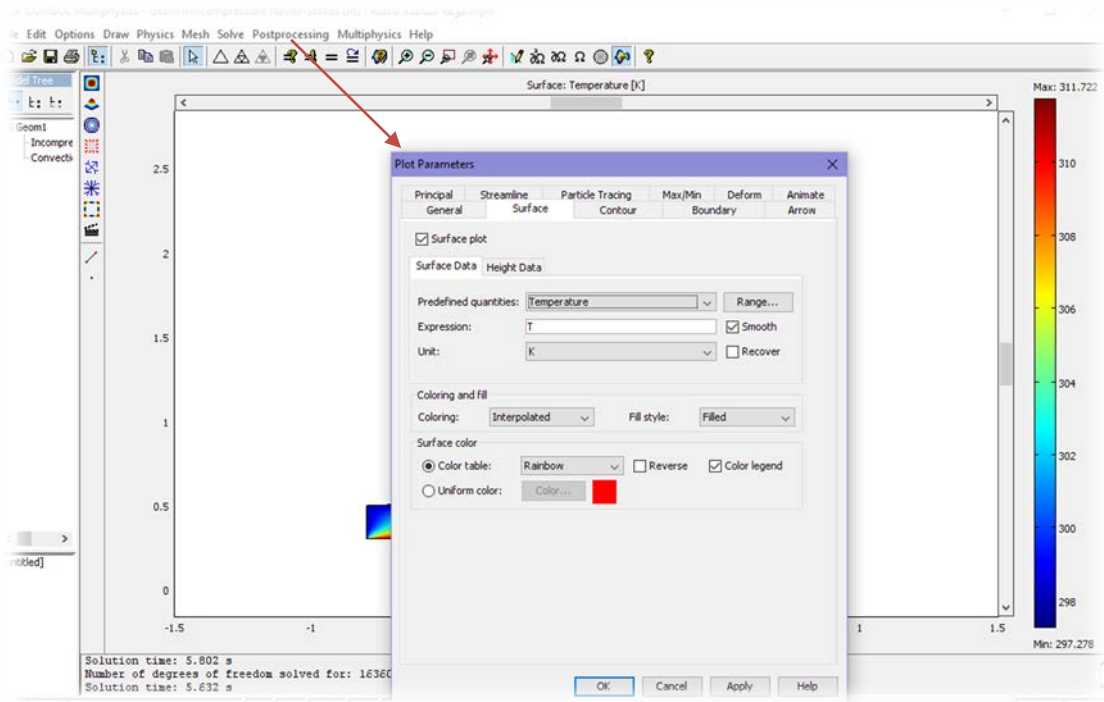
الشكل (9.3): انشاء شبكة تقسيمات المجال الهندسي (Maillage)

الخطوة 08: الحساب والمعالجة



الشكل (10.3): بداية الحساب والمعالجة

الخطوة 09: نتائج المحاكاة



الشكل (11.3): اختيار وإظهار النتائج المختلفة للمحاكاة

الفصل الأخير:

النتائج والمناقشة

## مقدمة:

بعدما قمنا بالتعريف بالمدخنة الشمسية وذكر استعمالاتها ودراسة النموذج الرياضي والمعادلات الفيزيائية للحمل الحراري الطبيعي داخل المدخنة، ثم المحاكاة العددية والتعريف ببرنامج Comsol Multiphysics الذي اعتمدنا عليه لدراسة تأثير الشكل الهندسي لفوهة المدخنة على سرعة الهواء المتولد داخل المدخنة الشمسية والتوزيع الحراري تحت تأثير الحمل الحراري الطبيعي. في هذا الفصل سنقوم بدراسة النتائج المتحصل عليها ومناقشتها و هذا على نموذج مصغر من المدخنة الشمسية بالأبعاد التالية: ارتفاع فوهة المدخنة و 1.5 m عرض سطح المجمع و 0.2 m ارتفاعه عن الارضية.

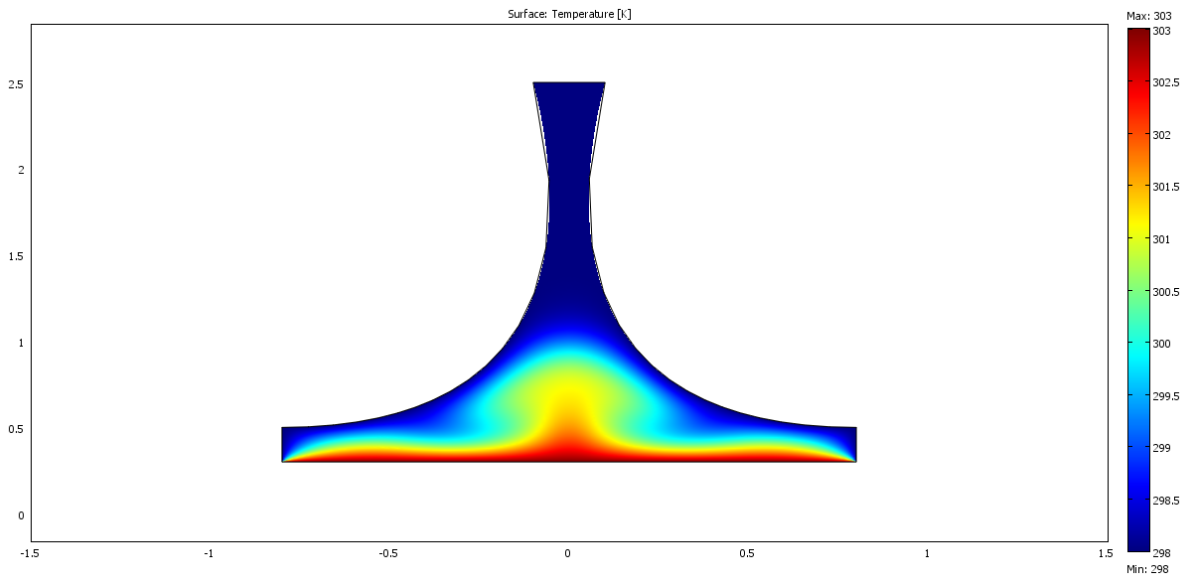
### 1. تأثير الفارق في الحرارة بين المجمع والأرضية على حركة الهواء داخل المدخنة:

في البداية ندرس تأثير الفارق في الحرارة بين المجمع والأرضية على حركة الهواء والسرعة العمودية في منتصف المدخنة بالنسبة لحالات الثلاثة المختلفة لشكل المدخنة من خلال الارتفاع التدريجي في الفارق الحراري الذي يوافق  $\Delta T = 5K$  ،  $\Delta T = 10K$  و  $\Delta T = 20K$  بحيث يتم تقديم النتائج في شكل خطوط متساوية الحرارة اللابعدية وكذلك حقول محصلة السرعة.

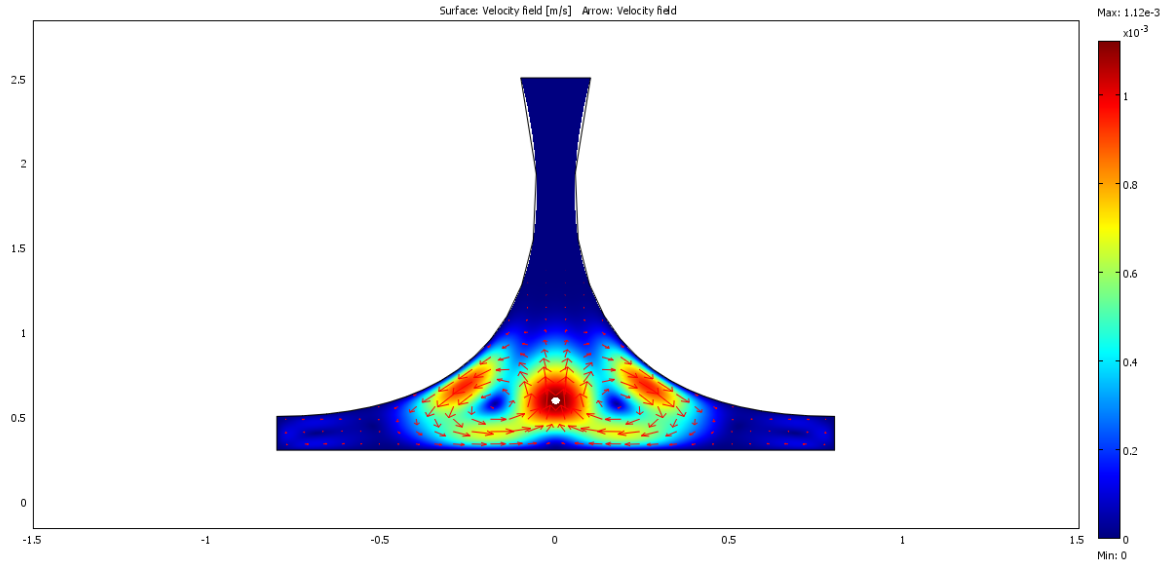
### ❖ حالة مدخنة ذات فوهة متباعدة:

