

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

ميدان: علوم المادة  
فرع: الفيزياء.  
تخصص: الفيزياء الطاقوية و  
الطاقات المتجددة



كلية: العلوم.  
قسم: الفيزياء.  
رقم: PH/ENR/17/2025

## مذكرة مقدمة لنيل شهادة الماستر أكاديمي

إعداد الطالبتين: - لعوبي شيماء  
- لشهب حنان

تحت عنوان

تأثير المجال المغناطيسي على ماص يحتوي على سائل  
نانوي في مركز شمسي

تمت المناقشة يوم 2025/06 /22 أمام اللجنة المكونة من:

رئيسا	جامعة محمد بوضياف المسيلة	أستاذ	سالمي محمد
مشرفا و مقررا	جامعة محمد بوضياف المسيلة	أستاذ محاضر أ	مهدي خالد
مناقشا	جامعة محمد بوضياف المسيلة	أستاذ محاضر أ	طحرور فروق

السنة الجامعية: 2024/2025

## إهداء

إلى من كانت دعواتهم سر نجاحي، إلى من غرسوا فيّ الأمل، و سقوني من نبع الحنان، و كانوا سندي في دروب الحياة..... إلى من سهروا من أجل راحتي، و ضحوا من أجل أن أكون، إلى والديّ الحبيبين، تاج رأسي و نبع عطائي.....أهدي هذا العمل المتواضع، عربون شكر و امتنان، و ما هو إلا ثمرة من ثمار غرسكم، و أسأل الله أن يقر أعينكما بي، و أن يجعلني سببا في رضاكما عني.

إلى أساتذتي الذين لم يبخلوا بعلمهم و نصحهم فجزاكم الله عني كل خير.....

إلى كل من ساندني بكلمة، بدعاء، بابتسامة إلى إخوتي و صديقاتي و رفيقتي دربي أهدي لكم هذا النجاح....

و أسأل الله أن يجعل هذا العمل خالصا لوجهه الكريم، و أن ينفعني به في الدنيا و الآخرة.

لعوبي شيماء

## إهداء

عظم المراد فهان الطريق فجاءت لذة الوصول لتتهون مشقة السنين، فالحمد لله على البلاغ ثم الحمد لله على التمام، ماكنت لأفعل هذا لولا أن الله مكنني فالحمد لله عند البدء والحمد لله عند الختام.

أهدي هذا العمل:

الى سبب وجودي على الأرض، الى النور الذي يضيء بيتنا، الى معنى الحب والحنان، الى من كان دعائها سر نجاحي، الى أغلى ما أملك في هذه الدنيا، الى غاليتي ومؤنستي أمي الحبيبة "الخامسة" دمت لي حياة أخرى، دمت لي ولأخوتي.

الى من أحمل اسمه بكل فخر الى سندي الذي لا يميل الى أبي قرّة عيني " عبد الله " حفظك الله ورعاك أدامك الله تاجا على رؤوسنا.

الى أختي وصديقتي ومربيّتي ومعلمتي وأمّي الثانية الى سندي وعزوتي الى قطعة من أمي الى "صونية" جبر الله بخاطرك ورزقك ما يتمنى قلبك.

الى أخواتي الغاليات " منيرة " "سامية" وابنة العم التي كانت لي الأخت وأكثر الى غاليتي "مروة" حفظكم الله ورعاكم.

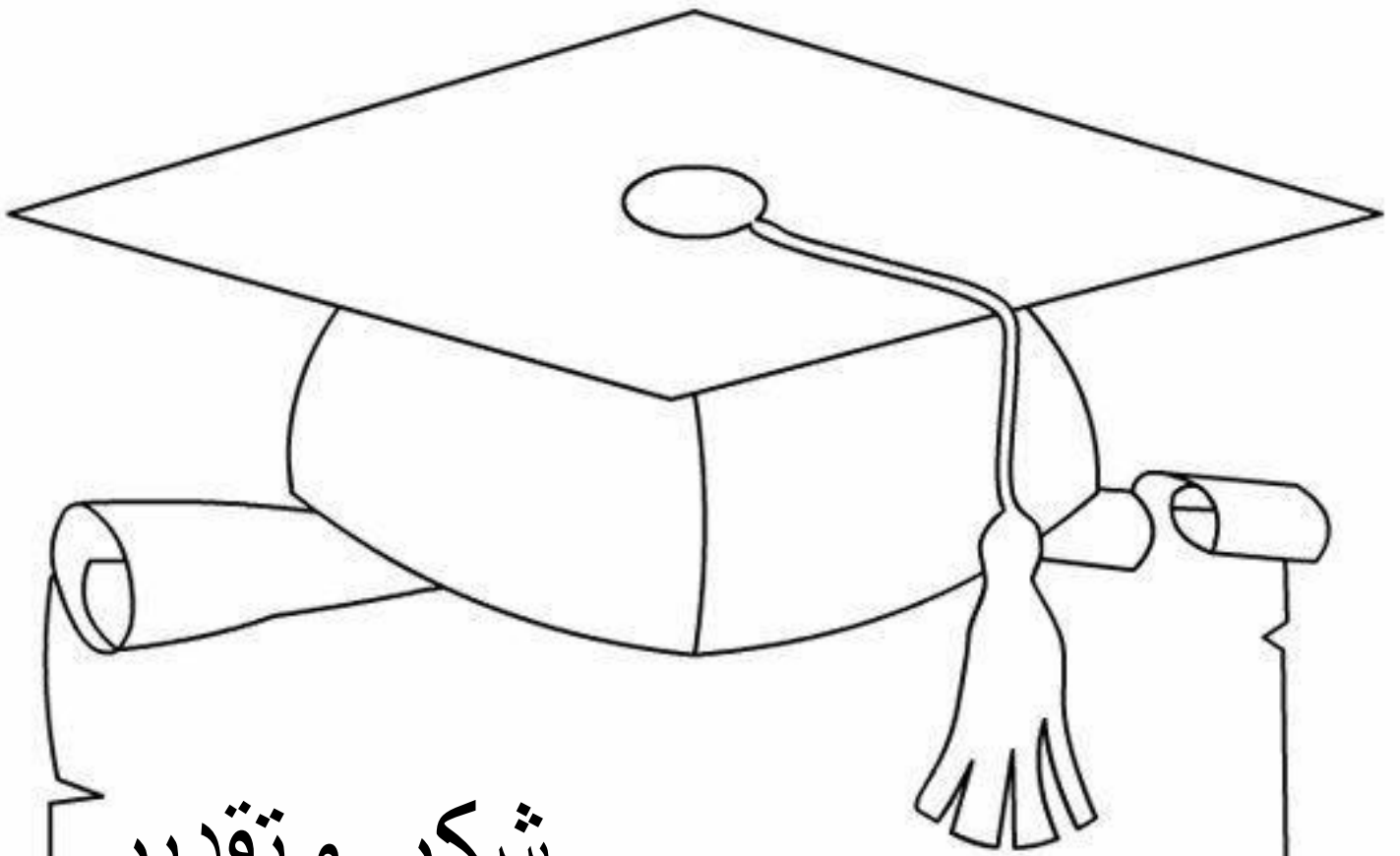
الى الأيدي التي تمد لي العون عندما أتعثّر، الى إخوتي وسندي الى من كانوا في هذه السنوات العجاف سحاب مطر حفظكم الله ورزقكم.

الى من تذوقت معهم أجمل اللحظات ومن سأفتقدهم في نهاية هذا المشوار والى من ساندوني في خطواتي المتعثرة الى صديقتاتي الغاليات " السعيدية، ملاك".

الى رفيقتي طيلة مشواري الدراسي الى من كانت عوناً لي على إتمام هذا العمل الى صديقتي "شيماء" يسر الله امرك وسدد خطاك.

اللهم انفعنا بما علمتنا وعلّمنا بما ينفعنا وزدنا علما.

لشهب حنان



# شكر وتقدير

امثالاً لقوله تعالى: "وإذ تأذن ربكم لئن شكرتم لأزيدنكم"

الحمد لله الذي ما تم جهد ولا ختم سعي إلا بفضله وتوفيقه

ومعونته فلك المحامد كلها.

نتقدم بجزيل الشكر لأستاذنا الفاضل المشرف على هذه المذكرة

**"خالد مهدي"**، على كل ما قدمه لنا من توجيهات ومعلومات ساهمت

في إثراء موضوع بحثنا، ولم يبخل علينا بنصائحه.

نتقدم بالشكر الى أعضاء اللجنة الموقرة. وإلى كل من مد لنا يد العون

والمساعدة لإتمام هذه المذكرة.

## فهرس المحتويات

I.....	إهداء
III.....	شكر وتقدير
VI.....	فهرس المحتويات
IX.....	قائمة الرموز
XII.....	قائمة الأشكال
VX.....	قائمة الجداول
1.....	مقدمة عامة

## الفصل الأول: عموميات حول الطاقة الشمسية و المواد النانوية

4.....	1-I-1- مقدمة
4.....	1-I-2- تعريف الطاقة المتجددة
4.....	1-I-3- الطاقة الشمسية
5.....	1-I-3-1- الإشعاع الشمسي
6.....	1-I-3-2- النظام الكهروضوئي
7.....	1-I-3-3- الخلايا الكهروضوئية
8.....	1-I-3-3-2- أنواع الخلايا الكهروضوئية
8.....	1-I-3-3-3-1- الخلايا أحادية التبلور
8.....	1-I-3-3-3-2- الخلايا متعددة البلورة
9.....	1-I-3-3-3-3- الخلايا غير المتبلورة
9.....	1-I-3-3-3-4- الخلايا الشمسية السيليكونية المتبلورة الشريطية
10.....	1-I-3-3-3-5- الخلايا الشمسية من الشرائح الرقيقة
10.....	1-I-4- المجمع الشمسي الحراري
11.....	1-I-4-1- أنواع المجمعات الحرارية الشمسية
11.....	1-I-4-1-1- المجمعات المسطحة

11	2-4-I-1-المجمعات المفرغة
12	3-4-I-1-المجمعات المركزة
12	2-4-I-محطات الطاقة الشمسية الديناميكية الحرارية
13	5-I-تعريف النانو
13	6-I-تقنية النانو
13	7-I-تعريف المواد النانوية
14	8-I-أصناف المواد النانوية:
14	1-8-I مواد أحادية البعد
14	2-8-I مواد ثنائية البعد
14	3-8-I مواد ثلاثية البعد
14	9-I أشكال المواد النانوية
15	1-9-I النقاط الكمومية
15	2-9-I الفولورينات (Fullerenes)
16	3-9-I الكارت النانوية (Nano balls)
16	4-9-I الجسيمات النانوية (Nano particales)
17	5-9-I الأنابيب النانوية
18	6-9-I الألياف النانوية (Nano fibers)
19	7-9-I المركبات النانوية (Nano compostes):
20	8-9-I الأسلاك النانوية (Nano wires)
20	10-I خصائص المواد النانوية
20	1-10-I الخواص الميكانيكية
21	2-10-I الخواص الحرارية
21	3-10-I الخواص المغناطيسية
21	4-10-I الخواص الكهربائية

21	5-10-I الخواص الكيمائية
21	I- 11 طرق تصنيع وإنتاج المواد النانوية
21	I-11-1 أسلوب من الأعلى إلى الأسفل
22	I-11-2 أسلوب من الأسفل إلى الأعلى
23	I-12 تطبيقات ومزايا وعيوب السوائل النانوية
24	I-12-1 مزايا السوائل النانوية
24	I-12-2 عيوب السوائل النانوية
24	I-13 فوائد المواد النانوية
25	I-14 خاتمة

### الفصل الثاني: النموذج الرياضي

24	II-1 مقدمة
24	II-2 الأعداد اللابعدية
29	II-3 المجال المغناطيسي
29	II-4 العلاقة بين التيار الكهربائي و المجال المغناطيسي
29	II-5 تعريف قوة لورنتز
30	II-6 الديناميكا المغناطيسية الهيدروليكية (MHD)
32	II-7 النماذج المختلفة للديناميكا المغناطيسية الهيدروليكية MHD
32	II-7-1 ال MHD المثالي (Magnétohydrodynamique idéale)
33	II-7-2 ال MHD المقاوم (Magnétohydrodynamique résistive)
34	II-8 الهندسة الخاصة بالمشكلة
34	II-9 عرض السائل النانوي المستخدم
36	II-9 الخصائص الترمو فيزيائية للسائل النانوي
40	II-10 المعادلات الحاكمة

40	1-10-II معادلة الاستمرارية
41	2-10-II معادلة كمية الحركة
41	3-10-II معادلة الطاقة
42	11-II نموذج الاضطراب (نموذج K-ε القياسي)
44	12-II الحل العددي
45	13-II خاتمة
الفصل الثالث: نتائج المحاكاة و مناقشتها	
47	1-III مقدمة
47	2-III تعريف الديناميكا الحاسوبية للموائع CFD (Computational Fluid Dynamics)
55	3-III تعريف برنامجي Gambit و Fluent
48	4-III خصائص الترمو فيزيائية للسائل النانوي المستخدم (ماء- $Al_2O_3$ )
48	5-III الشروط الحدية
50	6-III تحليل النتائج المتحصل عليها قبل تطبيق مجال مغناطيسي (B=0 Tesla)
50	1-6-III متجهات السرعة Velocity Vectors Colored by Stream Function
51	2-6-III توزيع درجة الحرارة Contours Of Total Temperature
51	3-6-III توزيع الضغط الساكن Contours Of Static Pressure
52	4-6-III دالة الجريان Contours Of Stream Function
53	7-III تحليل النتائج المتحصل عليها بعد تطبيق مجال مغناطيسي (B=0-5 Tesla)
53	1-7-III توزيع دالة الجريان Stream Function Contours
54	2-7-III توزيع درجة الحرارة temperature Contours
55	3-7-III توزيع المجال المغناطيسي Champs magnétique B
56	4-7-III توزيع المجال الكهربائي Champs électrique

56.....	III-8 تحليل النتائج المتحصل عليها بعد تطبيق مجال مغناطيسي $B=0.5T$ و تغيير تركيز الجسيمات النانوية من 2% إلى 10%.
56.....	III-8-1 توزيع درجة الحرارة.
58.....	III-8-2 خطوط الجريان.
59.....	III-8-3 توزيع شدة المجال المغناطيسي.
60.....	III-8-4 توزيع شدة القوة الكهرومغناطيسية.
63.....	III-9 خاتمة.
64.....	خاتمة عامة.
65.....	قائمة المراجع.
69.....	ملخص الدراسة.