الاشكال من (1.4) إلى غاية (6.4) تمثل تدرجات خطوط تساوي الحرارة ومجال السرعة اللابعديين. نلاحظ في الشكل (1.4) أين تكون قيمة الفارق الحراري داخل المدخنة الموافق ل  $\Delta T = 5K$  خطوط تساوي الحرارة تبدأ بالتموج التدريجي بين الأرضية والمجمع كما يزداد تحديها عند مدخل المدخنة، وهذا ما يعبر على أن ظاهرة الحمل الحراري الطبيعي بدأت تساهم في عملية التحويل الحراري داخل كامل حيز المدخنة الشمسية إلى جانب التوصيل الحراري الذي يبقى عمليا بين المجمع والأرضية. كما نلاحظ في الشكل (2.4) أن حقل

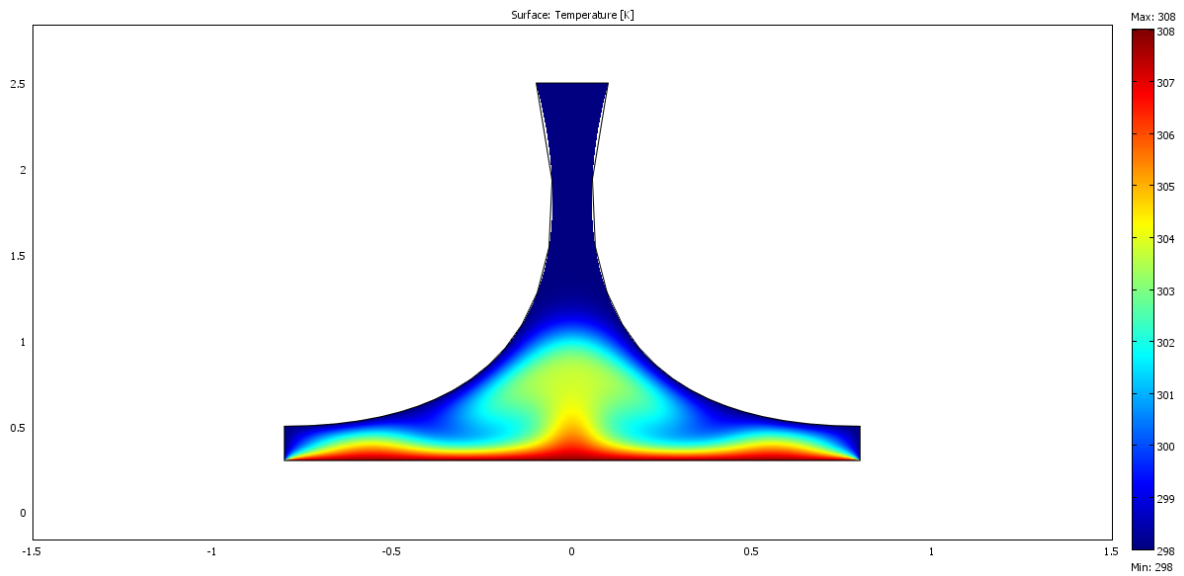
تدفق الهواء بدأ في التكون على شكل خلايا دورانية متجاورة، كما أن الخلية الرئيسية الموجودة عند مدخل المدخنة مرتفعة داخل أنبوب المدخنة. يوضح لنا الشكل (3.4) و(5.4) أنه مع الزيادة التدريجية في قيمة التوزيع الحراري إلى غاية بلوغ  $\Delta T = 20K$  يزداد تموج خطوط تساوي الحرارة بشكل تدريجي داخل كامل الحيز المتواجد بين الأرضية والمجمع وخاصة عند مدخل المدخنة حيث يصبح الحمل الحراري الطبيعي هو المحرك الرئيسي للتحويل الحراري داخل المدخنة الشمسية بعد أن كان يساهم مع التوصيل الحراري فقط. أما من خلال الشكلين (4.4) و(6.4) فيتبين لنا أن سرعة تدفق الهواء بلغت قيمتها القصوى عند مدخل المدخنة، إلا أن الهواء في بقية المدخنة يعتبر في حالة ركود.



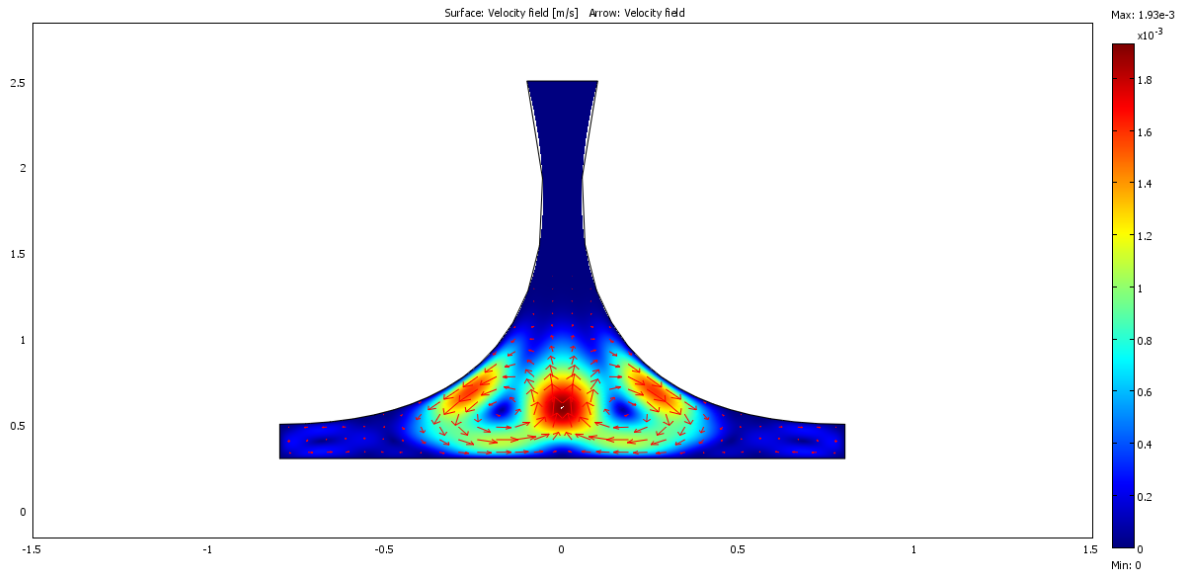
الشكل (1.4): التوزيع الحراري داخل المدخنة الموافق  $\Delta T=5 k$



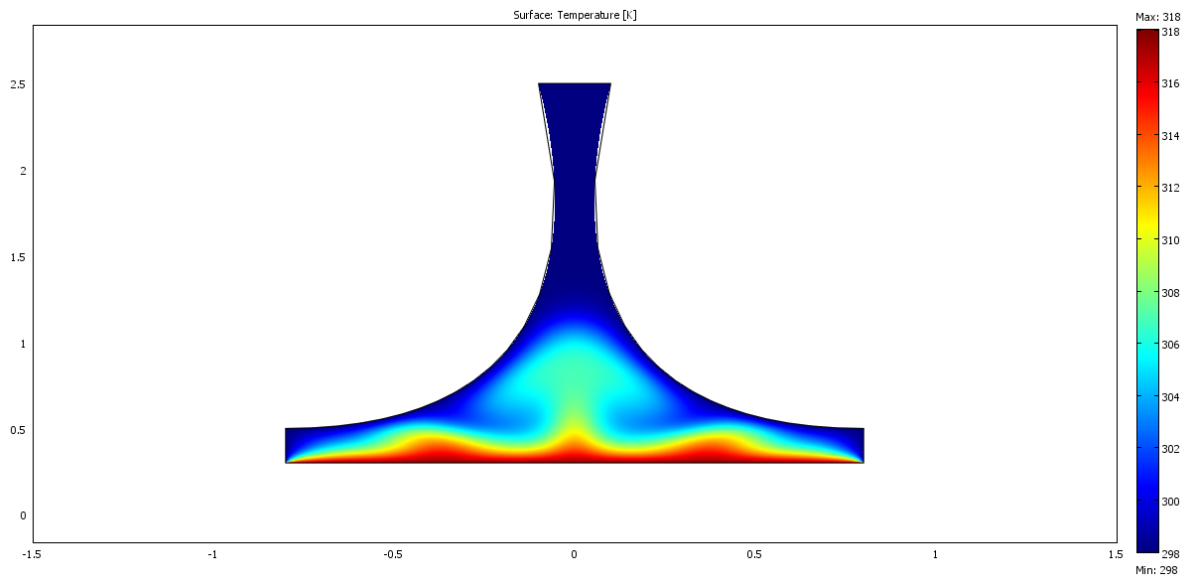
الشكل (2.4): حقل السرعات داخل المدخنة الموافق للفارق الحراري  $\Delta T=5$  k



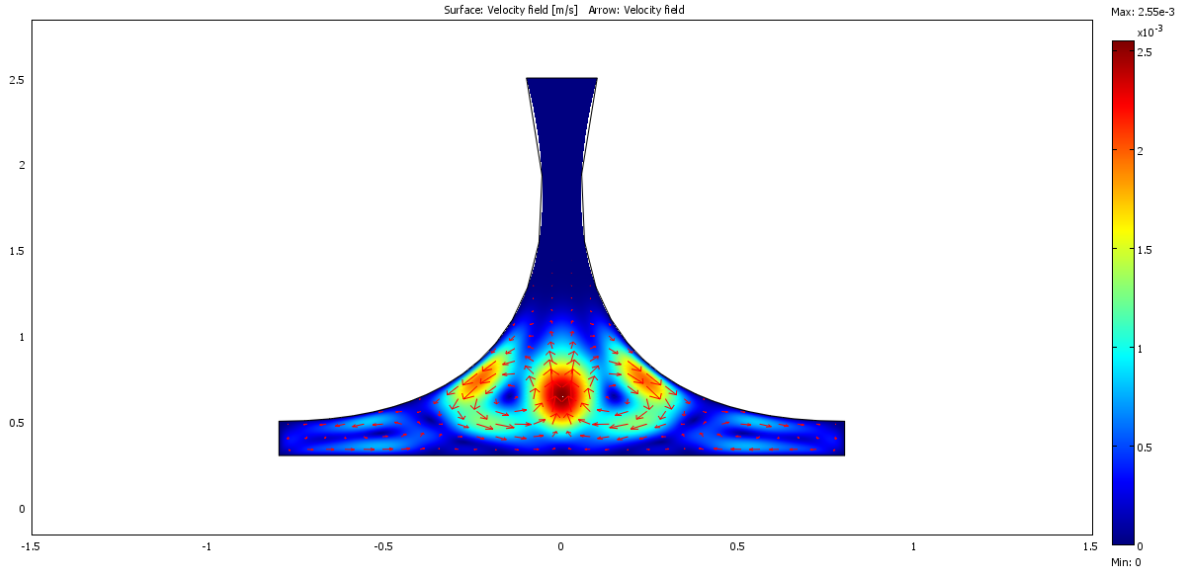
الشكل (3.4): التوزيع الحراري داخل المدخنة الموافق  $\Delta T=10$  k



الشكل (4.4): حقل السرعات داخل المدخنة الموافق  $\Delta T=10$  k



الشكل (5.4): التوزيع الحراري داخل المدخنة الموافق  $\Delta T=20$  k



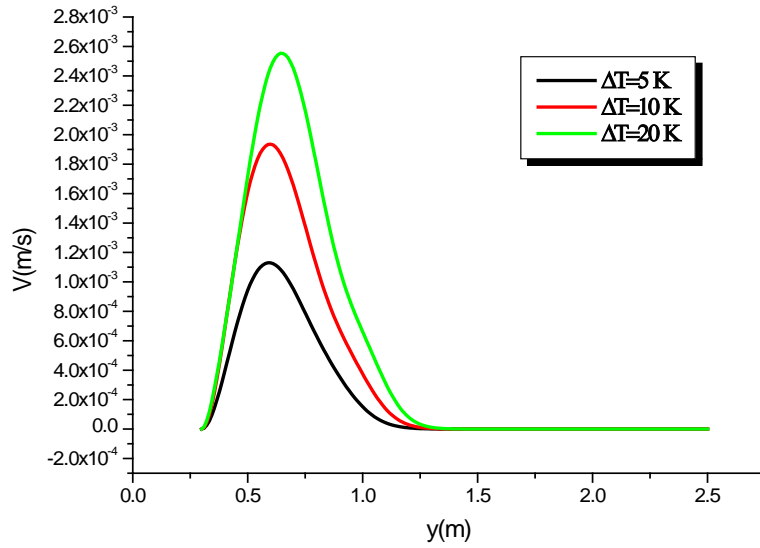
الشكل (6.4): حقل السرعات داخل المدخنة الموافق للفارق الحراري  $\Delta T = 20 \text{ K}$

#### - تأثير الفرق في الحرارة على السرعة العمودية في منتصف المدخنة:

يمثل المنحنى البياني الشكل (7.4) تغيرات السرعة العمودية في منتصف المدخنة بدلالة  $\Delta T$ . نلاحظ من خلال المنحنيات أن السرعة العمودية تتزايد انطلاقاً من أرضية المدخنة الشمسية مروراً بمدخل المدخنة إلى أن تصل إلى أقصى قيمة لها عند ارتفاع معين من المدخنة، ثم تبدأ في التناقص إلى أن تنعدم قريباً من فوهة المدخنة.

عند  $\Delta T = 20 \text{ K}$  بلغت السرعة قيمتها العظمى  $v = 2.6 \times 10^{-3} \text{ m/s}$  عند الارتفاع  $y = 0.65 \text{ m}$ . عند  $\Delta T = 10 \text{ K}$  بلغت القيمة العظمى للسرعة  $v = 1.9 \times 10^{-3} \text{ m/s}$  التي توافق الارتفاع  $y = 0.6 \text{ m}$ . أما عند الدرجة  $\Delta T = 5 \text{ K}$  فإن السرعة عند الارتفاع  $y = 0.6 \text{ m}$  بلغت  $v = 1.18 \times 10^{-3} \text{ m/s}$

من خلال هذه المقارنة بين الحالات الثلاثة نلاحظ أن شدة تدفق الهواء تتناسب طردياً مع فرق درجة الحرارة.



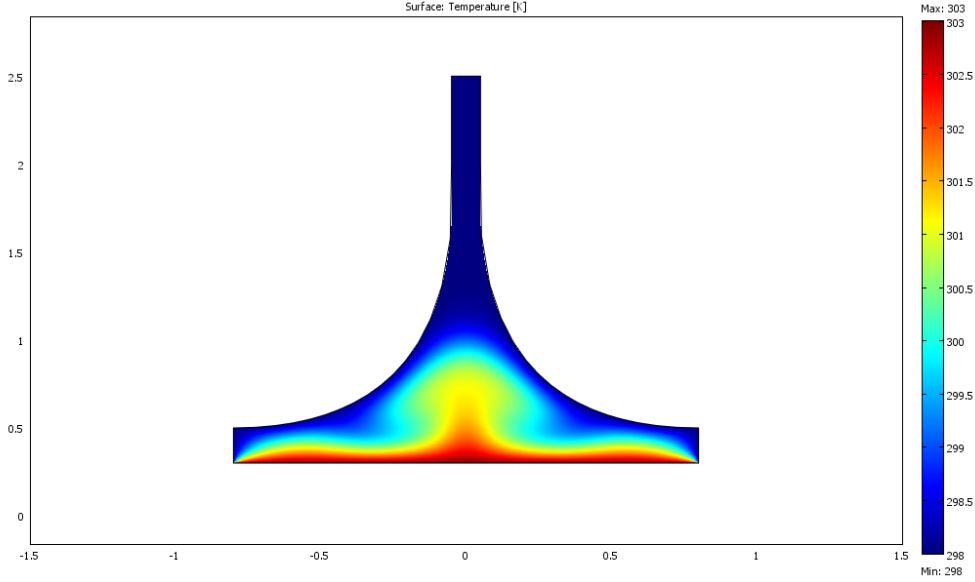
الشكل (7.4): منحنى بياني لتغير السرعة العمودية في منتصف المدخنة بدلالة  $\Delta T$

### حالة مدخنة ذات فوهة مستقيمة:

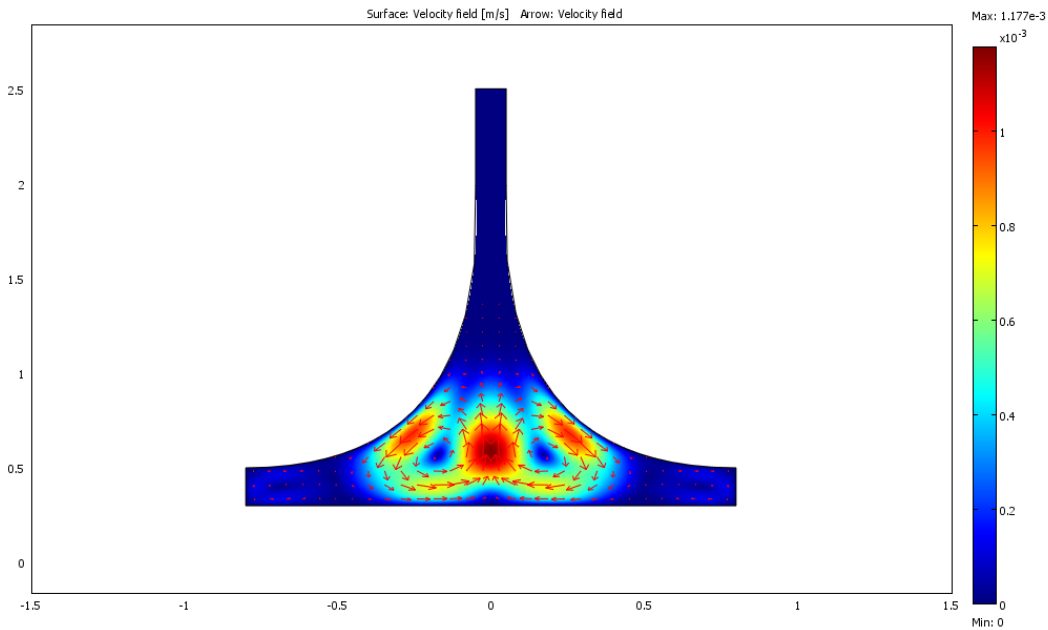
تمثل الأشكال من (8.4) إلى (13.4) تدرجات تساوي خطوط الحرارة ومجال السرعة اللابعيين. نلاحظ في الشكل (8.4) خطوط تساوي الحرارة عند الدرجة  $\Delta T = 5K$  تبدأ في التموج التدريجي بين الأرضية والمجمع، كما يزداد تحديها عن مدخل المدخنة. وهذا ما يعبر على أن ظاهرة الحمل الحراري الطبيعي تساهم في عملية التحويل الحراري داخل كامل حيز المدخنة إلى جانب شبه التوصيل الحراري بين الأرضية والمجمع. كما نلاحظ في الشكل (9.4) أن حقل تدفق الهواء بدأ يتشكل على شكل خلايا دورانية متجاورة والخلية الرئيسية الموجودة عند مدخل المدخنة بدأت في الارتفاع داخل أنبوب المدخنة، كما أن السرعة تضاعفت مقارنة بالحالات السابقة.