## قائمة الرموز

## الرموز اللاتينية:

B	[Kg.s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup> ] المجال المغناطيسي
C <sub>p</sub>	[J.Kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ] السعة الحرارية النوعية عند الضغط الثابت
D <sub>h</sub>	[m] القطر الهيدروليكي
D <sub>k</sub>	معامل انتشار الاضطراب
$\vec{F}$	[N] القوة الكهرومغناطيسية
g	[m.s <sup>-2</sup> ] تسارع الجاذبية الأرضية
G <sub>b</sub>	تفاعل السرعة مع الضغط المتوسط
G <sub>k</sub>	معامل إنتاج الطاقة الحركية
h	[W.m <sup>-2</sup> °C <sup>-1</sup> ] معامل انتقال الحرارة
K	[W.m <sup>-1</sup> °C <sup>-1</sup> ] الموصلية الحرارية
L	[m] الطول المميز
m	[Kg] الكتلة
p	[Pa] الضغط
P	[m] المحيط
q	[C] الشحنة الكهربائية للأيون
S	[m <sup>2</sup> ] مساحة السطح
T <sub>ext</sub>	[K] درجة الحرارة الخارجية
T <sub>p</sub>	[K] درجة حرارة الجدران
T <sub>S</sub>	[°C] درجة حرارة سطح الجسم الصلب
T <sub>∞</sub>	[°C] درجة حرارة السائل بعيدا عن سطح الجسم

U	[m.s <sup>-1</sup> ]	السرعة المتوسطة للجريان
V	[m.s <sup>-1</sup> ]	سرعة السائل
$v_s$	[m <sup>3</sup> ]	حجم الجسيمات الصلبة النانوية
$v_f$	[m <sup>3</sup> ]	حجم السائل الأساسي
$x_i$		الإحداثيات العشوائية
$Y_M$		حد تفاعل الضغط المتذبذب
$\bar{\rho}\varepsilon$	(k)	تبدد الطاقة الحركية المضطربة

## الرموز:

c, n, m		ثوابت تعتمد على الخصائص الهندسية
f		السائل الأساسي
nf		السائل النانوي
S		الجسيمات النانوية
i	X	متجه الوحدة على المحور
j	Y	متجه الوحدة على المحور
AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		أكسيد الألمنيوم

## الرموز اليونانية:

$\alpha$	[m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]	الانتشارية الحرارية
$\beta$	[1/K]	معامل التمدد أو التوسع الحراري
$\varphi$		الكسر الحجمي
$\rho$	[Kg.m <sup>-3</sup> ]	الكتلة الحجمية
$\nu$	[m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]	اللزوجة الحركية
$\mu$	[Kg.m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> ]	اللزوجة الديناميكية

$\mu_0$  النفاذية المغناطيسية للفراغ [Kg.m.A<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>]

$\delta_{ij}$  دلتا كرونكر (رمز رياضي)

$\sigma$  ثابت ستيفان [5.67x10<sup>-8</sup>Wm<sup>-2</sup>K<sup>-4</sup>]

$\sigma_f$  الموصلية الكهربائية

$\varepsilon$  معامل الانبعاث السطحي

dQ [W] تدفق الحرارة

### أعداد لا بعدية:

Gr عدد غراشوف

Ha عدد هارتمان

Nu عدد نوسلت

Pr عدد برانتل

Ra عدد رايلي

Re عدد رينولدز

Rm عدد رينولدز المغناطيسي

### اختصارات:

CFD ديناميكا الموائع الحاسوبية

MHD مائع مغناطيسي كهربائي

2D, 3D ثنائي الأبعاد، ثلاثي الأبعاد

## قائمة الأشكال

## الفصل الأول I: عموميات حول الطاقة الشمسية والمواد النانوية

- الشكل I-01: محطة ألواح شمسية لتحويل الطاقة الشمسية إلى كهربائية ..... 8
- الشكل I-02: التوزيع الطيفي للإشعاع الشمسي ..... 9
- الشكل I-03: المركزات الشمسية ..... 10
- الشكل I-04: يوضح مكونات الخلية الكهروضوئية ..... 11
- الشكل I-05: بنية خلية شمسية أحادية التبلور ..... 11
- الشكل I-06: بنية خلية شمسية متعددة البلورات ..... 11
- الشكل I-07: خلية شمسية من السيليكون غير المتبلور ..... 12
- الشكل I-08: خلية شمسية شريطية متعددة الطبقات ..... 13
- الشكل I-09: بنية الخلايا الشمسية الرقيقة ..... 13
- الشكل I-10: المجمع الحراري الشمسي المسطح ..... 14
- الشكل I-11: مجمع شمسي مفرغ ..... 15
- الشكل I-12: المجمع الحراري المكافئ المركز ..... 15
- الشكل I-13: تقنيات التركيز المختلفة ..... 16
- الشكل I-14: يوضح أصناف المواد النانوية ..... 17
- الشكل I-15: نقطة كمومية ..... 18
- الشكل I-16: رسم تخطيطي للبولورين ..... 19
- الشكل I-17: يمثل الكرات النانوية ..... 19
- الشكل I-18: الجسيمات النانوية ..... 20
- الشكل I-19: الأنابيب النانوية ..... 21
- الشكل I-20: الألياف النانوية ..... 21
- الشكل I-21: مركبات نانوية ..... 22
- الشكل I-22: الأسلاك النانوية ..... 23
- الشكل I-23: يوضح تقنية الطحن الميكانيكي ..... 25
- الشكل I-24: أسلوب إنتاج و تصنيع المواد النانوية ..... 26

## الفصل الثاني II: النموذج الرياضي

- الشكل II-01: تيار مستحدث في مائع موصل بوجود مجال مغناطيسي ..... 31

- الشكل II-02: (a و b) تأثير المجال المغناطيسي على تدفق المائع الموصل، و (c) قانون اليد اليمنى (الخط الأزرق: المجال المغناطيسي، الخط البنفسجي: التيار، الخط الأخضر: الحركة)..... 32
- الشكل II-03: النموذج التجريبي للنظام المعتمد..... 34
- الشكل II-04: الشكل البلوري لمركب  $Al_2O_3$ ..... 35
- الشكل II-05: عوامل الاسترخاء الجزئي و أنواع التقطيع (التفريق) المستخدمة..... 44
- الفصل الثالث III: نتائج المحاكاة و مناقشتها**
- الشكل III-01: إنشاء الشكل الهندسي ببرنامج Gambit (100X100)..... 48
- الشكل III-02: الشروط الحديدية قبل تطبيق مجال مغناطيسي B..... 49
- الشكل III-03: الشروط الحديدية بعد تطبيق مجال مغناطيسي B..... 49
- الشكل III-04: متجهات السرعة ملونة بدالة التيار (Kg/s) قبل تطبيق مجال مغناطيسي..... 50
- الشكل III-05: خطوط مستوى درجة الحرارة الكلية ( $C^\circ$ ) قبل تطبيق مجال مغناطيسي..... 51
- الشكل III-06: خطوط مستوى للضغط الثابت (Pa) قبل تطبيق مجال مغناطيسي..... 52
- الشكل III-07: خطوط مستوى دالة الجريان (Kg/s) قبل تطبيق مجال مغناطيسي..... 53
- الشكل III-08: توزيع دالة الجريان (Kg/s) بعد تطبيق مجال مغناطيسي..... 54
- الشكل III-09: توزيع درجة الحرارة ( $C^\circ$ ) بعد تطبيق مجال مغناطيسي..... 55
- الشكل III-10: توزيع المجال المغناطيسي B..... 55
- الشكل III-11: توزيع المجال الكهربائي (V/m)..... 56
- الشكل III-12: توزيع درجة الحرارة ( $C^\circ$ ) مع تطبيق مجال مغناطيسي و  $\varphi = 2\%$ ..... 57
- الشكل III-13: توزيع درجة الحرارة ( $C^\circ$ ) مع تطبيق مجال مغناطيسي و  $\varphi = 10\%$ ..... 57
- الشكل III-14: خطوط مستوى دالة الجريان (Kg/s) مع تطبيق مجال مغناطيسي و  $\varphi = 2\%$ ..... 58
- الشكل III-15: خطوط مستوى دالة الجريان (Kg/s) مع تطبيق مجال مغناطيسي و  $\varphi = 10\%$ ..... 59
- الشكل III-16: توزيع شدة المجال المغناطيسي B(T) مع تطبيق مجال مغناطيسي و  $\varphi = 2\%$ ..... 59
- الشكل III-17: توزيع شدة المجال المغناطيسي B(T) مع تطبيق مجال مغناطيسي و  $\varphi = 10\%$ ..... 59
- الشكل III-18: توزيع شدة القوة الكهرومغناطيسية ( $F(n/m^3)$ ) مع تطبيق مجال مغناطيسي و  $\varphi = 2\%$ ..... 60

- الشكل III-19: توزيع شدة القوة الكهرومغناطيسية ( $F(n/m^3)$ ) مع تطبيق مجال مغناطيسي و  $\varphi = 10\%$  ..... 61
- الشكل III-20: منحنى يوضح تغيرات معامل التمدد الحراري  $\beta$  بدلالة الكسر الحجمي  $\varphi$  ..... 61
- الشكل III-21: منحنى يوضح تغيرات درجة الحرارة  $T$  بدلالة الكسر الحجمي  $\varphi$  ..... 62
- الشكل III-22: منحنى يوضح تغيرات درجة الحرارة  $T$  بدلالة المجال المغناطيسي  $B_x$  ..... 62
- الشكل III-23: تغير درجة حرارة السائل النانوي  $Al_2O_3$ -ماء بمحتوى 5% ..... 63

## قائمة الجداول

## الفصل الثاني II: النموذج الرياضي

الجدول II-01: يمثل مقارنة بين عدد رينولدز Re و عدد غراشوف Ga لعدة خصائص..... 26

الجدول II-02: يمثل مقارنة بين نوعي MHD المقاوم و المثالي لعدة خواص..... 34

الجدول II-03: الخصائص الترمو فيزيائية لكل من الماء النقي (المائع الأساسي) و الجسيمات النانوية

.....  $Al_2O_3$  35

الجدول II-04: يمثل قيم الثوابت الخاصة بنموذج K-ε القابل للانضغاط..... 44

## الفصل الثالث III: نتائج المحاكاة و مناقشتها

الجدول III-01: الخصائص الفيزيائية للسائل النانوي (ماء-  $Al_2O_3$ )..... 48

## مقدمة عامة

في ظل التغيرات المناخية المتسارعة والارتفاع المتزايد في استهلاك الطاقة، أصبحت الحاجة إلى مصادر طاقة نظيفة ومستدامة أكثر إلحاحاً من أي وقت مضى. وتُعد الطاقة الشمسية من أبرز هذه المصادر، نظراً لتوفرها اللامحدود وصداها البيئي المنخفض. ومن بين أهم التطبيقات التقنية لاستغلال هذه الطاقة نجد المراكز الشمسية الحرارية، والتي تعتمد على تركيز الإشعاع الشمسي لتسخين موائع حرارية تُستخدم لاحقاً في توليد الكهرباء أو التدفئة [1].

غير أن كفاءة نقل الحرارة داخل هذه الأنظمة تبقى من بين التحديات التقنية الرئيسية، ما يدفع الباحثين إلى استكشاف حلول مبتكرة لتحسين الأداء الحراري. في هذا الإطار، برزت السوائل النانوية (nanofluids)، وهي موائع تحتوي على جسيمات نانوية صلبة معلقة في سائل أساس، كحل واعد نظراً لقدرتها على تحسين الخصائص الحرارية مقارنة بالسوائل التقليدية. كما أن المجال المغناطيسي يمثل أداة خارجية فعالة يمكن من خلالها التأثير على سلوك الجسيمات النانوية المغناطيسية وتحسين ديناميكا السائل وانتقال الحرارة [2].

رغم التقدم الكبير في دراسة الماصات الشمسية والموائع النانوية، إلا أن تأثير المجال المغناطيسي على أداء هذه الأنظمة لا يزال موضوعاً مفتوحاً للبحث، خصوصاً فيما يتعلق بتفاعل المجال المغناطيسي مع الجسيمات النانوية داخل ماص حراري. وبالتالي، تطرح هذه الدراسة الإشكالية التالية [3]:  
كيف يؤثر المجال المغناطيسي على انتقال الحرارة داخل ماص يحتوي على سائل نانوي في مركز شمسي، وما مدى فعاليته في تحسين الأداء الحراري للنظام؟ [4]

1. دراسة الخصائص الحرارية لسائل نانوي داخل ماص شمسي.
2. تحليل تأثير المجال المغناطيسي (اتجاهه وشدته) على توزيع درجات الحرارة وانتقال الحرارة.
3. تقييم مدى تحسن كفاءة النظام الشمسي عند تطبيق مجال مغناطيسي خارجي.
4. اقتراح معايير تصميم مثلى للماصات الحرارية المعتمدة على السوائل النانوية والمجالات المغناطيسية.

يمكن نتائج هذا البحث أن تفتح آفاقاً جديدة لتطبيقات صناعية في مجالات الطاقة المتجددة، والتبريد، وتحلية المياه، وغيرها من التطبيقات الحرارية المتقدمة.

نقسم هذا العمل إلى الفصول التالية:

- يتضمن مقدمة عامة، إشكالية البحث، أهداف الدراسة، أهميتها، وحدودها، بالإضافة إلى منهجية العمل المعتمدة.
- الفصل الأول: عموميات حول الطاقة الشمسية و المواد النانوية يُخصص لعرض مفصل للمفاهيم الأساسية حول الطاقة الشمسية و المتعلقة بالسوائل النانوية، المبادئ

العامة للمجالات المغناطيسية، وانتقال الحرارة في الأنظمة الشمسية، مع التركيز على الماصات الحرارية.

- الفصل الثاني: النمذجة الرياضية وإعداد المحاكاة  
يتم فيه تقديم المعادلات الحاكمة (الاستمرارية، الزخم، والطاقة)، خصائص السائل النانوي، والظروف الحدية، إضافة إلى شرح طريقة إدخال المجال المغناطيسي في النموذج العددي (مثل عبر UDF في برنامج Fluent).
- الفصل الثالث: النتائج والمناقشة  
يتم فيه عرض النتائج العددية لتحليل تأثير المجال المغناطيسي على انتقال الحرارة، مع مناقشة سلوك التدفق وتوزيع درجات الحرارة داخل الماص. وفي الأخير نختم هذا العمل بالخلاصة العامة.

# الفصل الأول:

عموميات حول الطاقة

الشمسية والمواد النانوية

**I-1- مقدمة**

الطاقات المتجددة وخاصة الطاقة الشمسية تمثل مستقبلا نظيفا ومستداما لتلبية حاجتنا من الكهرباء دون الإضرار بالبيئة، ولتعزيز كفاءة استغلال الطاقة الشمسية ظهرت تقنية النانو أو السوائل النانوية والتي تعتمد أساسا على مواد دقيقة جدا تساعد في تحسين أداء الخلايا الشمسية وزيادة قدرتها على تحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية بشكل أكثر فعالية. وبذلك يتم الجمع بين استخدام الطاقات المتجددة مع التطورات النانوية وبين حماية البيئة وتحقيق إنتاج طاقة مستدامة ومتطورة.

**I-2- تعريف الطاقة المتجددة**

الطاقة المتجددة نوع من أنواع الطاقة التي تولد من مصادر طبيعية، مما يعني أنها لا تنفذ مع الاستهلاك الكبير ودائمة التجدد، تختلف عن مصادر الطاقة غير المتجددة بأنها غير محدودة وصديقة للبيئة ولا تؤثر عليها بتاتا، أو أن تأثيرها بسيط لا يقارن مع تأثير الوقود الأحفوري.

تستمد قوتها من مصادر طبيعية متجددة مثل أشعة الشمس، والرياح والمياه، والحرارة الأرضية، والكتل الحيوية. تتميز هذه المصادر بقدرتها على التجدد بشكل طبيعي في فترة زمنية قصيرة مقارنة بالمصادر الأخرى غير المتجددة مثل الفحم، النفط والغاز الذي يستغرق تجديدها عدة ملايين من السنين. تُعتبر الطاقات المتجددة بديلا نظيفا ومستداما عن الوقود الأحفوري، وتساهم في تقليل انبعاثات الغازات الدفينة وتقليل التلوث البيئي [5].

**I-3- الطاقة الشمسية**

تعرف الطاقة الشمسية بأنها الطاقة الناتجة عن تحويل أشعة الشمس إلى كهرباء عن طريق استخدام الخلايا الشمسية الكهروضوئية، وتعد إحدى أهم مصادر الطاقة المتجددة، حيث تُعد بمستقبل واعد في توفير الطاقة للاستعمالات المختلفة. يتلقى كل موقع على الأرض كمية من ضوء الشمس على مدار العام، إلا أن كمية الإشعاع الشمسي التي تتلقاها بقعة واحدة تختلف من مكان إلى آخر على سطح الأرض، وتسمى تلك الكمية الإشعاع الشمسي الذي يعرف أيضا بالإشعاع الكهروضوئي؛ حيث ينبعث من الشمس على شكل ضوء تلتقطه تقنيات الطاقة الشمسية، وتحوله إلى أشكال مفيدة من الطاقة.

تعتبر أنظمة الطاقة الكهروضوئية من أكثر طرق استخدام الطاقة الشمسية شيوعا، وتعرف أيضا بأنظمة الخلايا الشمسية وهي تُنتج الكهرباء مباشرة من ضوء الشمس، عندما تتعرض الألواح الشمسية لأشعة الشمس، تقوم هذه الخلايا بامتصاص الطاقة من ضوء الشمس، وتولد هذه الطاقة شحنات كهربائية تتحرك استجابة لمجال كهربائي داخلي في الخلايا مما يؤدي إلى تدفق الكهرباء. يتكون هذا النظام من خلايا شمسية مصنوعة من مواد شبه موصلة، وعندما تتعرض هذه المواد إلى أشعة الشمس فإن الطاقة الشمسية

تُحفّز الإلكترونات الموجودة في ذرات هذه المواد للابتعاد عن الأنوية؛ مما يتسبب في حركتها خلال المادة شبه الموصلة، و بالتالي توليد الكهرباء التي يمكن استخدامها مباشرة أو تخزينها في بطاريات، و تسمى عملية تحويل أشعة الشمس (الفوتونات) إلى كهرباء (فولتية) بعملية التأثير الكهروضوئي [6].



الشكل I-01: محطة ألواح شمسية لتحويل الطاقة الشمسية إلى كهربائية

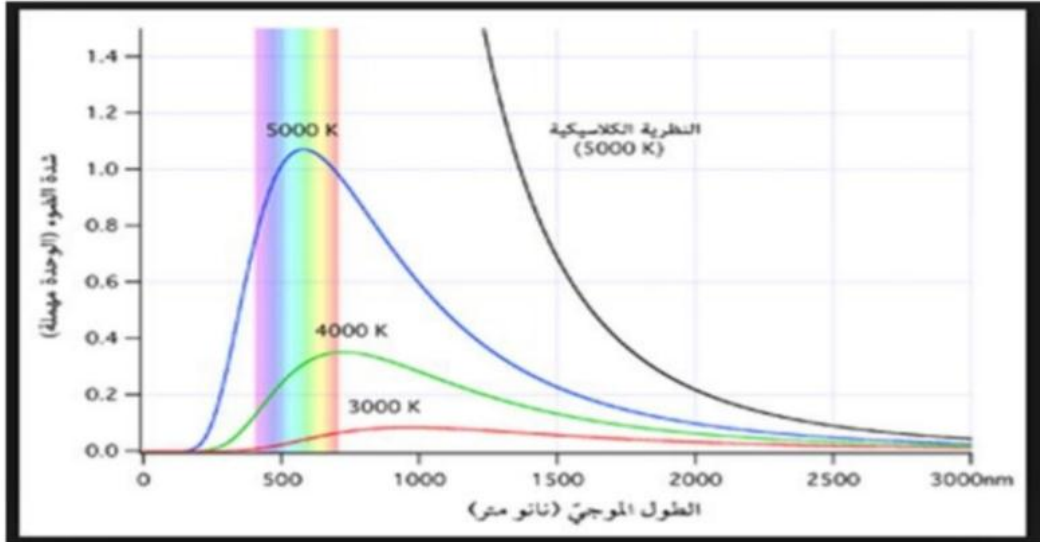
### I-3-1- الإشعاع الشمسي

الإشعاع الشمسي هو الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث من الشمس، يتوزع ضمن أطوال الموجات

$$\lambda \varepsilon [0.28\mu\text{m}_4\mu\text{m}]$$

يتكون الطيف من ثلاث أنواع رئيسية:

- 9% من الأشعة فوق البنفسجية و تنتمي إلى المجال الذي يقل على  $4\mu\text{m}$
  - 47% من الأشعة المرئية التي تنتمي إلى المجال  $[0.4\mu\text{m}_0.8\mu\text{m}]$
  - 44% من الأشعة تحت الحمراء و تنتمي إلى المجال الذي أكبر من  $0.8\mu\text{m}$
- كما يعد المصدر الرئيسي للطاقة في الغلاف الجوي إذ يساهم بأكثر من 99% من الطاقة المستغلة بالغلاف الجوي على سطح الأرض [7].



الشكل I-02: التوزيع الطيفي للإشعاع الشمسي

### I-3-2-النظام الكهروضوئي

➤ تحويل الطاقة الشمسية:

يمكن تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية و طاقة حرارية من خلال آليتين [8]:

➤ التحويل الكهروضوئي:

ويقصد بالتحويل الكهروضوئي تحويل الإشعاع الشمسي أو الضوئي مباشرة إلى طاقة كهربائية بواسطة الخلايا الشمسية الكهروضوئية.

➤ التحويل الحراري:

فيعتمد على تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة حرارية عن طريق المجمعات الشمسية والمواد الحرارية فإذا تعرض جسم داكن اللون و معزول إلى الإشعاع الشمسي فإنه يمتص الإشعاع و ترتفع درجة حرارته كما يستفاد من هذه الحرارة في التدفئة و تسخين المياه و توليد الكهرباء و غيرها [9].



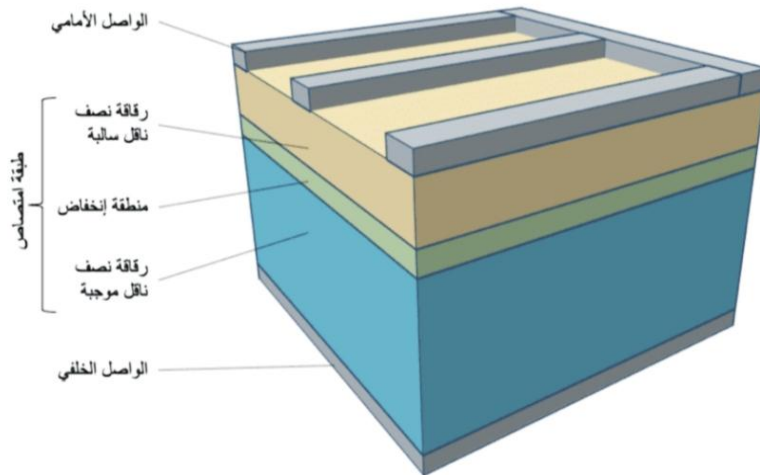
الشكل I-03: المركبات الشمسية

### I-3-3-3- الخلايا الكهروضوئية

الخلية الكهروضوئية تتكون من كلمتين (photo) وهي كلمة من جذور يونانية تعني الضوء و (voltaique) الفولط هي وحدة تستخدم لقياس الطاقة الكهربائية، وبهذا تعني الكهروضوئية بالتحويل المباشر للأشعة الشمسية إلى كهرباء مستمرة وهي عبارة عن أجزاء مركبة مصنوعة من مواد شبه ناقلة وهي أصغر نظام كهروضوئي [10].

#### I-3-3-3-1- مكونات الخلية الكهروضوئية وآلية عملها

تتكون بنية الخلايا الكهروضوئية من أشباه النواقل وتعرف بأنها مواد عازلة عند درجات الحرارة المنخفضة ولكنها تمتلك قدرا معينا من التوصيلية الكهربائية عند ارتفاع حرارتها وتتأثر توصيلية شبه الموصل بالحرارة والضوء والمجال المغناطيسي وتؤثر فيها وجود كميات ضئيلة من الذرات الشائبة تجعل حساسية شبه الموصل اتجاه هذه العوامل مادة بالغة الأهمية في التطبيقات الإلكترونية ومن أبرز هذه المواد المستخدمة في الصناعة هي السيليكون (Si) والجرمانيوم (Ge) [11].

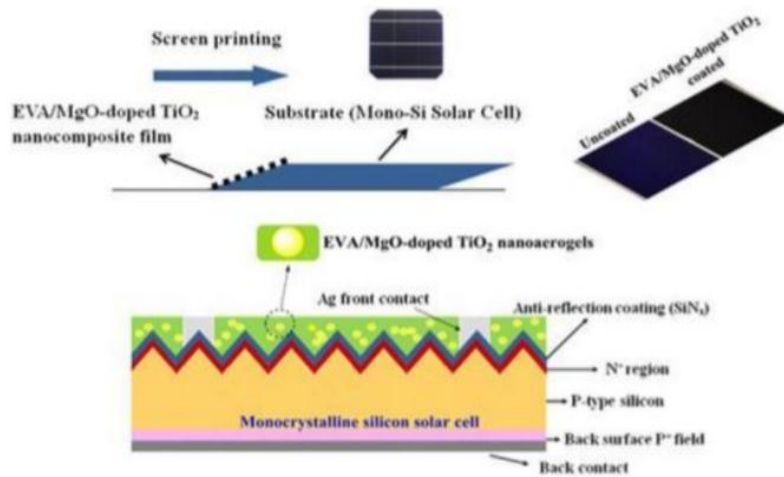


الشكل I-04: يوضح مكونات الخلية الكهروضوئية

### I-3-3-2-أنواع الخلايا الكهروضوئية

#### I-3-3-2-1-الخلايا أحادية التبلور

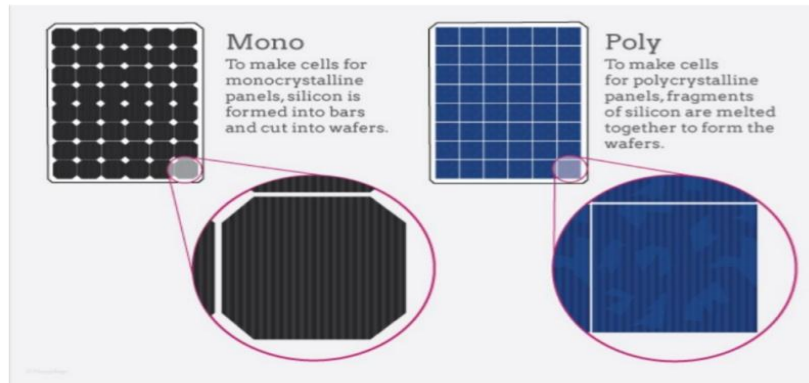
هي خلايا مصنوعة من السيليكون النقي ذات هيكل مستمر أحادي البلورة وبدون شوائب وتتوفر باللون الأسود والأزرق ولها كفاءة عالية حوالي 13% إلى 17%، من عيوبها تكلفتها مرتفعة جدا بسبب نقاوتها [12].



الشكل I-05: بنية خلية شمسية أحادية التبلور

#### I-3-3-2-2-الخلايا متعددة البلورة

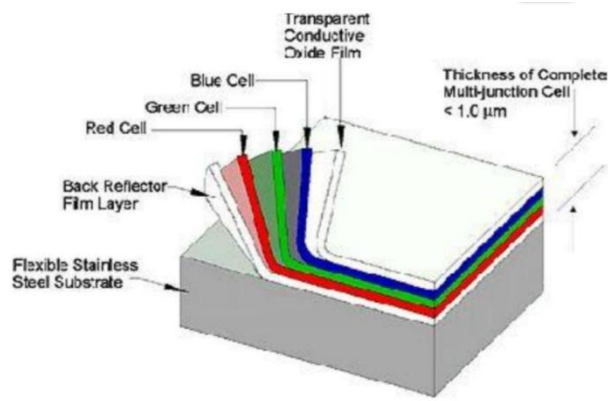
يتكون السيليكون متعدد البلورة من حبيبات الصغيرة من البلور الاحادي وهي ذات كفاءة توليد الكهرباء حوالي 12% إلى 14% و هي بسيطة في التصنيع و أقل تكلفة من الخلايا أحادية البلورة و يمكن التعرف على هذه الخلايا من خلال الاشكال غير المنتظمة للبلورات التي تظهر بوضوح بالعين المجردة [13].



الشكل I-06: بنية خلية شمسية متعددة البلورات

## I-3-3-2-3-الخلايا غير المتبلورة

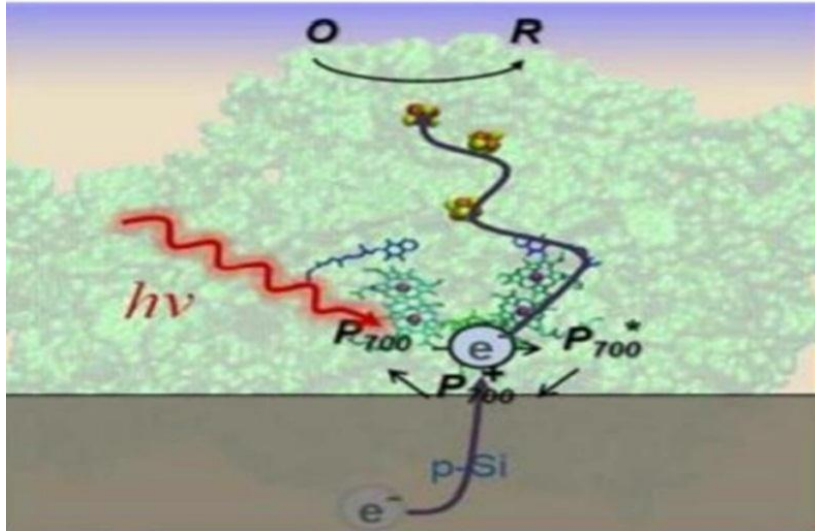
وتدعى الخلايا الرقيقة أو خلايا سيليكونية حيث تكون ذرات السيلكون فيها غير متبلورة يوضع في ورق من الزجاج. غالبا ما يوجد هذا النوع من الخلايا في المنتجات الاستهلاكية الصغيرة كالألات الحاسبة والساعات، تأخذ اللون الرمادي الداكن، من مميزاتها انها تعمل مع الإضاءة المنخفضة وهي أقل تكلفة من غيرها، من عيوبها أن أداءها حوالي 10% ويتناقص بشكل كبير مع مرور الوقت [14].



الشكل I-07: خلية شمسية من السيلكون غير المتبلور

## I-3-3-2-4-الخلايا الشمسية السيليكونية المتبلورة الشريطية:

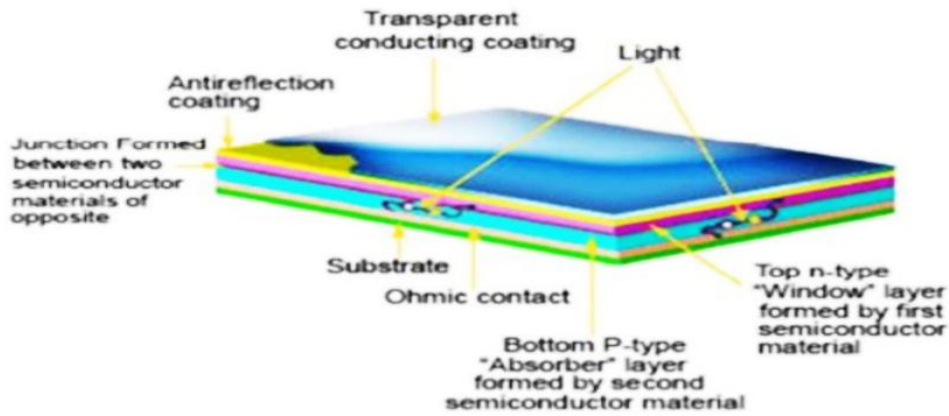
الخلية الشمسية الهجينة العضوية هي أحد أنواع الألواح الشمسية، التي لا تزال في مرحلة البحث. وقد اكتشفه فريق من الخبراء في جامعة فاندربيلت، والفكرة الكامنة وراء التكنولوجيا الجديدة هي الاستعادة من البناء (التركيب) الضوئي، وهو مجمع بروتين نشط ضوئي يقع في غشاء ثايلاكويد لإعادة إنشاء العملية الطبيعية لعملية البناء الضوئي للحصول على كفاءة أكبر في تحويل الطاقة الشمسية. هذه الخلايا الشمسية الهجينة العضوية هي نوع جديد من الطاقة المتجددة تعمل على محاكاة العملية الطبيعية لعملية البناء الضوئي [15].



الشكل I-08: خلايا شمسية شريطية متعددة الطبقات

### I-3-3-2-5- الخلايا الشمسية من الشرائح الرقيقة

تصنع الخلايا الشمسية ذات الطبقات الرقيقة تجاريا بالعديد من التقنيات والمواد بما في ذلك السيليكون غير المتبلور وغيرها. يتم تصنيعها عن طريق إيداع طبقة رقيقة أو أكثر من المواد الكهروضوئية مثل السيليكون أو النحاس أو الكاديوم على المسند مثل الزجاج أو البلاستيك أو المعدن ما يميّز هذه الألواح الشمسية سهولة الإنتاج والتكلفة الأقل [16].