يوضح لنا الشكل (10.4) و(12.4) أنه مع الزيادة التدريجية في درجة الحرارة إلى غاية  $\Delta T = 20K$  يزداد تموج خطوط تساوي الحرارة بشكل مضاعف داخل كامل الحيز المتواجد بين الأرضية والمجمع وخاصة عند مدخل المدخنة، حيث يصبح الحمل الحراري الطبيعي يلعب دورا رئيسيا للتحويل الحراري الطبيعي داخل المدخنة. أما من خلال الشكلين (11.4)

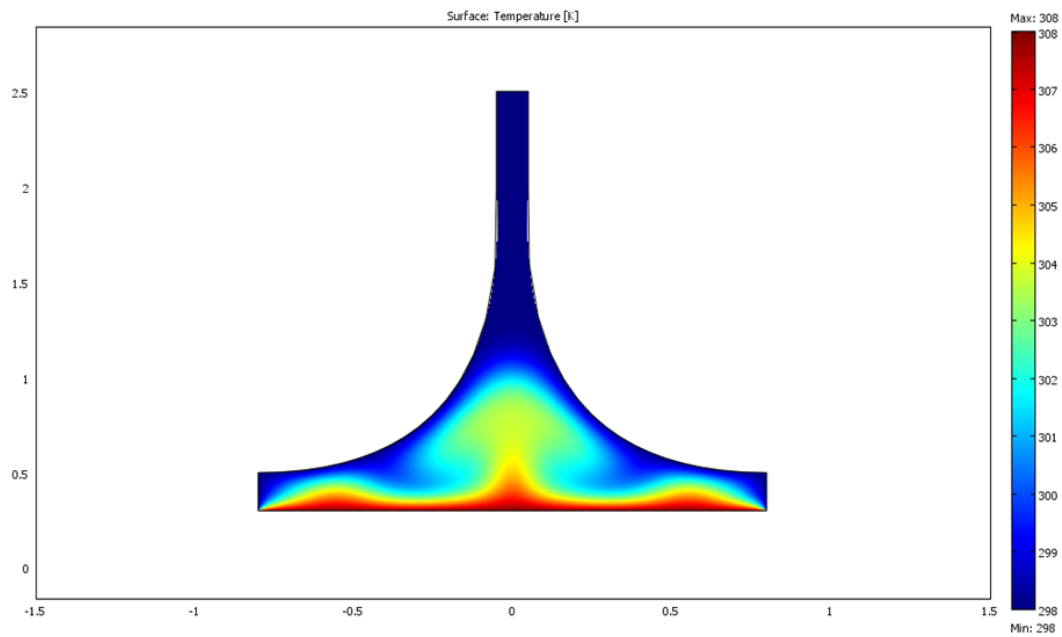
و(13.4) يتجلى لنا بروز الحلقات الدورانية المتجاورة والتكاثف المتزايد يعبر عن وجود تدفق كبير للهواء داخل المدخنة الشمسية وارتفاع السرعة الالابعدية وبلوغها القيمة القصوى عند مدخل المدخنة.



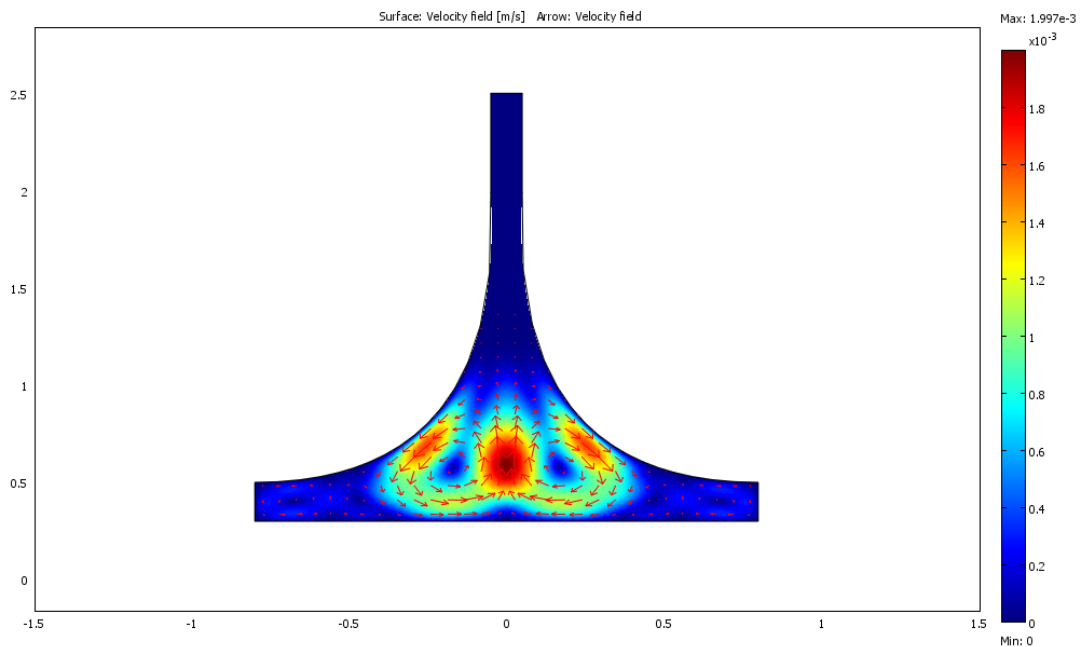
الشكل (8.4): التوزيع الحراري داخل المدخنة الموافق  $\Delta T=5$  k



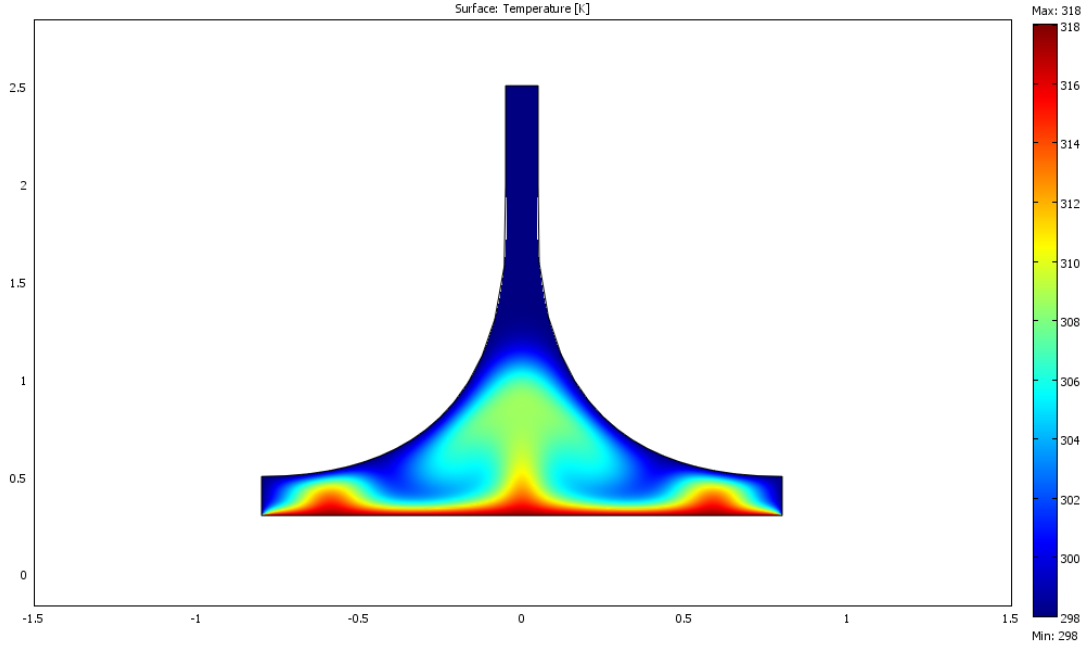
الشكل (9.4): حقل السرعات داخل المدخنة الموافق للفارق الحراري  $\Delta T = 5K$