الشكل I-09: بنية الخلايا الشمسية الرقيقة

### I-4-المجمع الشمسي الحراري

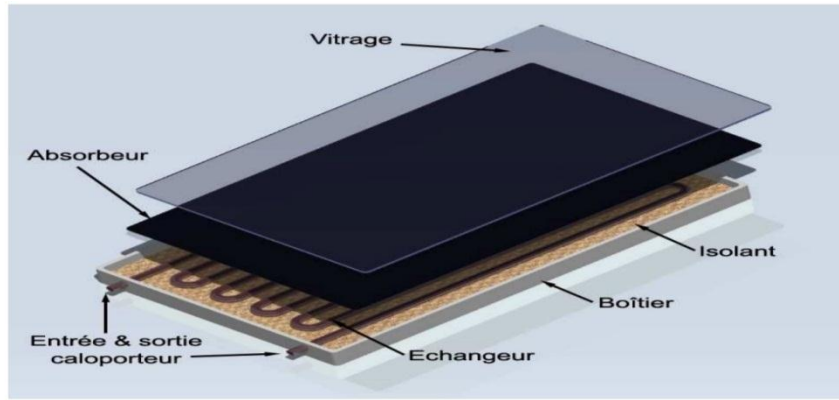
هي عملية حصاد و استغلال الطاقة الشمسية و ذلك بتحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة حرارية عن طريق المجمعات الشمسية و المواد الحرارية، فإذا تعرض جسم داكن اللون و معزول إلى الإشعاع الشمسي فإنه يمتص الإشعاع و ترتفع درجة حرارته حيث هناك ثلاث أنواع من المجمعات الشمسية

الحرارية المستخدمة لهذا الغرض و هي: المجمعات الشمسية الحرارية المركزة، المجمعات الشمسية المفرغة، المجمعات الشمسية المسطحة، و لكل نوع من هذه الأنواع استخدامات معينة يتم استخدام الطاقة الشمسية الحرارية في تجفيف المحاصيل، الطبخ الشمسي، تحلية المياه، تسخين المياه، التدفئة [17].

#### I-4-1-أنواع المجمعات الحرارية الشمسية

##### I-4-1-1-المجمعات المسطحة

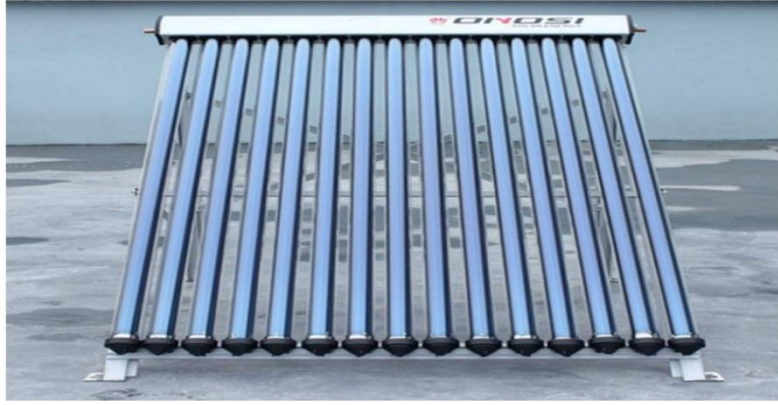
تكون المجمعات الشمسية المسطحة من صندوق مغلق بغطاء زجاجي، ويحيط به أنبوب يمر من خلاله الماء (سائل نقل الحرارة). تم طلاء الجزء الداخلي بالكامل باللون الأسود لامتصاص أقصى قدر من الإشعاع. تتجاوز كفاءة المستشعر جيد الصنع 50% ويمكنه إنتاج الماء الساخن المنزلي الساخن المنزلي للمنزل. درجة الحرارة التي تم الوصول إليها عمليا لا تتجاوز 80 درجة مئوية.



الشكل I-10: المجمع الحراري الشمسي المسطح

##### I-4-1-2-المجمعات المفرغة

تعتمد هذه النظم أساسا على ما يعرف باسم الأنابيب المفرغة و التي تمتص الطاقة الشمسية بكفاءة عالية بنسبة قد تصل إلى 98% و تحولها إلى طاقة حرارية لتسخين المياه، و هي عبارة عن أنابيب زجاجية شفافة مفرغة من الهواء و بداخلها أنابيب أخرى مغطاة بمادة خاصة هذه المادة تساعد على زيادة امتصاص الإشعاع الشمسي الساقط عليها عبر الأنابيب الزجاجية و الفراغ الموجود داخل الانبوب و وظيفته أنه عازل جيد للحرارة و تعطي هذه المجموعات درجة حرارة مرتفعة، و تمر بها المياه لتسخين نتيجة لتلامسها للأنابيب المفرغة ثم تخزين المياه في الخزان [18].



الشكل I-11: مجمع شمسي مفرغ

## I-4-1-3-المجمعات المركزة

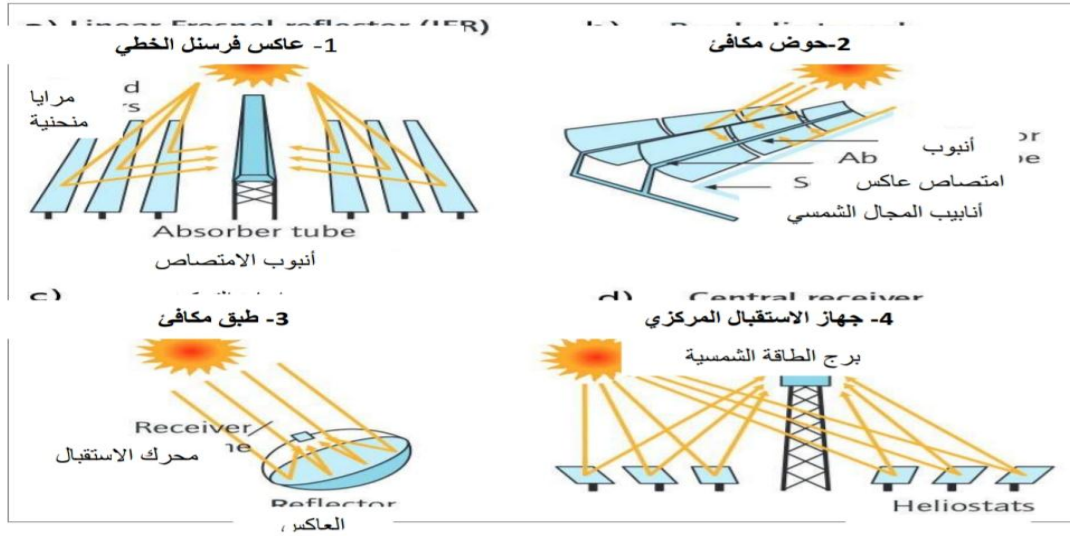
تتيح مستشعرات التركيز الوصول إلى درجات حرارة أعلى من 150 درجة مئوية يقوم سطح عاكس أسطواني بتركيز الإشعاع الشمسي على جهاز استقبال يمر من خلاله سائل نقل الحرارة، يمكن استخدام الماء الساخن المنتج مباشرة لتدفئة المباني والدفئيات الزراعية وحمامات السباحة أو للأغراض الصناعية. ويمكن أيضا تحويلها إلى أعمال ميكانيكية أو كهربائية بطريقة تقليدية جدا، ولكن بكفاءة منخفضة بسبب درجة حرارة المصدر الساخن المنخفضة جداً [19].



الشكل I-12: المجمع الحراري المكافئ المركز

## I-4-2-محطات الطاقة الشمسية الديناميكية الحرارية

إن تركيز الإشعاع الشمسي على بؤرة واحدة يجعل من الممكن الوصول إلى درجات حرارة عالية. يستخدم هذا المبدأ، المعروف منذ العصور القديمة، مجمعات مكافئة أو أسطوانية مكافئة أو ما يسمى بمحطات البرج. فهو يسمح بتسخين سوائل نقل الحرارة، بشكل عام الزيت أو الأملاح المنصهرة، في نطاق درجة حرارة يتراوح من 250 إلى 800 درجة مئوية، اعتمادا على التقنيات المستخدمة. تقوم هذه السوائل بعد ذلك بتسخين بخار الماء، الذي يقوم بتشغيل المحرك التوربيني [20].



الشكل I-13: تقنيات التركيز المختلفة.

### 5-I تعريف النانو

يعود أصل كلمة (نانو) إلى منشأ إغريقي وهو مشتق من كلمة (نانو) والتي تعني القزم، كدلالة على الشيء الصغير وتدل على كل ما هو متناه في الصغر، ويعرف النانو بأنه أدق وحدة قياس مترية.

وفي مجال العلوم يعني النانو جزء من مليار (جزء من ألف مليون)، فمثلاً نانو ثانية (وحدة لقياس الزمن) تعني واحداً على مليار من الثانية الواحدة، وبالمثل يستخدم النانومتر كوحدة لقياس أطوال الأشياء الصغيرة جداً التي لا ترى إلا تحت المهر الإلكتروني (ميكروسكوب). تستخدم هذه الوحدة للتعبير عن أبعاد أقطار ومقاييس ذرات وجزيئات المواد المركبة والجسيمات المجهرية مثل البكتيريا والفيروسات، والنانومتر الواحد يساوي جزء من ألف مليون (مليار) جزء من المتر [21].

### 6-I تقنية النانو

تقنية النانو أو تقنية المواد المتناهية في الصغر أو هندسة المنتجات المتناهية في الصغر وهي مجموعة من الأدوات والتقنيات ولتطبيقات التي تتعلق بتصنيع بنية معينة وتركيبها باستخدام مقاييس في غاية الصغر (مقاييس نانوية). وهي التطبيق العلمي لإنتاج المواد عبر إعادة ترتيب ذراتها لتصنيع جزيئات ذات مواصفات جديد محددة ومخطط لها، حيث يعطى هذا الجزيء صفات فيزيائية وكيميائية معينة هذه الصفات تعتمد اعتماداً كلياً على الترتيب الذري الذي تتخذه الذرات لتشكل هذا الجزيء [22].

### 7-I تعريف المواد النانوية

يمكننا تعريف المواد النانوية بأنها تلك الفئة المتميزة من المواد المتقدمة التي يمكن إنتاجها بحيث تتراوح مقاييس أبعادها أو أبعاد حبيباتها الداخلية بين 1 نانومتر و100 نانومتر. يمكن الحصول عليها من أغلب المواد المتواجدة في الطبيعة كالمعادن وأشباه المعادن والزجاج وبعض المركبات العضوية [21].

### 8-I أصناف المواد النانوية:

#### 1-8-I مواد أحادية البعد

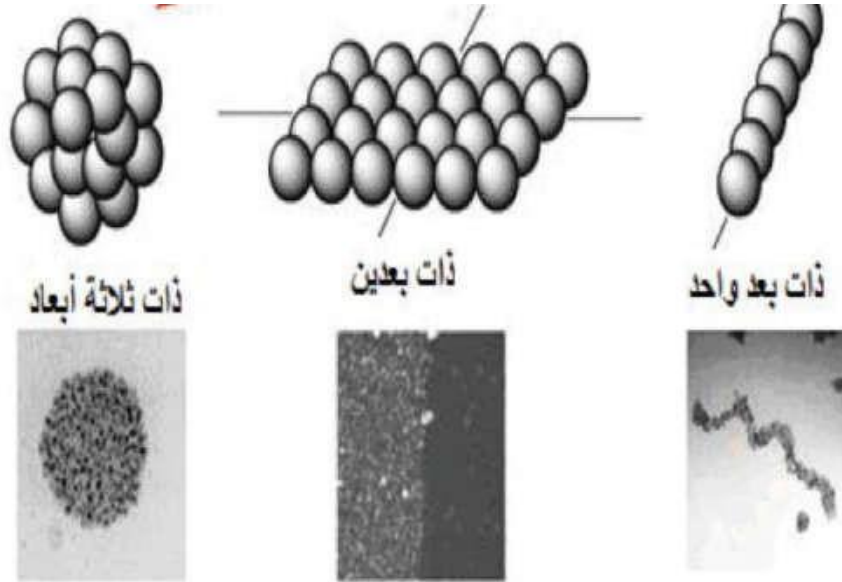
وهي المواد التي لها طول فقط (بعد واحد) وتكون على شكل رقائق وسمكها لا يتعدى 100 nm، وغالبا ما تستخدم لطلاء المواد القديمة من أجل تحسين خواصها [21].

#### 2-8-I مواد ثنائية البعد

هي مواد لها طول وعرض (بعدين) يقل طول كل منهما عن 100nm كالأسلاك والأنابيب النانوية [21].

#### 3-8-I مواد ثلاثية البعد

وهي مواد لها طول وعرض وارتفاع (ثلاثة أبعاد)، لا يتعدى كل منها 100 nm ومثل ذلك الحبيبات ومساحيق المعادن. [21] والشكل التالي يوضح أصناف المواد النانوية:



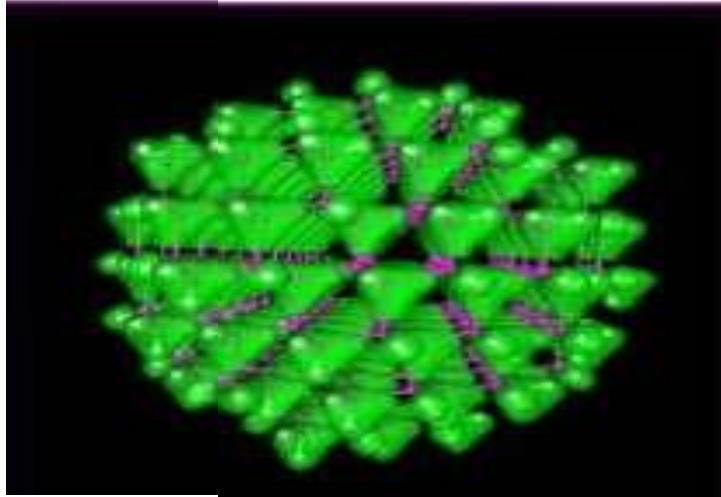
الشكل : 14-I يوضح أصناف المواد النانوية

### 9-I أشكال المواد النانوية

تتخذ المواد النانوية أشكالاً عديدة لكل شكل منها تركيب وخصائص معينة، وتصنف المواد النانوية حسب الشكل إلى ما يلي :

### I-9-1 النقاط الكمومية

عبارة عن تركيب نانوي شبه موصل ثلاثي الأبعاد يتراوح البعد الواحد بين 2 nm و 10nm وهذا يقابل 10-50 ذرة في القطر الواحد أي من 100 - 100000 ذرة في حجم النقطة الكمية الواحدة يمثل الشكل في الأسفل نقطة كمومية [23].

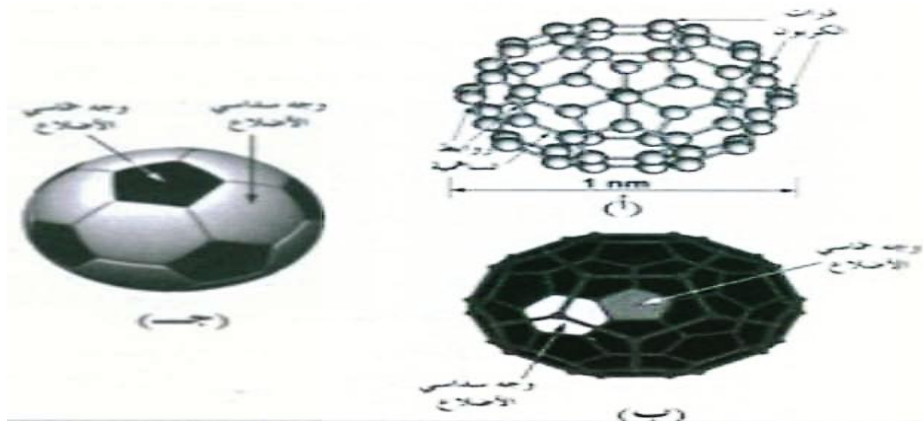


الشكل I-15: نقطة كمومية

### I-9-2 الفولورينات (Fullerenes)

يمثل الكربون عنصراً واحداً من ضمن أكثر من مئة عنصر كيميائي معروف ، إلا أنه يلعب دوراً حيوياً في الطبيعة ويعتبر أساساً هاماً جداً في بناء المواد النانوية ، وذلك بسبب نزوع الكربون للتربط بطرائق مختلفة ومتعددة .