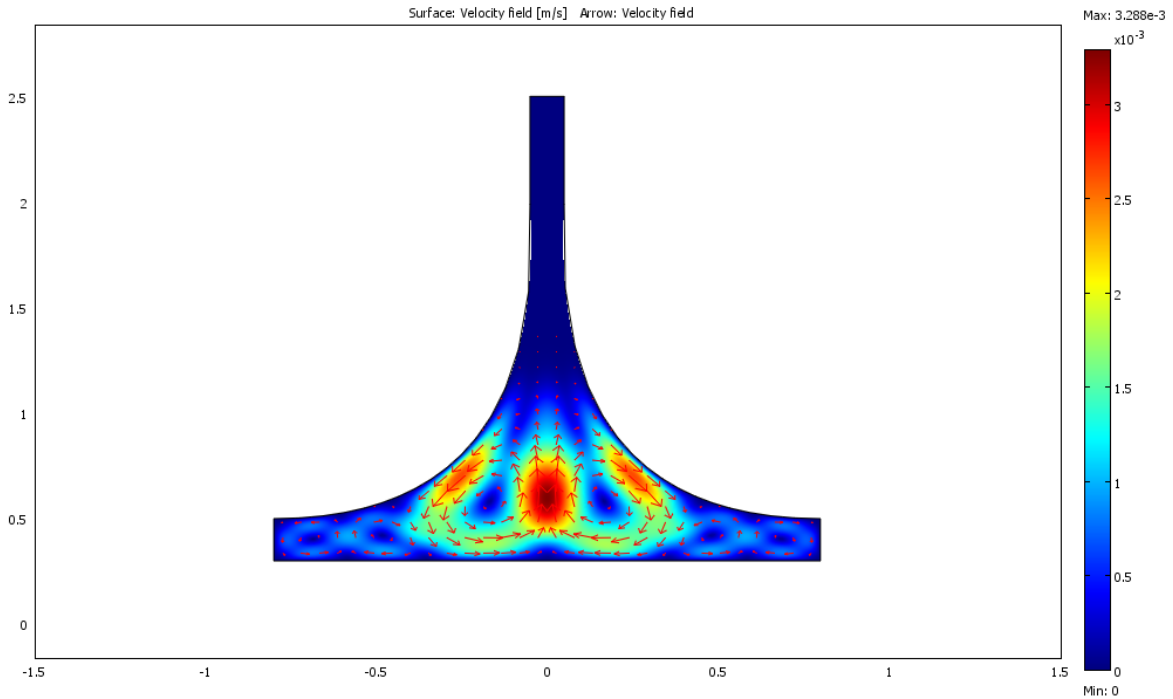
الشكل (10.4): التوزيع الحراري داخل المدخنة الموافق  $\Delta T = 10K$



الشكل (11.4): حقل السرعات داخل المدخنة الموافق للفارق الحراري  $\Delta T = 10K$



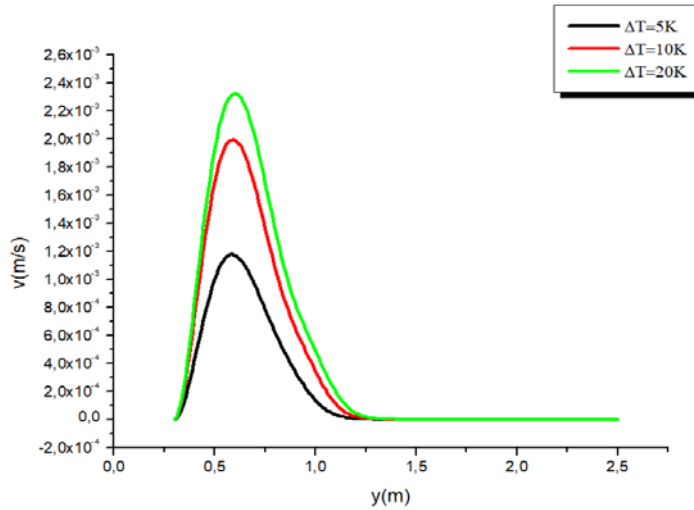
الشكل (12.4): التوزيع الحراري داخل المدخنة الموافق  $\Delta T = 20K$



الشكل (13.4): حقل السرعات داخل المدخنة الموافق للفارق الحراري  $\Delta T = 20K$

- تأثير الفرق في الحرارة على السرعة العمودية في منتصف المدخنة:

يمثل الشكل (14.4) منحنى تغيرات السرعة العمودية في منتصف المدخنة بدلالة الفرق في الحرارة. إذ نلاحظ من خلال المنحنيات أن السرعة العمودية في الحالات الثلاثة تتزايد انطلاقاً من أرضية المدخنة الشمسية مروراً بمدخل المدخنة إلى أن تصل إلى أقصى قيمة لها عند ارتفاع معين من المدخنة، ثم تبدأ في التناقص إلى أن تتعدم قريباً من فوهة المدخنة. عند الدرجة  $\Delta T = 20K$  بلغت سرعة الهواء  $v = 2.35 \times 10^{-3} m/s$  عند الارتفاع  $y = 0.65m$ . عند الدرجة  $\Delta T = 10K$  كانت سرعة الهواء بلغت  $v = 2.0 \times 10^{-3} m/s$  عند الارتفاع  $y = 0.63m$ . أما عند الدرجة  $\Delta T = 5K$  فإن السرعة توقفت عند  $v = 1.2 \times 10^{-3} m/s$  الموافقة لـ  $y = 0.6m$ .

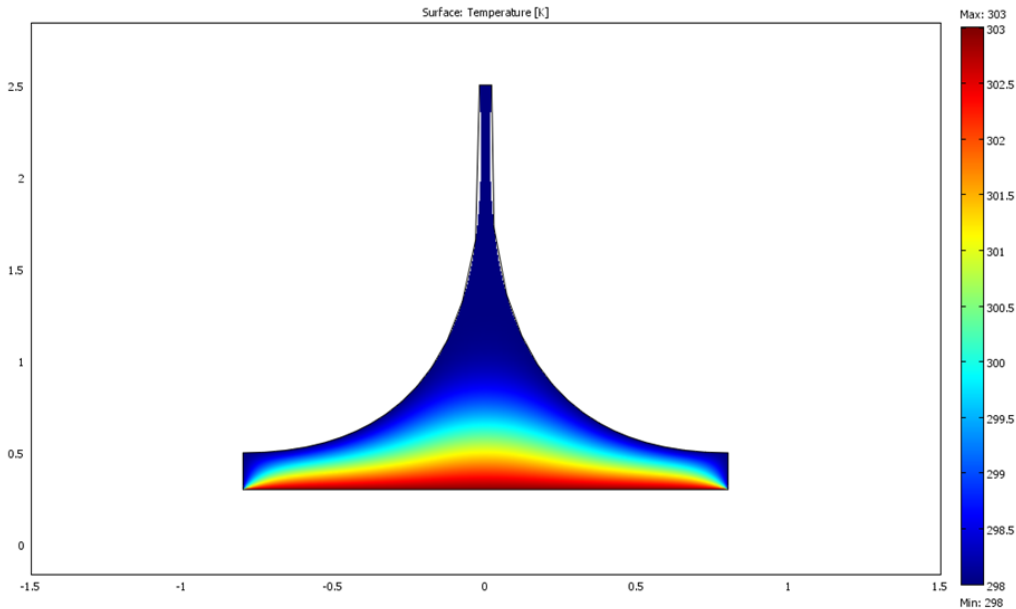


الشكل (14.4): منحنى بياني لتغير السرعة العمودية في منتصف المدخنة بدلالة  $\Delta T$

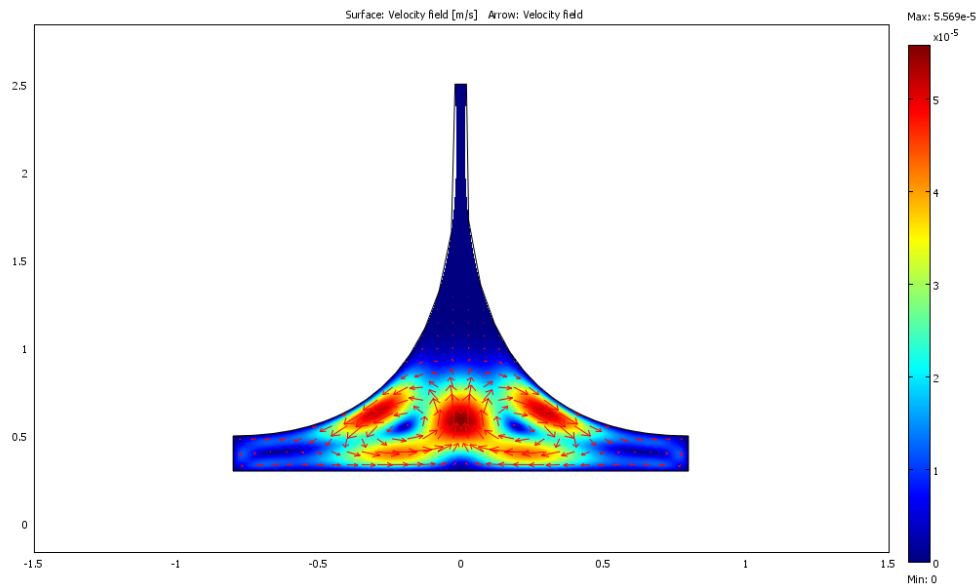
❖ حالة مدخنة ذات فوهة متقاربة:

الأشكال (15.4) إلى غاية الشكل (20.4) تمثل تدرجات خطوط تساوي الحرارة ومجال السرعة اللابعيين.

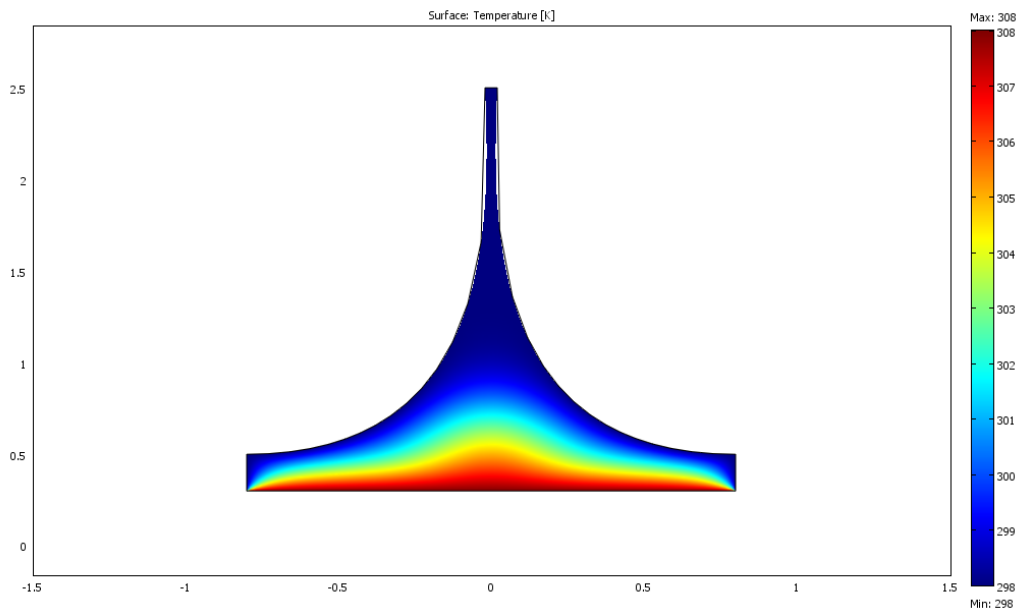
الشكل (15.4) نلاحظ من خلاله ان خطوط تساوي الحرارة عند درجة الحرارة  $\Delta T = 5K$  تمثل صفائح متوازية مختلفة الألوان تتدرج من اللون الأحمر الأعلى حرارة إلى اللون الأزرق الأقل حرارة في منطقة المجمع وهذا يدل على انخفاض درجة الحرارة ببساطة من الأرضية إلى سقف المجمع. وتبدأ بالتشوه تحت المدخنة. يتم التحويل الحراري داخل المدخنة الشمسية في هذه الحالة بشكل رئيسي عن ظاهرة شبه التوصيل الحراري مع وجود حمل حراري طبيعي ولكنه ضعيف عند مدخل المدخنة. كما يبين الشكل (16.4) حقل تدفق الهواء بدأ في التكون على شكل خلايا دورانية متجاورة أقل نسبيا مقارنة بالحالات السابقة عند مدخل المدخنة. مع الزيادة في درجة الحرارة إلى  $\Delta T = 20K$  نلاحظ في الشكلين (17.4) و(19.4) أن خطوط تساوي الحرارة تبدأ في التمزج التدريجي بين الأرضية والمجمع كما يزداد تحديدها بشكل ضعيف عند مدخل المدخنة. أما في الشكلين (18.4) و(20.4) يتجلى لنا بروز حلقات دورانية متجاورة والخلية الرئيسية الموجودة عند مدخل المدخنة بدأت في الارتفاع داخل أنبوب المدخنة.



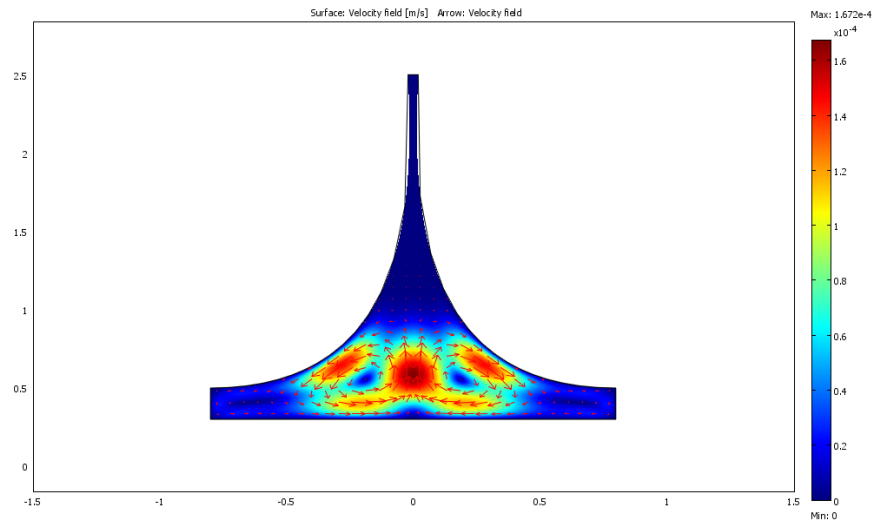
الشكل (15.4): التوزيع الحراري داخل المدخنة الموافق  $\Delta T = 5K$



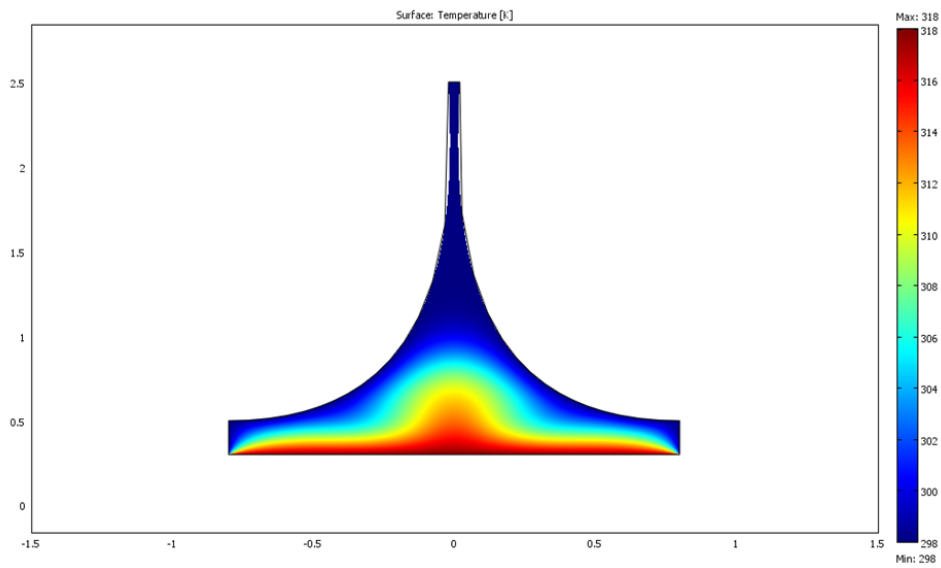
الشكل (16.4): حقل السرعات داخل المدخنة الموافق للفارق  $\Delta T = 5K$



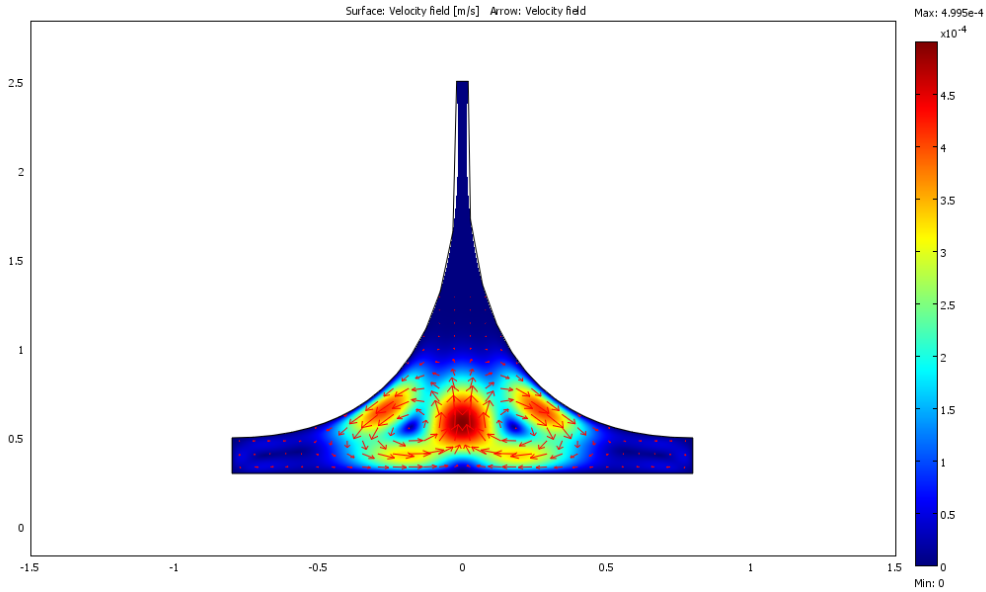
الشكل (17.4): التوزيع الحراري داخل المدخنة الموافق  $\Delta T = 10K$