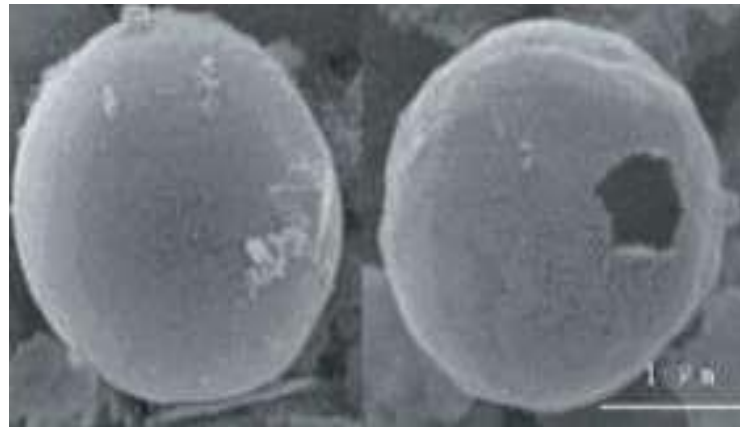
من الأشكال المختلفة لتربط الكربون جزيء مكون من 60 ذرة كربون ورمزها C60 ويسمى الفولورين ، وقد اكتشف عام 1985 وقد سمي بالفولورين نسبة للمخترع والمهندس المعماري (بكمستر فولر ) ، الخاصة التي ينفرد بها الفولورين هي أن ذرات الكربون المولفة للجزيئة الواحدة تكون هيكلًا هندسيًا كروي الشكل . يبلغ قطره نحو 1 نانومتر ، و تتساهم تلك الذرات في تربطها لتكوين 32 وجه منها 20 وجه سداسي و 12 خماسي لتتشابه في مظهرها و تعدد أوجهها مع كرة القدم. وقد نشأ فرع كيمياء جديد يسمى الفولورين حيث عرف أكثر من 9000 مركب منذ عام 1997 كما ظهرت تطبيقات مختلفة لكل من هذه المركبات حيث أبدت توصيلية كهربائية فائقة كما اكتشفت أشكال أخرى منها الفولورين المخروطي و الأنبوبي والكروي . [21]، [23]، [24] و الشكل التالي يوضح رسم تخطيطي للفولورين:



الشكل I-16: رسم تخطيطي للفلورين

### I-9-3 الكرات النانوية (Nano balls)

تعد كرات الكربون النانوية أهم نوع منها ،حيث تنتمي كرات الكربون النانوية إلى فئة الفولورينات من مادة C60 ولكنها تختلف عنها قليلا بالتركيب حيث أنها متعددة القشرة و خاوية المركز. بالإضافة إلى أن الكرات النانوية لا يوجد على سطحها فجوات ، وقد يصل قطر الكرة الواحدة إلى 500nm أو أكثر (الشكل I-4). [23]

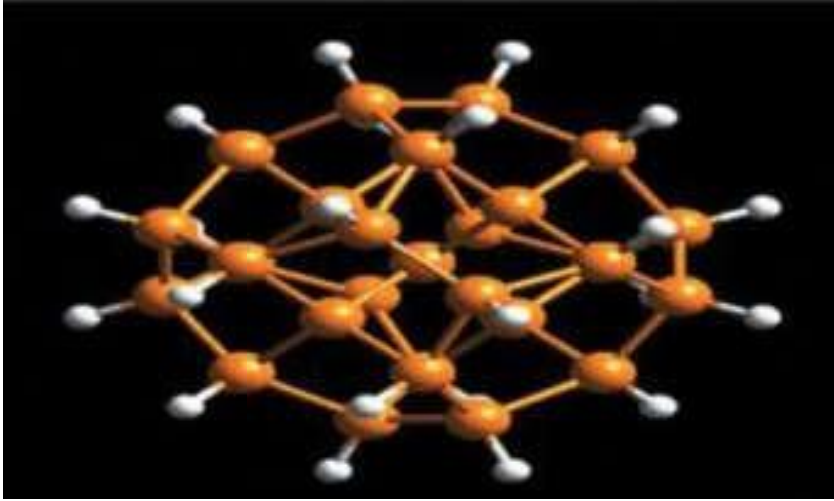


الشكل I-17: يمثل الكرات النانوية

### I-9-4 الجسيمات النانوية (Nano particales)

يمكن تعريف الجسيمات النانوية على أنها عبارة عن تجمع ذري أو جزيئي ميكروسكوبي يتراوح عددها من بضع ذرات إلى مليون ذرة ،وتكون مرتبطة مع بعضها البعض بشكل كروي تقريبا ونصف قطرها

أقل من 100nm (الشكل I-5). عند ما يصل حجم الجسيم النانوي إلى مقياس النانو في بعد واحد فإنها تسمى البئر الكمية (Quntum well)، أما عند ما يكون حجمها النانوي في بعدين فتسمى السلك الكمي (Quntum wire)، وعندما يكون بثلاثة أبعاد تسمى (Quntum dots)، ولابد من الإشارة إلى أن التغيير في الأبعاد النانوية للتركيبات الثلاثة السابقة الذكر سوف يؤثر على الخصائص الإلكترونية لها [23].



الشكل I-18: الجسيمات النانوية

### I-9-5 الأنابيب النانوية

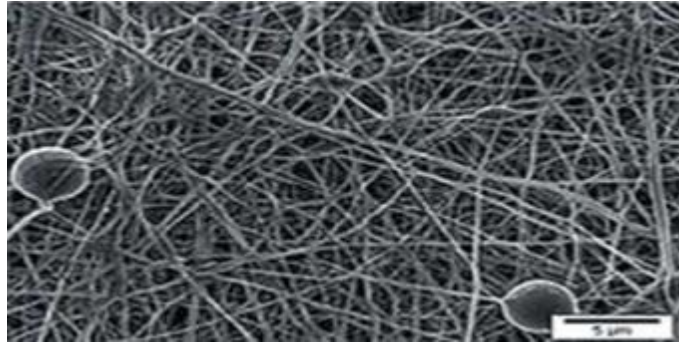
الأنبوب النانوي هو اسم وصفي، فأنبوب الكربون النانوي هو في الواقع أنبوب نانوي حجما وبنيته ليست مختلفة وراء اسم رمزي. فمن الممكن لأي كان أن يتخيل أسطوانة صغيرة تجعل بطريقة ما مجالا خفيا، ملموسا ومنتجا. إن أنابيب الكربون النانوية رائعة التعقيد في بساطتها و على ما يبدو من بنيتها غير المشوقة و المتمثلة في صفيحة من ذرات الكربون ملفوفة في أسطوانة تحوي في طياها مجموعة من الخصائص والميزات التطبيقية المثيرة التي لا مثيل لها. [23]، [24] والشكل التالي يوضح الأنابيب النانوية:



الشكل I-19: الأنابيب النانوية

### I-9-6 الألياف النانوية (Nano fibers)

تلقى هذه المواد اهتماما كبيرا مؤخرا نظرا لأهميتها الصناعية ، وتتخذ عدة أشكال منها الألياف السداسية والحلزونية والألياف الشبيهة بحبة القمح. تتميز الألياف النانوية بأن مساحة سطحها إلى حجمها كبيرة حيث أن عدد ذرات السطح كبيرة بالنسبة للعدد الكلي ، وهذا ما يكسبها خواص ميكانيكية مميزة كالصلابة وقوة الشد وغيرها. ولكنها تعاني من صعوبة التحكم باستمراريتها واستقامتها وتراسها [23].  
الشكل أسفله يمثل الألياف النانوية:



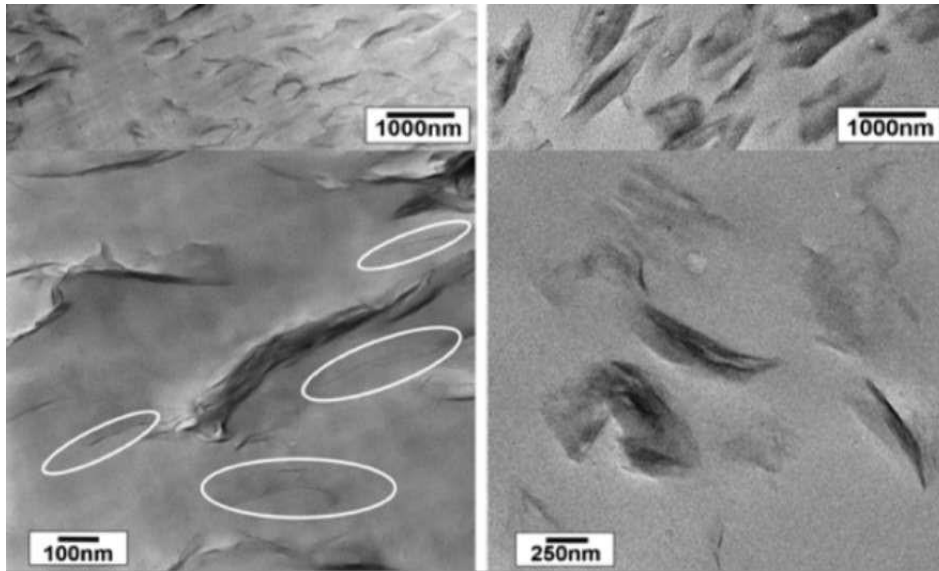
الشكل I-20: الألياف النانوية

## I-9-7 المركبات النانوية (Nano composites):

يمكن تعريف المركبات النانوية بأنها مواد متعددة الأطوار حيث لطور واحد أو أكثر بعد واحد على الأقل من رتبة 100nm أو أقل. وتتكون معظم المركبات النانوية التي جرى تطويرها والتي اتسمت بأهمية تكنولوجية من طورين. ويمكن تصنيف تلك المواد من حيث بنيتها الميكروية إلى ثلاثة أنواع رئيسية:

1. مركبات نانوية طبقية ذات طبقات متناوبة نانوية المقياس.
2. مركبات نانوية خطية تتألف من مصفوفة تحتضن قضباناً (مصطفة عموماً) ذات أقطار نانوية المقاس.
3. مركبات نانوية جسيمية تتكون من مصفوفة تحتضن جسيمات نانوية المقاس.

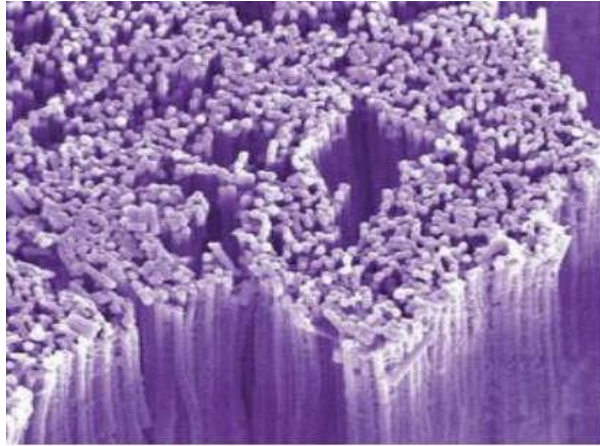
و على غرار المركبات العادية الأخرى يمكن لخواص المركبات النانوية مجتمعة أن تتفوق على خواص أطوارها منفردة، وأكثر من ذلك فإن تقليص مقاسات تلك الأطوار المقياس النانو متري يمكن أن يؤدي إلى خصائص غير مألوفة محسنة غالباً. ومن السمات البنوية الميكروية الهامة للمركبات النانوية النسبة الكبيرة لمساحة السطوح فيما بين الأطوار إلى الحجم وعلى سبيل المثال يمكن لهذه النسبة أن تصل إلى  $700\text{m}^2/\text{c m}^3$  في جسيمات الصلصال الطبقية (سليكات الألمنيوم) في مركبات البوليمرات النانوية و تلك نسبة تعادل نسبة مساحة ملعب كرة قدم إلى حجم قطرة مطر، ويمكن لهذه المساحة الكبيرة أن تؤدي غالباً إلى خصائص جديدة محسنة الشكل (I-4) يمثل مركبات نانوية [23]، [24]



الشكل I-21: مركبات نانوية

**8-9-I الأسلاك النانوية (Nano wires)**

هي أسلاك نانوية قد يقل قطرها عن نانو متر واحد وبأطوال مختلفة أي نسبة الطول إلى عرض تزيد عن 1000 مرة لذا فهي تلحق بالمواد ذات البعد الواحد و هي تتفوق على الأسلاك العادية التقليدية، لأن الإلكترونات فيها تكون محصورة كليا باتجاه جانبي واحد مما يجعلها تحتل مستويات طاقة تختلف عن المستويات العريضة الموجودة في المادة المحسوسة . وهذه المواد غير موجودة في الطبيعة بل تحضر في المختبر بطرق عديدة منها الكحت لسلك كبير بواسطة جسيمات ذات طاقة عالية [3].



الشكل I-22: الأسلاك النانوية

**10-I خصائص المواد النانوية**

إن حجم صغر حجم المواد النانوية أكسبها خصائص مميزة، تختلف عن خصائص المواد في حجمها الطبيعي وأهم هذه الخواص ما يلي:

**1-10-I الخواص الميكانيكية**

تكتسب المواد النانوية خواص ميكانيكية مميزة ، وذلك بزيادة صلابة المواد الفلزية وسبائكها وكذلك زيادة مقاومتها لمواجهة إجهادات الأحمال المختلفة الواقعة عليها وذلك من خلال تصغير مقاييس حبيبات المادة والتحكم في ترتيب ذرات . كما تكتسب المواد السيراميكية متانة لا تمتلكها المواد السيراميكية العادية المعروفة شاشتها، هذه الخواص التي تكتسبها المواد على المستوى النانوي جعلت لها استخدامات عديدة أهمها في مجال حفر آبار البترول والمياه، وذلك باستخدام مواد شديدة الصلابة والمتانة للحفر تعتمد على مواد نانوية مثلا كربيد التيتانيوم وكربيد التنجستين لأدوات الحفر والقطع بدلا من استخدام الماس المكلف [22]، [21].

**I-10-2 الخواص الحرارية**

عند ما يتم تصغير أبعاد حبيبات المادة تتأثر قيم درجات انصهار المادة، فعلى سبيل المثال فإن درجة انصهار الذهب 1064 درجة مئوية في حجمه العادي، وإذا قمنا بإنقاص أقطار حبيبات الذهب فإن درجة الانصهار تنقص حوالي 500 درجة مئوية [21]، [22].

**I-10-3 الخواص المغناطيسية**

إن قوة المغناطيس تعتمد اعتمادا كليا على مقياس أبعاد حبيبات المادة المصنوع منها المغناطيس، فكلما نقص حجم الجسيمات النانوية وتزايدت مساحة أسطحها الخارجية مع تزايد وجود الذرات على تلك الأسطح كلما زادت قوة المغناطيس وشدته [23]، [24].

**I-10-4 الخواص الكهربائية**

يعتبر صغر حجم الحبيبات النانوية مؤثرا إيجابيا على خواصها الكهربائية، حيث تزداد قدرة المواد على توصيل التيار الكهربائي. كما أن هناك مواد عازلة في حجمها العادي لكنها أصبحت مواد ذات قدرة على التوصيل الكهربائي في حجمها النانوي ونفس الشيء بالنسبة لأشباه الموصلات حيث أصبح موصل في الحجم النانوي [21]، [22].

**I-10-5 الخواص الكيميائية**

إن الزيادة الكبيرة في مساحة السطح بالنسبة للحجم في المواد النانوية وكذلك وجود عدد كبير من الذرات على الأسطح الخارجية أكسبها نشاطا كيميائيا كبيرا، حيث أصبحت هذه المواد تستخدم كمحفزة تعرف باسم (nano catalysts) مكونة من حبيبات دقيقة بمقياس 100nm لقطر الحبيبة الواحدة [1]، [2].

**I-11 طرق تصنيع وإنتاج المواد النانوية**

استخدم العلماء العديد من الوسائل والطرق الحديثة والمتطورة من أجل إنتاج وتصنيع المواد النانوية، ومن أهم هذه الطرق والأساليب ما يلي:

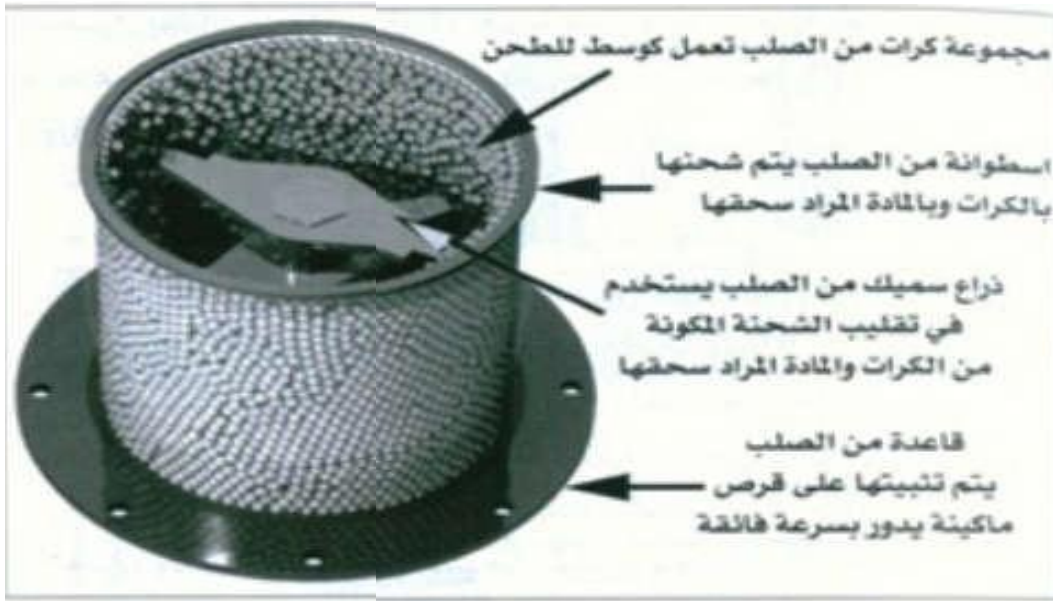
**I-11-1 أسلوب من الأعلى إلى الأسفل**

وتبدأ هذه الطريقة بحجم محسوس من المادة ويتم تصغيرها شيئا فشيئا حتى ال وصول إلى المقياس النانوي، من بين التقنيات المستخدمة في هذا الأسلوب تقنية الحفر الضوئي، القطع، الكحت والطنح الميكانيكي. ولشرح هذا الأسلوب نأخذ تقنية الطحن الميكانيكي كمثال ونفصل فيها [21].

**تقنية الطحن الميكانيكي**

يستعمل في هذه التقنية وعاء أسطواني الشكل مصنوع من سبائك صلبة ، ويكون هذا الوعاء مفرغ من الهواء ويحتوي على غاز خامل لمنع حدوث عملية التأكسد داخل الوعاء . حيث توضع داخل هذا الوعاء الحبيبات المراد سحقها مع كرات تفوقها صلادة ، وبعد ذلك ندير طاحونة الكرات بسرعة عالية تصل إلى 800 دورة في الدقيقة ، تستمر هذه العملية إلى أن تصبح حبيبات المادة ناعمة وأبعادها أقل من 100nm حيث تتطلب هذه العملية فترة زمنية محددة حسب طبيعة ونوع المادة المراد طحنها وقد تصل هذه الفترة إلى عدة ساعات ، وبعدها يتم دمج وتجميع المادة الناتجة بواسطة مكابس هيدروليكية و نمر بمراحل عديدة لنحصل في الأخير على حبيبات منتظمة و متماسكة في الحجم النانوي تناسب التطبيقات الصناعية المطلوبة [21].

و الشكل التالي يوضح تقنية الطحن الميكانيكي و الوعاء الأسطواني التي تتم فيه:



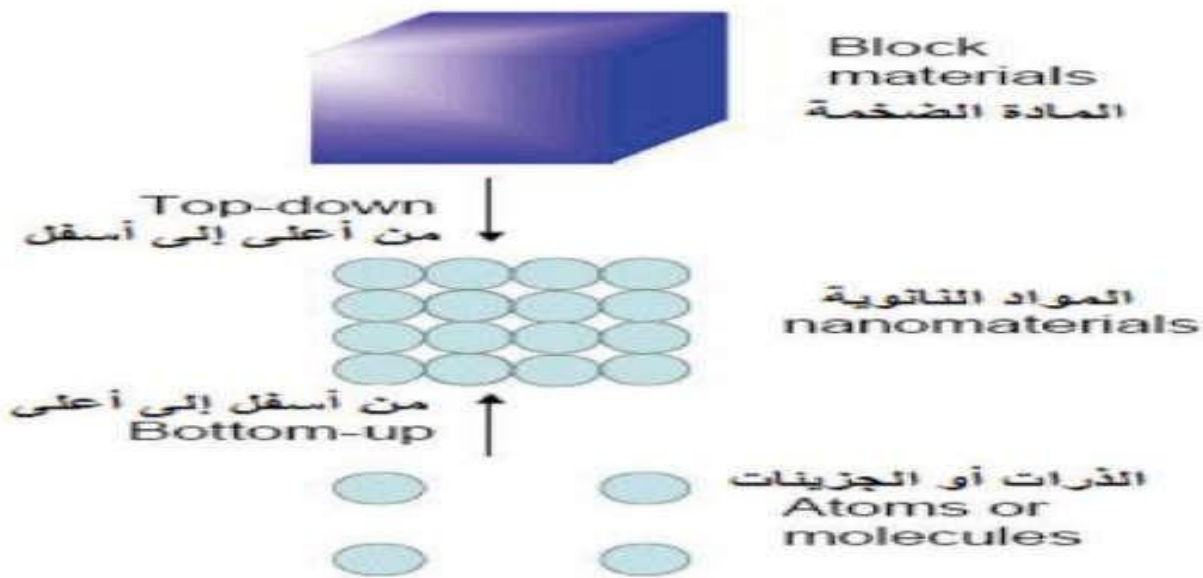
الشكل I-23: يوضح تقنية الطحن الميكانيكي

## I-11-2 أسلوب من الأسفل إلى الأعلى

تعتمد هذه الطريقة على جزيئات منفردة كأصغر وحدة وتجمع في تركيب أكبر، وتتميز بصغر حجم النواتج (نانو متر واحد) وقلة هدر المادة الأصلية والحصول على قوة ترابط بين الجسيمات النانوية الناتجة. كما تسمى هذه الطريقة أيضا مقارنة التجميع والترتيب لأنها تركز على تكبير الذرات والجزيئات الصغيرة من خلال جمعها وترتيبها أليا ، وذلك باستخدام أنواع من الميكروسكوبات الإلكترونية تعمل على

فحص وتحليل البنية الداخلية للمواد وتكبيرها أكثر من مليون مرة ، حتى يستطيع الباحث أن يرى الذرات و الجزيئات من خلالها وأهم هذه الميكروسكوبات الإلكترونية ميكروسكوب القوة الذرية الذي طورته إيران عدة مرات والميكروسكوب النفقي الماسح الذي أنتجته شركة (STM) اليابانية ، الذي طورته مرارا بحيث تستطيع إبرته الدقيقة (مباراه) التقاط الذرات واحدة بواحدة ،إعادة ترتيبها و تجميعها بهياكل ذرية و متنوعة .وقد كانت هذه الطريقة تعد من الطرق البطيئة و غير الملائمة للإنتاج الصناعي لذا عمل العلماء على تطويرها بحيث يتم تجميع الذرات ذاتيا ، عن طريق مزج و تفاعل محاليل المواد النانوية ومراقبتها و السيطرة عليها دف الحصول على جزيئات جديدة ، تصمم من خلالها الهياكل النانوية المطلوبة . و قد أصبحت سهلة الخطوات و أسرع من غيرها ،أي أنها أكثر قدرة على إنتاج مواد نانوية بكميات كبيرة وبنقاوة تصل إلى 99.99% [25].

الشكل التالي يوضح أسلوب إنتاج و تصنيع المواد النانوية:



الشكل I -24: أسلوب إنتاج و تصنيع المواد النانوية

## I-12 تطبيقات ومزايا و عيوب السوائل النانوية

تستخدم السوائل النانوية في العديد من المجالات، خصوصا في القطاعات الصناعية والتقنية. وتبرز أهميتها في تبريد المكونات الكهربائية والإلكترونية، كأنظمة السيارات والرادارات، نظرا لقدرتها العالية على نقل الحرارة.

في مجال الطاقة المتجددة، تسهم السوائل النانوية في تحسين كفاءة نقل الحرارة من مجمعات الطاقة الشمسية الى خزانات التخزين، مما يؤدي الى زيادة كثافة الطاقة. كما أنها قابلة للتطبيق على نطاق واسع في الصناعات التحويلية مثل بالإضافة الى قطاع النفط والغاز [26].

### I-12-1 مزايا السوائل النانوية

تمتاز بارتفاع التشتت والاستقرار، نتيجة للحركة البراونية للجسيمات النانوية.

- توفر سطحاً كبيراً لنقل الحرارة بين الجسيمات والسائل، مما يعزز الكفاءة الحرارية.
- تقلل من جزيئات الانسداد مقارنة بالحماية التقليدية، وهو أمر مفيد في تقليل حجم النظام.
- تمتلك خصائص قابلة للتعديل، مثل الموصلية الحرارية وقابلية ترطيب السطح، وتختلف هذه الخصائص حسب تركيز الجسيمات النانوية [27].

### I-12-2 عيوب السوائل النانوية

- تواجه صعوبات في عمليات الإنتاج.
- ما يزال الفهم النظري للآليات السمية وآثارها محدوداً.
- توجد تحديات في توصيف التعليق النانوي بشكل دقيق.
- هناك تباين في نتائج الدراسات بين الباحثين، مما يؤدي الى غياب توافق علمي واضح.
- تتسم بلزوجة عالية وحرارة نوعية منخفضة، ما قد يؤثر على كفاءتها في بعض التطبيقات.

### I-13 فوائد المواد النانوية

1. زيادة كفاءة نقل الحرارة
2. تُستخدم الجسيمات النانوية لتحسين الموصلية الحرارية للسوائل، ما يرفع من كفاءة أنظمة التبريد [28].

0. تحسين خصائص المواد الميكانيكية

إضافة جسيمات نانوية إلى البوليمرات أو المعادن تُحسن من صلابتها، مقاومتها للتآكل، وخفّتها [29].

0. الرفع من كفاءة الخلايا الشمسية

تُستخدم الجسيمات النانوية لزيادة امتصاص الضوء وتحسين تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء [30].

0. الاستهداف الدقيق في المجال الطبي

الفائدة: تُمكن المواد النانوية من توصيل الأدوية مباشرة إلى الخلايا المريضة دون التأثير على الخلايا السليمة [31].

0. إزالة الملوثات من الماء والهواء

تُستخدم الجسيمات النانوية لتنقية المياه من المعادن الثقيلة والملوثات العضوية [31].

6. تحسين أداء البطاريات وتخزين الطاقة

زيادة سعة الشحن وسرعة الشحن والتفريغ بفضل البنية النانوية للمواد [31].

#### 14-I خاتمة

تطرقنا في هذا الفصل إلى أهمية الطاقة الشمسية كخيار استراتيجي لمواجهة التحديات البيئية و الطاقوية المستقبلية، كما تم التطرق إلى مفهوم السوائل النانوية و خصائصها الحرارية المتقدمة، و تم تقديم مجموعة من المفاهيم النظرية التي تساعد على فهم سلوك هذه السوائل في الأنظمة الحرارية في محاولة للجمع بين هذه التقنية و مصادر الطاقة المتجددة مما قد يساهم بفتح آفاق جديدة في مجالات نقل الحرارة و التبريد، و هذا التوجه يعكس سعي الباحثين نحو حلول مبتكرة لتحسين كفاءة الأنظمة الطاقوية.

# الفصل الثاني: النموذج الرياضي

## II-1 مقدمة

يتناول هذا الفصل عرض المعادلات التي تمثل قوانين الحفظ الأساسية التي تحكم تدفق السائل داخل الانابيب، مع تحديد كافة الافتراضات التبسيطية المعتمدة في الحالة المدروسة. تعد هذه المعادلات من النماذج الرياضية العامة التي تستخدم على نطاق واسع في علم ميكانيكا الموائع و انتقال الحرارة.

## II-2 الأعداد اللاحدية

## II-2-1 عدد رينولدز

يعد عدد رينولدز من الأعداد الأساسية في ديناميكا الموائع، وقد أدخله المهندس البريطاني "رينولدز"، ويُستخدم بكثرة في حسابات الجريان. يمكن أن يكون الجريان انسيابياً، انتقالياً أو اضطرابياً. في الحالة الأولى، يتدفق السائل على شكل خطوط متوازية قرب الجدار، في الحالة الثانية يكون الجريان في حالة وسطية بين الانسيابي والاضطرابي، أما الحالة الثالثة لا يمكن تمييز هذه الخطوط وتصبح حركة الجزيئات عشوائية. لفهم نظام الجريان نستخدم عدد رينولدز الذي يحسب باستخدام كثافة السائل، اللزوجة الديناميكية، السرعة المتوسطة وقطر الأنبوب الهيدروليكي [32]. يعرف عدد رينولدز بالعلاقة التالية:

$$Re = \frac{\rho \times U \times L}{\mu} = \frac{U \times L}{\nu} \quad (1.II)$$

حيث:

U : السرعة المتوسطة للجريان [ $m.s^{-1}$ ].

L : طول مميز [m].

$\nu$  : اللزوجة الحركية للمائع [ $m^2.s^{-1}$ ].

$\mu$  : اللزوجة الديناميكية [ $Kg.m^{-1}s^{-1}$ ].

$\rho$  : الكثافة [ $Kg.m^{-3}$ ].

في الجريان الداخلي يُستبدل الطول المميز بالقطر الهيدروليكي  $D_h$  و الذي يحسب ب:

$$D_h = \frac{4 \times S}{P}$$

حيث:

$D_h$  : القطر الهيدروليكي [m].

$S$  : مساحة مقطع الانبوب [m<sup>2</sup>].

$P$  : المحيط [m].

إذا كان عدد رينولدز للنظام أقل من القيمة الحرجة  $Re_{crit}$  يكون الجريان نسبي أما إذا تجاوزها فيصبح اضطرابي [33].

← الجريان الداخلي:  $Re_{crit} \approx 2300$

← الجريان الخارجي:  $Re_{crit} \approx 300000$

### II-2-2 عدد نوسلت

هو نسبة بين التدفق الحراري المنتقل بواسطة الحمل الحراري (convection) و التدفق الحراري بواسطة التوصيل الحراري (conduction) [33].

و يُعرف عدد نوسلت كما يلي:

$$Nu = \frac{h.L}{K} \quad (2.II)$$

حيث:

$L$  : الطول المميز [m].

$K$  : الموصلية الحرارية للمائع [W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>].

$H$  : معامل الحمل الحراري [W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>].

عدد نوسلت يعطي فكرة عن مدى فعالية الحمل الحراري في نقل الحرارة داخل المائع، إذا كان:

←  $Nu = 1$  فإن انتقال الحرارة يتم فقط بالتوصيل دون أي تأثير للحمل.

←  $Nu > 1$  فإن الحمل الحراري له دور في نقل الحرارة و كلما زادت القيمة زادت فعالية الحمل.

### II-2-3 عدد غراشوف

عدد غراشوف هو النسبة بين تأثير الطفو الناتج عن قوة أرخميدس المحركة و تأثير مقاومة الجريان، و يعطى بالعلاقة التالية:

$$Gr = \frac{g \times \beta \times L^3 \times (T_p - T_{ext})}{v^2} \quad (3.II)$$

حيث:

g : تسارع الجاذبية الارضية  $[m.s^{-2}]$ .

$\beta$  : معامل التمدد أو التوسع الحراري  $[1/K]$ .

$T_p$  : درجة حرارة الجدران  $[K]$ .

$T_{ext}$  : درجة الحرارة الخارجية  $[K]$ .

L : الطول المميز  $[m]$ .

v : اللزوجة الحركية  $[m^2.s^{-1}]$ .

يلعب عدد غراشوف دوراً مشابهاً لدور عدد رينولدز Re في حالة الحمل القسري، و تُستخدم النسبة بين عدد غراشوف و عدد رينولدز تربيع  $\frac{Gr}{Re^2}$  لتحديد نوع الحمل الحراري [33]:

• إذا كان  $1 \ll \frac{Gr}{Re^2}$  فإن: الحمل الحراري قسري.

• إذا كان  $1 \gg \frac{Gr}{Re^2}$  فإن: الحمل الحراري طبيعي.

• إذا كان  $1 \approx \frac{Gr}{Re^2}$  فإن: الحمل الحراري مختلط.