الشكل (18.4): حقل السرعات داخل المدخنة الموافق للفارق الحراري  $\Delta T = 10K$



الشكل (19.4): التوزيع الحراري داخل المدخنة الموافق  $\Delta T = 20K$



الشكل (20.4): حقل السرعات داخل المدخنة الموافق للفارق الحراري  $\Delta T = 20K$

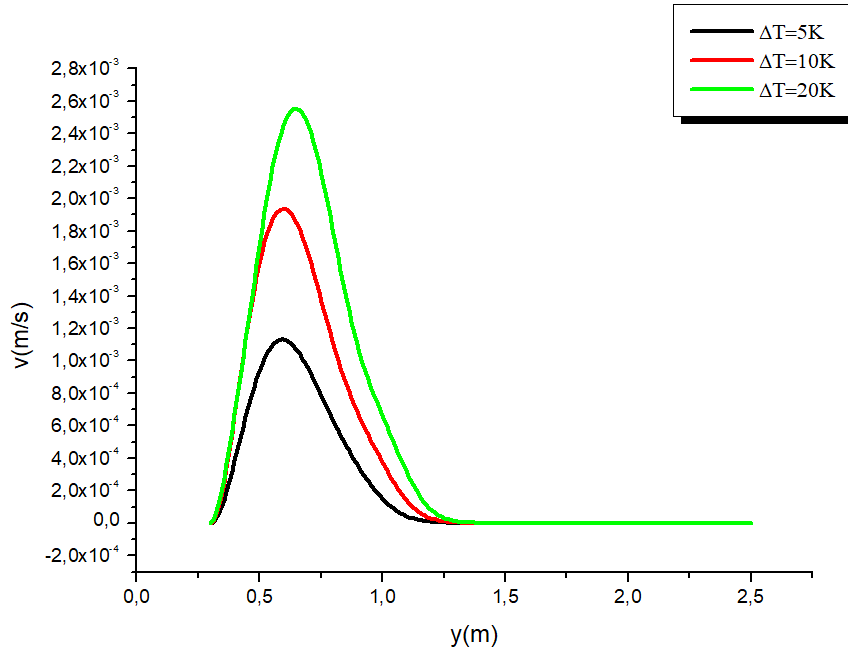
- تأثير الفرق في الحرارة على السرعة العمودية في منتصف المدخنة:

الشكل (21.4) يمثل المنحنى البياني الذي يوضح تغيرات السرعة العمودية داخل المدخنة المستقيمة بدلالة الفرق في الحرارة  $\Delta T$ . حيث نلاحظ تزايد سرعة الهواء مع الزيادة في فرق درجة الحرارة، حيث كانت أعلى قيمة لسرعة الهواء  $v = 2.55 \times 10^{-3} m/s$  عند الدرجة

$\Delta T = 20K$  مقارنة ب  $\Delta T = 10K$  و  $\Delta T = 5k$  إذ كانت

$v = 1.95 \times 10^{-3} m/s$  و  $v = 1.15 \times 10^{-3} m/s$  الموافقة على التوالي

$y = 0.60m$  و  $y = 0.65m$  ،  $y = 0.70m$  .



الشكل (21.4): منحنى بياني لتغير السرعة العمودية في منتصف المدخنة بدلالة  $\Delta T$

## 2. تأثير الشكل الهندسي لفوهة المدخنة الشمسية على سرعة الهواء العمودية:

من خلال الأشكال الثلاثة (22.4) إلى (24.4) التي تمثل تأثير الشكل الهندسي لفوهة المدخنة الشمسية على سرعة الهواء العمودية مع التغيير في فارق درجة الحرارة نلاحظ التدرج في زيادة سرعة الهواء، حيث تبدأ في الزيادة تدريجياً مع الزيادة في الفارق والتغيير في شكل الفوهة حتى تصل أقصى قيمة عند ارتفاع معين من المدخنة ومن ثم تبدأ في التناقص حتى تكاد تنعدم. حيث الشكل (22.4) يمثل منحنى بياني لمقارنة السرعة الهوائية العمودية داخل المدخنة بدلالة شكل الفوهة عند  $\Delta T = 5K$  الذي نلاحظ من خلاله أعلى قيمة حدية لسرعة الهواء  $v = 0.0012m/s$  كانت في الفوهة المستقيمة عند  $y = 0.6m$ . أما بالنسبة للفوهة المتباعدة لم تكن بعيدة كثيراً عن أعلى قيمة فكانت حوالي

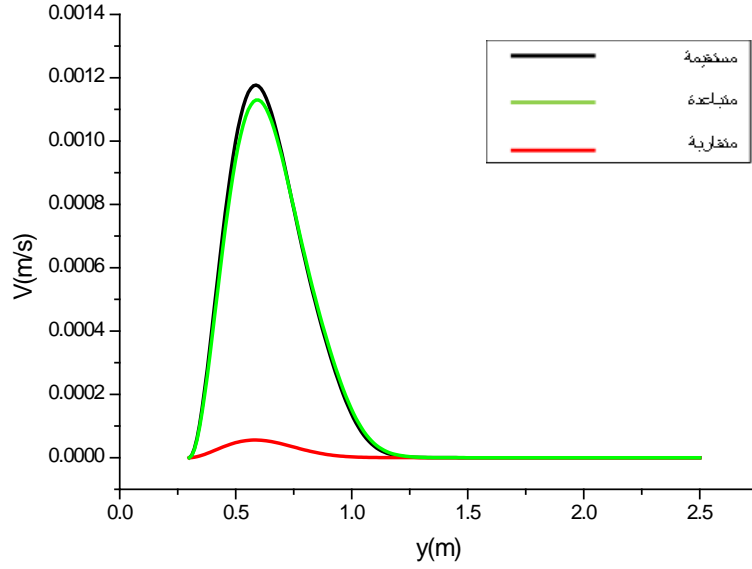
$v = 0.00112m/s$  . وأدنى قيمة كانت في المدخنة ذات الفوهة المتقاربة  
 $v = 0.00005m/s$  .

الشكل (23.4) يمثل منحنى بياني لمقارنة السرعة الهوائية العمودية داخل المدخنة بدلالة شكل الفوهة عند  $\Delta T = 10K$  . حيث بالمقارنة مع منحنيات الشكل (22.4) لا نلاحظ فرق كبير في زيادة السرعة وارتفاع القيم، إذ كانت السرعة في الفوهة المستقيمة كأقصى سرعة  $v = 0.0020m/s$  وفي الفوهة المتباعدة كانت  $v = 0.0019m/s$  و  
 $v = 0.0002m/s$  عند الفوهة المتقاربة.

وفي الأخير الشكل (24.4) يمثل منحنى بياني لمقارنة السرعة الهوائية العمودية داخل المدخنة بدلالة شكل الفوهة عند  $\Delta T = 20K$  . وهنا نلاحظ الفرق الكبير في تزايد السرعة فكانت وصلت إلى  $v = 0.0026m/s$  في المدخنة ذات الفوهة المتباعدة عند الارتفاع  $y = 0.65m$  . ثم تليها الفوهة المستقيمة ب  $v = 0.0023m/s$  عند الارتفاع  $y = 0.6m$  . أما الفوهة المتقاربة كانت الزيادة طفيفة إذ بلغت  $v = 0.0005m/s$  وذلك عند  $y = 0.55m$  .

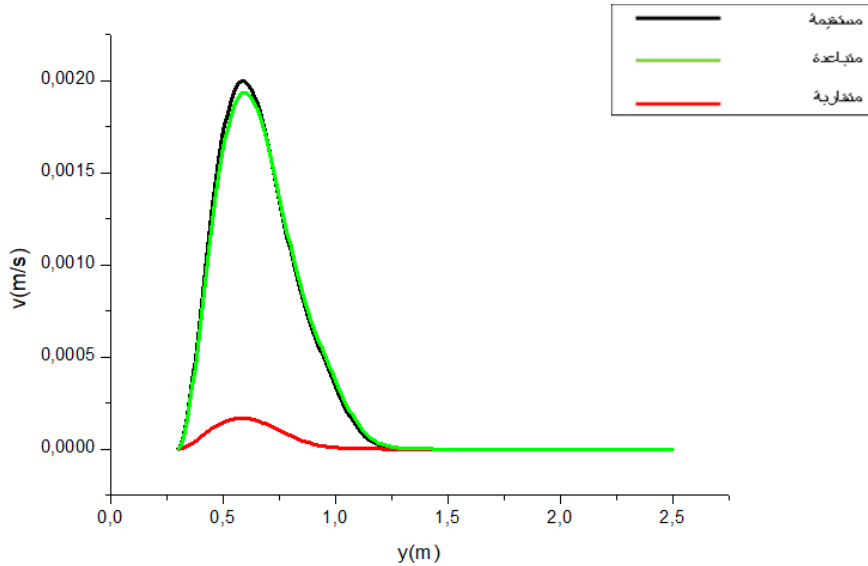
منحنيات مقارنة السرعات العمودية في منتصف المدخنة الشمسية بدلالة شكل الفوهة:

- حالة  $\Delta T = 5K$



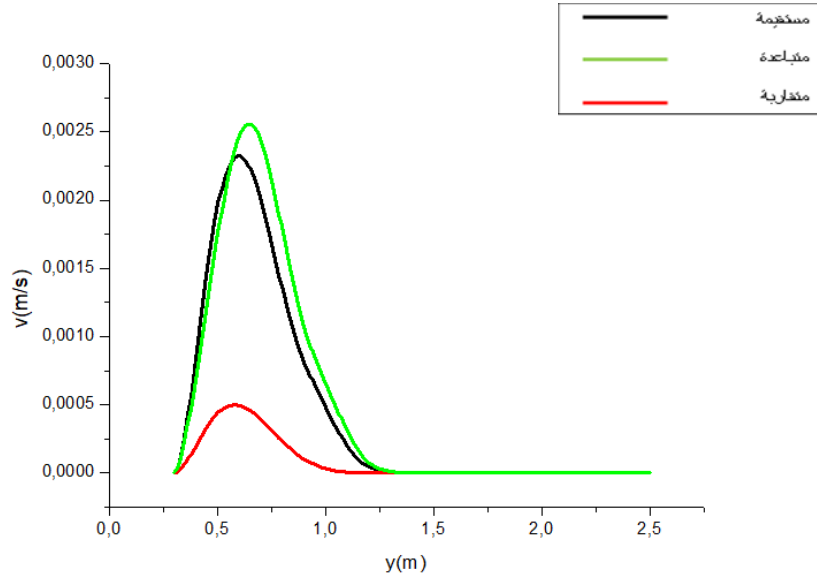
الشكل (22.4): منحنى بياني لمقارنة السرعة العمودية داخل المدخنة بدلالة شكل الفوهة عند الفرق  $\Delta T=5\text{ K}$

- حالة  $\Delta T=10\text{ K}$ :



الشكل (23.4): منحنى بياني لمقارنة السرعة العمودية داخل المدخنة بدلالة شكل الفوهة عند الفرق  $\Delta T=10\text{ K}$ .