❖ مقارنة بين عدد غراشوف و عدد رينولدز:

عدد رينولدز Re	عدد غراشوف Gr	الخاصية
قسري بسبب مؤثر خارجي	طبيعي بسبب فرق الكثافة	نوع الحمل الحراري
السرعة الناتجة عن مصدر خارجي	قوة الطفو الناتجة عن اختلاف درجات الحرارة	القوة المحركة
تحليل الحمل القسري	تحليل الحمل الطبيعي	الاستخدام

الجدول 01-II: يمثل مقارنة بين عدد رينولدز Re و عدد غراشوف Gr لعدة خصائص

### II-2-4 عدد برانتل

عدد برانتل هو عدد لا بعدي يعبر عن النسبة بين الزخم الحركي المنتقل بواسطة اللزوجة على الحرارة المنتقلة بواسطة التوصيل الحراري داخل المائع، و يُعرف بالعلاقة التالية [33]:

$$Pr = \frac{v}{\alpha} \quad (4.II)$$

حيث:

$v$  : اللزوجة الحركية  $[m^2 \cdot s]$ .

$\alpha$  : الانتشارية الحرارية  $[m^2 \cdot s]$ .

❖ معادلة الانتشارية الحرارية:

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot C_p} \quad (5.II)$$

حيث:

$k$  : الموصلية الحرارية  $[w \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$ .

$\rho$  : الكتلة الحجمية  $[Kg/m^3]$ .

$C_p$  : الحرارة النوعية عند ضغط ثابت

➤ يمكن أيضا كتابة عدد برانتل على الشكل:

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{k} \quad (6.II)$$

حيث:

$\mu$  : اللزوجة الديناميكية  $[Kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}]$ .

$C_p$  : الحرارة النوعية عند ضغط ثابت  $[J \cdot Kg^{-1} \cdot K^{-1}]$ .

$K$  : الموصلية الحرارية  $[w \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$ .

- إذا كان:

$Pr \ll 1$  فإن الانتقال الحراري أسرع من انتقال كمية الحركة.

$Pr \gg 1$  فإن انتقال كمية الحركة أسرع من انتقال الحرارة.

$Pr \approx 1$  فإن الانتقالان متقاربان في السرعة.

## II-2-5 عدد رايلي

عدد رايلي Ra هو عدد لا بعدي يُستخدم في ميكانيكا الموائع لتقييم استقرار الجريان الحر (الحمل الطبيعي) في السوائل. يمثل نسبة القوى الدافعة للحمل الحراري (قوى الطفو) إلى القوى المقاومة (اللزوجة والانتشار الحراري)، ويعطى بالعلاقة التالية [33]:

$$Ra = Gr \times Pr = \frac{g \times \beta \times L^3 (T_p - T_{ext})}{\nu \times \alpha} \quad (7.II)$$

إذا كان  $Ra < 10^9$  فإن الجريان يكون طبقيًا

إذا كان  $Ra > 10^9$  فإن الجريان يتحول إلى مضطرب

## II-2-6 عدد هارتمن

عدد هارتمن Ha هو عدد لا بعدي يُستخدم في الميكانيكا المغناطيسية المائية (MHD) لتقييم تأثير المجال المغناطيسي على جريان السوائل الموصلة كهربائياً، و يمثل نسبة قوة لورنتز (القوة المغناطيسية) إلى القوة اللزجة، و يعطى بالعلاقة التالية:

$$Ha = B_0 L \sqrt{\frac{\delta f}{\mu f}} \quad (8.II)$$

حيث:

$B_0$  : شدة المجال المغناطيسي [ $\text{Kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$ ].

$L$  : الطول المميز [m].

$\mu f$  : اللزوجة الديناميكية [ $\text{Kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ].

$\delta f$  : التوصيلية الكهربائية للسائل [ $\text{A}^2 \cdot \text{S}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{Kg}^{-1}$ ].

✓ زيادة قيمة العدد Ha تشير إلى تأثير أكبر للمجال المغناطيسي مما يؤدي إلى تقليل سرعة الجريان و زيادة استقراره.

✓ في التطبيقات العملية، يُستخدم عدد هارتمن لتصميم أنظمة التبريد في المفاعلات النووية، معالجة المعادن السائلة و غيرها من التطبيقات التي تتضمن سوائل موصلة و مجالات مغناطيسية.

### II-3 المجال المغناطيسي

في الفيزياء، يعد المجال المغناطيسي كمية مميزة بمعطيات الشدة و الاتجاه، و يُعرف في كل نقطة من الفضاء و يتحدد حسب موضع و اتجاه المغناطيسيات و كذلك حسب حركة الشحنات الكهربائية.

يؤدي وجود هذا المجال إلى ظهور قوى تؤثر على الشحنات المتحركة (تُعرف باسم قوى لورنتز)، بالإضافة إلى تأثيرات مختلفة مثل البارامغناطيسية، الديامغناطيسية، أو الفرومغناطيسية حسب الظروف، و هي تأثيرات تمس بعض المواد.

و تحدد شدة التفاعل بين المادة و المجال المغناطيسي بواسطة القابلية المغناطيسية.

يشكل المجال المغناطيسي و المجال الكهربائي معاً مكونين للمجال الكهرومغناطيسي، الذي يوصف ضمن نظرية الكهرومغناطيسية. و تستطيع الأمواج الناتجة عن تداخل هذين المجالين الانتشار بحرية في الفضاء و معظم المواد. تُعرف هذه الأمواج باسم الأمواج الكهرومغناطيسية، و تشمل كل الظواهر الضوئية في جميع مجالات الطول الموجي (مثل أمواج الراديو، الميكروويف، الأشعة تحت الحمراء، الضوء المرئي، الأشعة فوق البنفسجية، الأشعة السينية و أشعة غاما).

أما دراسة المجال المغناطيسي الساكن (أي غير المتغير مع الزمن) فهي موضوع المغناطيس و ستاتيكا [34].

### II-4 العلاقة بين التيار الكهربائي و المجال المغناطيسي

يُنتج التيار الكهربائي، أو بشكل عام أي حركة للشحنات الكهربائية، مجالاً مغناطيسياً، و تتناسب قيمة هذا المجال مع كمية و سرعة الشحنة المتحركة.

و تكون قيمة المجال المغناطيسي الناتج عن تيار كهربائي يمر في سلك منفرد ضعيفة نسبياً، لكن بفضل لف السلك على شكل ملف، يمكن الحصول على مجال مغناطيسي قوي [35].

### II-5 تعريف قوة لورنتز

قوة لورنتز  $\vec{F}$  هي القوة الكلية التي تؤثر على جسيم مشحون عندما يتحرك داخل مجال كهربائي و مغناطيسي، و هي ناتجة عن تفاعل الشحنة الكهربائية مع المجالين. و تعطى بالعلاقة التالية [36]:

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad (9.II)$$

حيث:

$\vec{F}$  : قوة لورنتز [N].

$\vec{E}$  : شدة المجال الكهربائي [V/m].

Q : مقدار الشحنة [C].

$\vec{V}$  : سرعة الجسيم [m/s].

$\vec{B}$  : شدة المجال المغناطيسي [Tesla].

➤ خصائص قوة لورنتز:

(1) اتجاه القوة:

- الإبهام في اتجاه السرعة  $\vec{v}$

- السبابة في اتجاه المجال المغناطيسي  $\vec{B}$

- الوسطى تعطي اتجاه القوة  $\vec{F}$  على شحنة موجبة.

(2) قوة لورنتز المغناطيسية وحدها لا تبذل شغلا لأنها دوما عمودية على اتجاه الحركة، فتغير اتجاه الجسيم دون تغيير طاقته الحركية [37].

(3) عندما تكون الشحنة ساكنة  $\vec{v}=0$  فإن القوة الكهربائية هي التي تؤثر فقط أي:  $\vec{F} = q\vec{E}$

(4) عندما يصبح لا يوجد مجال كهربائي تصبح هناك قوة مغناطيسية فقط  $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$

✚ أمثلة عن قوة لورنتز:

- حركة الإلكترونات داخل أنبوب أشعة الكاثود مثل شاشات التلفاز القديمة.

- الجسيمات في المسرعات (Cyclotron).

- ظاهرة الأورورا (الشفق القطبي).

- المغناط الكهربائية في القطارات المغناطيسية.

- أجهزة الفصل الكهرومغناطيسي في الفيزياء النووية [38].

## II-6 الديناميكا المغناطيسية الهيدروليكية (MHD)

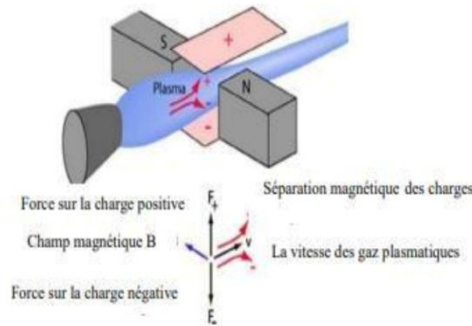
الديناميكا المغناطيسية الهيدروليكية وتُعرف اختصاراً بـ MHD هي فرع من العلوم مثل الديناميكا الحرارية، وتشمل مجموعة من المعادلات والنماذج. وهي تُعد من أبرز وأحدث التطبيقات المتعلقة بالسوائل الموصلة للكهرباء، حيث تدرس حركة هذه السوائل في وجود مجال مغناطيسي.

وقد يكون تدفق MHD مختلفا تماما عن التدفق الهيدروديناميكي العادي. إذ أن حركة الجزيئات المعدنية عبر خطوط المجال المغناطيسي تولد تيارا كهربائيا، يتفاعل بدوره مع المجال المغناطيسي لإنتاج قوة كهرومغناطيسية تُقاوم حركة السائل.

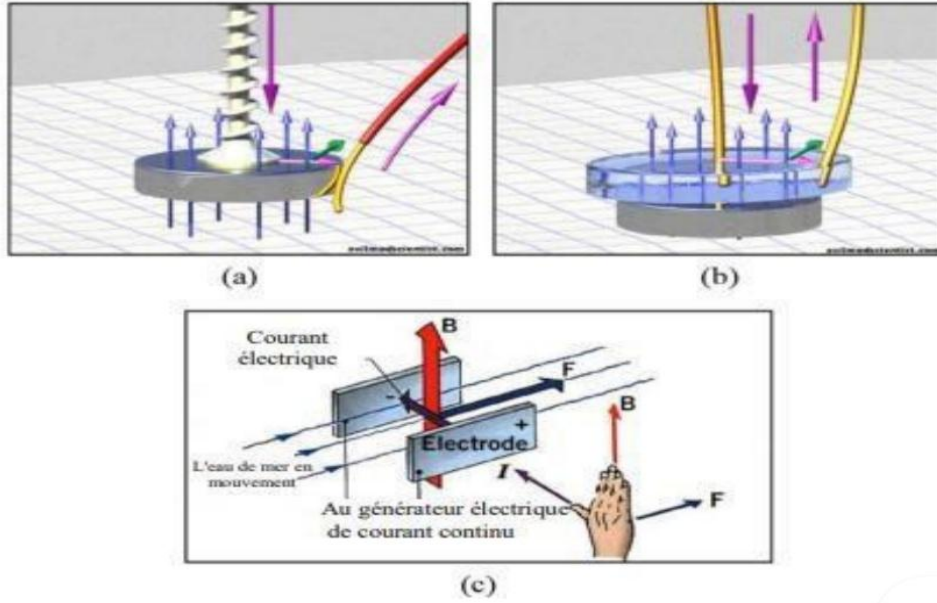
حتى المجالات المغناطيسية الضعيفة يمكن أن تولد قوة تخميد كهرومغناطيسية كافية لتقليل معظم الاضطرابات وعدم الاستقرار في الحركة، مما يزيل الكثير من العيوب المجهرية في البنية البلورية. ويعتمد معدل التخميد على شدة المجال المغناطيسي المطبق و كذلك اتجاهه بالنسبة إلى تدفق الحمل الحراري [39].

وبالتالي، فإن ال MHD تجمع بين: المجال المغناطيسي، السائل و الحركة.

الشكلان المواليان يوضحان الفكرة الأساسية لل MHD و آلية تأثير قوة لورنتز على حركة السوائل، كما يعرض قانون اليد اليمنى و هو الذي يحدد اتجاه قوة لورنتز. و لغرض محاكاة MHD يجب حل معادلات ماكسويل و ربطها مع معادلات نافير-ستوكس [40].



الشكل II-01: تيار مستحدث في مائع موصل بوجود مجال مغناطيسي.



الشكل II-02: (a و b) تأثير المجال المغناطيسي على تدفق المائع الموصل، و (c) قانون اليد اليمنى (الخط الأزرق: المجال المغناطيسي، الخط البنفسجي: التيار، الخط الأخضر: الحركة).

## 7-II النماذج المختلفة لديناميكا المغناطيسية الهيدروليكية MHD

### 1-7-II ال MHD المثالي (Magnétohydrodynamique idéale)

يتميز نموذج ال MHD المثالي بعدد رينولدز مغناطيسي مرتفع جداً ( $R_m$ )، و يُعتبر السائل في هذا النموذج ممغنطاً بشدة و له مقاومة كهربائية ضعيفة أو معدومة، و يُعامل كموصل مثالي [41].

يُدرس هذا النوع من ال MHD في البلازما الحرارية، كما هو الحال في الفيزياء الفلكية أو في بلازما الاندماج النووي الحراري، سواءً الطبيعية مثل النجوم أو الصناعية مثل جهاز التوكاماك Tokamak.

تشمل معادلات ال MHD المثالي:

- ✓ معادلة الاستمرارية (حفظ الكتلة).
- ✓ قانون كمية الحركة.
- ✓ مبرهنة أمبير.
- ✓ المعادلة الحرارية الديناميكية (حفظ الطاقة).
- ✓ و غالباً ما يُفرض في النمذجة أن انتقال الحرارة يتم عبر ظروف أديباتيكية أي بدون تبادل حرارة أو متساوية الحرارة.
- ✚ عدد رينولدز المغناطيسي:

هو مؤشر يُعبر عن النسبة بين مصطلحي الحمل (Convection) و الانتشار (Diffusion) في سائل مغناطيسي، و يُعطى بالعلاقة [41]:

$$Rm = \mu_0 \cdot \sigma \cdot V \cdot L \quad (10.II)$$

حيث:

$\mu_0$  : النفاذية المغناطيسية للفراغ [ $\text{Kg.m.A}^{-1}.\text{s}^{-1}$ ].

$\Sigma$  : الناقلية الكهربائية [ $\text{S.m}^{-1}$ ].

$V$  : سرعة السائل [ $\text{m.s}^{-1}$ ].

$L$  : الطول المميز [ $\text{m}$ ].