- حالة  $\Delta T = 20 \text{ K}$ :



الشكل (24.4): منحنى بياني لمقارنة السرعة العمودية داخل المدخنة بدلالة شكل الفوهة

عند الفرق  $\Delta T = 20 \text{ K}$

الخاتمة:

تعتبر المدخنة الشمسية أقل تكلفة مقارنة بمحطات الطاقة الأخرى، وعلاوة على ذلك فإن الإنتاج مضمون ليلا ونهارا. ولضمان أفضل النتائج لابد من مراعاة بعض التفاصيل التي يجب أخذها بعين الاعتبار من بينها قياسات وأبعاد المدخنة، لذلك كانت دراستنا تدور حول شكل فوهة المدخنة وتأثيرها على السلوك الديناميكي و الحراري للهواء المتدفق عبر العنفة. اعتمدنا في الدراسة على تغيير شكل الفوهة (متباعدة، مستقيمة ومتقاربة) والتغيير في فرق الحرارة (  $\Delta T = 20K; \Delta T = 10K; \Delta T = 5K$  ) بالاعتماد على برنامج المحاكاة Comsol Multiphysics . فكانت النتائج التالية:

- ✓ الزيادة في فرق درجة الحرارة بين الأرضية والمجمع الشمسي للمدخنة ينتج عنه الزيادة في الحمل الحراري الطبيعي الذي يعد المحرك للتحويل الحراري داخل المدخنة الشمسية.
- ✓ مع الزيادة في قيمة الفرق ترتفع سرعة الهواء وذلك حسب كل شكل، وتكون في شكل حلقات دورانية وتكون بشكل كبير في منتصف المدخنة.
- ✓ من خلال منحنى السرعة العمودية يمكننا تحديد مكان تركيب التوربين وذلك عند أقصى سرعة مع الأخذ بعين الاعتبار شكل الفوهة الذي يعطي مردودا أفضل.
- ✓ شدة تدفق الهواء تتناسب طرذا مع الزيادة في فرق الحرارة ومع قطر الفوهة، فكلما كان قطر الفوهة كبير كان التدفق أكبر وأفضل.
- ✓ فعالية أداء المدخنة الشمسية تعتمد بنسبة كبيرة على حجم الحيز أو الفراغ الذي يملؤه الهواء داخل المدخنة و يسمح ببلوغ قيم قصوى تحت تأثير الحمل الحراري الطبيعي.

المراجع والمواقع الالكترونية  
(05-06-2022)

- [1] [https://www.researchgate.net/figure/Le-principe-des-cheminees-solaires\\_fig5\\_268075238](https://www.researchgate.net/figure/Le-principe-des-cheminees-solaires_fig5_268075238)
- [2] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Tour\\_solaire](https://fr.wikipedia.org/wiki/Tour_solaire)
- [3] <https://www.syr-res.com/pictures/5274118199.png>
- [4] Cheloufi Djassem , Réalisation et expérimentation d'une cheminée solaire , mémoire master , Génie mécanique , université Kasdi Merbah, Ouargla, 2014
- [5] <https://pascuccimedia.com/post/11767361514/tour-solaire-en-arizona>
- [6] J. Schlaich, Solar Chimney: Electricity from the Sun. Stuttgart; Edition Axel Menges, p.16, 1995
- [7] طريقي, زكائي . مقارنة السلوك الزلزالي لمداخل البيتونية المسمحة الصناعية الأسطوانية والمخروطية. مجلة جامعة تشرين لبحوث والدراسات العلمية, المجلد36 -العدد 3 , ص 111-125 ، 2014
- [8] <https://images.app.goo.gl/afQ9yghUjCs9Y13W6>
- [9] <https://energy4poor.files.wordpress.com/>
- [10] <https://www.pv-magazine.fr/2020/10/23/apex-energies-devoile-sa-premiere-serre-photovoltaique-25-mwc/>
- [11] Pablo González, Guillermo Gómez, Ole Geisen: «les tours solaire, deux approches pour utiliser l'énergie du soleil, ENSTA Paris Tech, 5.1.2011.
- [12] Amel Dhahri, Ahmed Omri. A Review of solar Chimney Power Generation Technology International Journal of Engineering and Advanced Technology (IEAT) ISSN: 2249-8958, Volume-2, Issue-3. February 2013
- [13] P. J. Bansod et all, Solar Chimney Power Plant-A Review , International Journal of modern engineering research (IJMER) ,vol. 4 ,iss.11, Nov. 2014.
- [14] <http://www.actinnovation.com/wp-content/uploads/2011/07/enviromission-solar-tower-arizona-power-3.jpg>
- [15] <https://www.elbalad.news/3528363>

- [16]Gholamalizadeh E. and Mansouri S.H. A comprehensive approach to design and improve a solar chimney power plant: A special case – Kerman project,” Appl. Energy, vol. 102, pp. 975–982, 2013
- [17] Chergui T. Les Techniques Cheminées Solaires, Une revue Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, Ghardaïa - Algeria 24 - 25 Octobre 2016
- [18] L. Zuo, Y. Zheng, Z. Li, and Y. Sha, — Solar chimney integrated with sea water desalination, || Desalination, vol. 276 , p. 207-213, 2011.
- [19] A. Akbarzadeh, P. Johnson, and R. Singh, — Examining potential benefits of combining a chimney with a salinity gradient solar pond for production of power in salt affected areas ,|| Solar Energy, vol. 83, no 8, pp. 1345-1359, 2009.
- [20]<https://www.semanticscholar.org/paper/FLOATING-SOLAR-CHIMNEY-TECHNOLOGY-WITH-MULTI-POLE-Papageorgiou-Sotiriou/>

## ملخص:

تعتني هذه الدراسة العددية بمدى تأثير شكل فوهة المدخنة الشمسية على السلوك الديناميكي و الحراري للهواء المتدفق عبر العنفة. تتم الدراسة عبر مقارنة سرعات الهواء المتولد في كل حالة والذي يرتفع بشكل عمودي داخل المدخنة تحت تأثير الحمل الحراري الطبيعي، لاختيار الشكل الهندسي الأنسب للفوهة من أجل أحسن أداء للعنفة بغرض تحويل هذه الطاقة الحركية المكتسبة إلى طاقة كهربائية. اعتمدنا في عملنا على برنامج المحاكاة Comsol Multiphysics لحل المعادلات التفاضلية الواصفة للظاهرة مع إدخال تقريب بوسينسك. حيث أظهرت نتائج المحاكاة أن السرعة العمودية تبلغ أقصاها في المدخنة ذات الفوهة المتباعدة عندما يكون الفارق الحراري مرتفع  $\Delta T \geq 20c^{\circ}$ .

**الكلمات المفتاحية:** مدخنة شمسية، محاكاة عددية، تقريب بوسينسك، الحمل الحراري الطبيعي.

### Abstract:

This numerical study is about the effect of the outlet nozzle solar chimney shape on the dynamic behavior of the air passing through the turbine. The study is comparing velocities of the generated air that rises vertically inside the chimney under the influence of natural convection in order to choose the most appropriate geometric shape of the nozzle to obtain the best turbine performance to convert this acquired kinetic energy into electrical energy. We used Comsol Multiphysics simulation software to solve the differential equations describing the phenomenon with the introduction of the Boussinesq approximation. The simulation results showed that the vertical velocity is increasing in the diverging nozzle stack when the heat difference is high  $\Delta T \geq 20c^{\circ}$ .

**Keywords:** Solar chimney, numerical simulation, Boussinesq's approximation, natural convection.

**Résumé :** Cette étude numérique s'intéresse à l'effet de la forme de la buse de sortie de la cheminée solaire sur le comportement dynamique de l'air traversant la turbine. L'étude se fait en comparant les vitesses de l'air généré qui monte verticalement à l'intérieur de la cheminée sous l'influence de la convection naturelle, afin de choisir la forme géométrique la plus appropriée de la buse pour obtenir les meilleures performances de la turbine afin de convertir cette énergie cinétique acquise en énergie électrique. Nous avons utilisé le logiciel de simulation Comsol Multiphysics pour résoudre les équations différentielles décrivant le phénomène avec l'introduction de l'approximation de Boussinesq. Les résultats de la simulation ont montré que la vitesse verticale est maximale dans la cheminée de buse divergente lorsque la différence de chaleur est élevée  $\Delta T \geq 20 c^{\circ}$ .

**Mots clés :** Cheminée solaire, simulation numérique, approximation de Boussinesq, convection naturelle.