## II-7-2 ال MHD المقاوم (Magnétohydrodynamique résistive)

يتميز نموذج ال MHD المقاوم بانخفاض عدد رينولدز المغناطيسي  $Rm$ ، مما يشير إلى أن السائل يتصرف كسائل ممغنط و ليس كموصل مثالي. ما يُطلق عليه عادة "المقاومية" في هذه الحالة ناتجة عن الاصطدامات بين مكونات البلازما، حيث يتم تحويل الطاقة المغناطيسية إلى حرارة [41]. و عندما لا يُمكن إهمال هذه المقاومة (أي عندما يكون عدد رينولدز صغيراً)، يصبح من الضروري إدراج التأثيرات المقاومة في النماذج و الدراسات الخاصة ب MHD . ❖ مقارنة بين الديناميكا المغناطيسية الهيدروليكية المثالية و المقاومة:

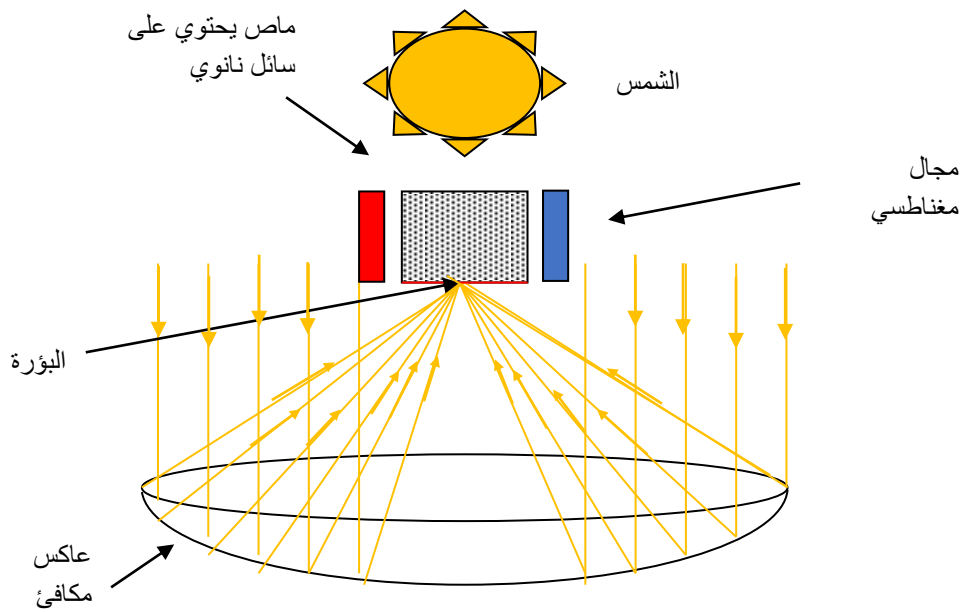
جانب المقارنة	MHD المثالي (Ideal MHD)	MHD المقاوم (Resistive) (MHD)
عدد رينولدز المغناطيسي $Rm$	مرتفع جداً $Rm \gg 1$	منخفض $Rm \ll 1$
المقاومة الكهربائية	معدومة أو مهملة (موصل مثالي)	موجودة (مقاومة ناتجة عن تصادم الجسيمات)
سلوك البلازما	تعمل كسائل موصل مثالي	تعمل كسائل مقاوم
فقدان الطاقة (الحرارة)	لا يوجد فقدان حراري	تتحول الطاقة المغناطيسية إلى حرارة
توزيع المجال المغناطيسي	منتظم و قوي	مشوه و ضعيف بفعل المقاومة
حفظ خطوط المجال المغناطيسي	خطوط المجال "مجمدة" في	خطوط المجال تنكسر و يُعاد

تشكيلها (إعادة الاتصال المغناطيسي)	البلازما	
حالات واقعية عند درجات حرارة أقل أو مقاومة ملحوظة	نجوم، الشمس، مفاعلات الاندماج (توكاماك)	البيئات النموذجية
نفس المعادلات مضافاً إليها مصطلحات مقاومة	معادلات مثالية بدون مصطلحات مقاومة	المعادلات المستخدمة

الجدول 02-II: يمثل مقارنة بين نوعي MHD المقاوم و المثالي في عدة جوانب.

## 8-II الهندسة الخاصة بالمشكلة

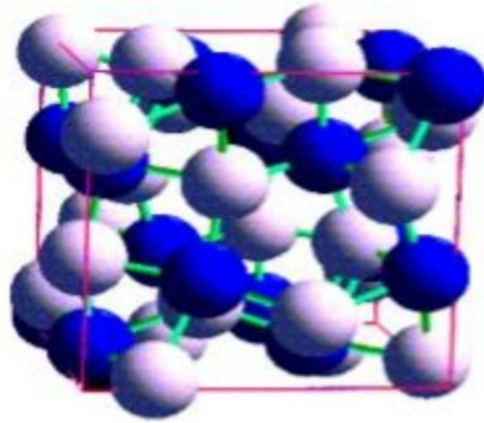
تمت هذه الدراسة بالاعتماد على نظام يتكون من ماص حراري مربع الشكل حيث  $L = 30 \text{ cm}$  و عمق ثابت  $1 \text{ cm}$  يحتوي على سائل نانوي من أكسيد الألمنيوم (ماء -  $Al_2O_3$ ) يتم تركيز أشعة الشمس حيث  $q = 50000 \text{ W/m}^2$  داخل هذا الماص باستخدام عاكس مكافئ يقوم بالتقاط الأشعة الساقطة عليه و تركيزها في نقطة بؤرية داخل الماص، كما تم تطبيق مجال مغناطيسي أفقي على السائل النانوي المستخدم داخل هذا الماص. و يهدف هذا النموذج إلى دراسة تأثير المجال المغناطيسي على توزيع الحرارة و سلوك الجريان داخل السائل النانوي.



الشكل 03-II: النموذج التجريبي للنظام المعتمد.

## 9-II عرض السائل النانوي المستخدم:

اخترنا في هذه الدراسة أكسيد الألمنيوم كجسيم نانوي مع الماء و الصيغة الكيميائية له هي ( ماء –  $Al_2O_3$  ). بالنسبة للمورفولوجيا فإن الشكل الكوراندوني هو الشكل الأكثر شيوعا للألومينا البلورية في المركز يكون الترتيب ثماني الأوجه، و تشكل أيونات الأكسجين ترتيبا سداسيا محكما من ناحية الشكل البلوري. و هذا ما يوضحه الشكل الموالي:



الشكل II-04: الشكل البلوري لمركب  $Al_2O_3$ .

تتميز الجسيمات النانوية ل  $Al_2O_3$  بمقاومتها العالية للتآكل، و لدرجات الحرارة، و للصدمات، و بصلابة عالية. كما أن السوائل المبنية على  $Al_2O_3$  تتميز بثبات جيد و سهولة التحضير. الخصائص الحرارية-الفيزيائية الخاصة بها موضحة في الجدول التالي و ذلك عند درجة حرارة  $30C^\circ$ .

الخصائص الفيزيائية	ماء نقي	$Al_2O_3$
$C_p(J.Kg^{-1}K^{-1})$	4179	765
$\rho(Kg.m^{-3})$	997.1	3970
$K(W.m^{-1}K^{-1})$	0.613	40
$\alpha \times 10^7(m^2s^{-1})$	1.47	131.7
$\beta(K^{-1})$	$21 \times 10^{-5}$	$0.85 \times 10^{-5}$
$\mu(Kg.m^{-1}s^{-1})$	0.001003	-

الجدول II-03: الخصائص الترمو فيزيائية لكل من الماء النقي (المائع الأساسي) و الجسيمات

النانوية  $Al_2O_3$ .

## II-9 الخصائص الترمو فيزيائية للسائل النانوي

تتغير الخصائص الترمو فيزيائية مثل الكتلة الحجمية، السعة الحرارية النوعية، التمدد الحراري، اللزوجة الديناميكية، التوصيلية الحرارية و غيرها..... عند إضافة الجسيمات النانوية فالمعاملات التي تميز هذه الجسيمات النانوية يمكن أن تؤثر بشكل ملحوظ على قيم الخصائص الترمو فيزيائية للسائل النانوي الناتج، مثل طبيعة الجسيمات النانوية، حجمها، الكسر الحجمي، توصيلية السائل الأساسي و توصيلية الجسيمات النانوية، درجة حرارة الوسط إلى غير ذلك.

و قد أجريت العديد من الدراسات النظرية و التجريبية خلال العقد الأخيرين بهدف فهم أفضل لخصائص السوائل النانوية، إلا أن هذا الفهم لا يزال غير كاف إلى حد الآن. إن الخصائص الفيزيائية للسائل النانوي تعتمد أساسا على السائل الأساسي (الذي يكون سائلا) و المادة الموزعة (الجسيمات النانوية) التي تكون في الحالة الصلبة، و بالتالي فإن تعريف هذه الخصائص يتطلب الرجوع إلى خصائص كل مكون من مكوناته (السائل الأساسي و الجسيم النانوي).

### II-9-1 الكسر الحجمي ( $\phi$ )

الكسر الحجمي هو الخاصية الأهم في السائل النانوي، لأن حساب باقي الخصائص يعتمد عليه، ويمكن تعريف الكسر الحجمي بأنه نسبة لا بعدية بين حجمين: حجم الجسيمات الصلبة (الجسيمات النانوية) إلى الحجم الكلي (الجسيمات النانوية + السائل الأساسي). تتراوح قيمة الكسر الحجمي بين 0 و 1 عندما يكون السائل الأساسي نقي.

ويُعطى الكسر الحجمي بالعلاقة التالية:

$$\phi = \frac{v_s}{v_s + v_f} \quad (11.II)$$

حيث:

$v_s$  : حجم الجسيمات النانوية الصلبة [ $m^3$ ].

$v_f$  : حجم السائل الأساسي [ $m^3$ ].

### II-9-2 الكتلة الحجمية

يتم تحديد الكتلة الحجمية لسائل نانوي متجانس تماما (أي أن الجسيمات النانوية موزعة بشكل جيد داخل السائل) بدلالة الكسر الحجمي وعند درجة حرارة معينة، انطلاقا من تعريف الكتلة الحجمية لخليط. في حالة الخليط، تُعطى الكتلة الحجمية بالعلاقة التالية:

$$\rho_{nf} = \left[ \frac{m}{v} \right]_{nf} = \frac{m_f + m_s}{v_f + v_s} = \frac{\rho_f v_f + \rho_s v_s}{v_f + v_s} \quad (12.II)$$

انطلاقا من العلاقة السابقة نحصل على السائل النانوي كما يلي:

$$\rho_{nf} = (1-\phi)\rho_f + \phi\rho_s \quad (13.II)$$

حيث:

$\rho_{nf}$  : الكتلة الحجمية للسائل النانوي.

$\rho_f$  : الكتلة الحجمية للسائل الأساسي.

$\rho_s$  : الكتلة الحجمية للجسيمات النانوية.

### II-9-3 التوصيلية الحرارية

تُعد التوصيلية الحرارية خاصية مهمة جداً خصوصاً في دراستنا، لأنها تلعب دوراً كبيراً في ظاهرة انتقال الحرارة، و يمكن أن تشير بوضوح إلى كفاءة انتقال الحرارة سواءً في السائل أو في المادة الصلبة. و تعتمد التوصيلية على درجة الحرارة.

بالإضافة إلى تغيرها مع درجة الحرارة، فإن التوصيلية الحرارية للسائل النانوي تختلف أيضاً باختلاف الكسر الحجمي. و يتم حساب التوصيلية الحرارية للسائل النانوي حسب نموذج ماكسويل ( Maxwell ) (1873).

قدم ماكسويل نموده لحساب التوصيلية الحرارية لسائل نانوي بدلالة الكسر الحجمي، لكن هذا النموذج صالح فقط في حالة السوائل النانوية التي تحتوي على جسيمات نانوية كروية الشكل، و هو ما يُعتبر نقطة سلبية في هذا النموذج، لذا لا يمكن استخدامه إلا في حالة الجسيمات الكروية فقط.

يُعطى نموذج ماكسويل (1873) بالعلاقة التالية:

$$k_{nf} = k_f \frac{k_s + 2k_s + 2\phi(k_s - k_f)}{k_s + 2k_s - \phi(k_s - k_f)} \quad (14.II)$$

حيث:

$k_{nf}$  : التوصيلية الحرارية للسائل النانوي.

$k_f$  : التوصيلية الحرارية للسائل الأساسي.

$k_s$  : التوصيلية الحرارية للجسيمات الصلبة.

### II-9-4 الزوجة الديناميكية

اعتمدت أغلب الدراسات التي تناولت لزوجة السوائل النانوية على حسابها انطلاقاً من لزوجة السائل الأساسي و الكسر الحجمي  $\phi$ ، و ذلك باستخدام علاقات ستوك-أينشتاين (stokes-Einstein) أو

برينكمان (Brinkman). تم وضع هذه العلاقات في إطار محدد يشمل: جسيمات معدنية كروية الشكل، ذات تركيز منخفض، موزعة بشكل مثالي داخل السائل، و بدون تفاعل بين الجسيمات.

اللزوجة النسبية هي النسبة بين لزوجة السائل النانوي على لزوجة السائل الأساسي:

$$\frac{\mu_{nf}}{\mu_f}$$

يوجد العديد من النماذج لحساب اللزوجة الديناميكية لسائل نانوي، و تهتم هذه الدراسة بنموذج برينكمان (Brinkman 1952) [42] ، الذي قام بتوسيع صيغة أينشتاين لتغطي مجالاً أوسع من التراكيز الحجمية.

$$M_{nf} = \frac{\mu_f}{(1-\phi)^{2.5}} \quad (15.II)$$

عند الكسور الحجمية المنخفضة، تعطي علاقة برينكمان نفس نتائج علاقة أينشتاين. لكن هذه العلاقات لا تأخذ في الاعتبار تأثير الحركة البراونية و لا تأثير حجم الجسيمات.

## II-9-5 السعة الحرارية النوعية $C_p$

السعة الحرارية النوعية هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة وحدة الكتلة من مادة أو نظام متجانس بمقدار درجة واحدة كلفن:

$$C_p = \frac{dQ}{mdT}$$

تمثل السعة الحرارية النوعية كمية الحرارة الضرورية لرفع درجة حرارة وحدة من المادة بدرجة واحدة خلال التحول المدروس.

و لحساب السعة الحرارية النوعية لسائل نانوي، نستخدم علاقة نموذج Xuan و Roetzel [43]:

$$(\rho C_p)_{nf} = (1-\phi)(\rho C_p)_f + \phi(\rho C_p)_s \quad (16.II)$$

حيث:

$(C_p)_{nf}$  : السعة الحرارية النوعية للسائل النانوي.

$(C_p)_f$  : السعة الحرارية النوعية للسائل الأساسي.

$(C_p)_s$  : السعة الحرارية النوعية للجسيمات النانوية.

## II-9-6 معامل التمدد الحراري

يُعبّر عن تغيير الكتلة الحجمية تحت تأثير درجة الحرارة بواسطة معامل التمدد الحراري، و يُعرف أيضا باسم معامل القابلية للتمدد، و يُعطى بالعلاقة:

$$\beta_T = -\frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \quad (17.II)$$

لحساب قيمة هذا المعامل في السوائل النانوية، استخدم العديد من الباحثين بعد الأعمال الأولى حول هذه السوائل تشبيها بالعلاقة، أي نفس منهجية المزج بين خواص السائل الأساسي و الجسيمات النانوية. فنستنتج التعبير التالي:

$$(\rho\beta)_{nf} = (1-\phi)(\rho\beta)_f + \phi(\rho\beta)_s \quad (18.II)$$

حيث:

$(\beta)_{nf}$  : معامل التمدد الحراري للسائل النانوي.

$(\beta)_f$  : معامل التمدد الحراري للسائل الأساسي.

$(\beta)_s$  : معامل التمدد الحراري للجسيمات النانوية.

### II-9-7 الانتشارية الحرارية:

هي خاصية فيزيائية تمثل قدرة المادة على نقل الحرارة عبرها نسبة إلى قدرتها على تخزين هذه الحرارة، و تُعرف الانتشارية الحرارية بالعلاقة الموالية:

$$\alpha_{nf} = \frac{k_{nf}}{(\rho C_p)_{nf}} \quad (19.II)$$

حيث:

$\alpha$  : الانتشارية الحرارية  $[m^2/s]$ .

K : التوصيلية الحرارية.

$\rho$  : الكتلة الحجمية.

$C_p$  : السعة الحرارية النوعية عند ضغط ثابت.

كلما كانت الانتشارية الحرارية كبيرة، كانت المادة قادرة على توصيل الحرارة بسرعة أكبر مقارنة بقدرتها على تخزينها.

### II-9-8 التوصيلية الكهربائية للسائل النانوي

تشير التوصيلية الكهربائية للسائل النانوي إلى قدرة هذا الأخير على نقل التيار الكهربائي، و هي تتأثر بشكل كبير بإضافة الجسيمات النانوية للسائل الأساسي. فعند إضافة جسيمات نانوية موصلة (مثل المعادن أو الأكاسيد المعدنية) تزداد التوصيلية الكهربائية مقارنة بالسائل الأساسي النقي.

تعتمد التوصيلية الكهربائية على عدة عوامل من بينها [44]:

- نوع الجسيمات النانوية (موصلة أم لا).
- تركيز الجسيمات (الكسر الحجمي  $\phi$ ).
- توزيع الجسيمات داخل السائل.
- درجة الحرارة.
- نوع السائل الأساسي.

و تُعطى بالعلاقة التالية:

$$\sigma_{nf} = \sigma_f \left( 1 + \frac{3(\zeta-1)\phi}{(\zeta+2)-(\zeta-1)\phi} \right) \quad (20.II)$$

حيث:

$$\zeta = \frac{\sigma_s}{\sigma_f}$$

و بشكل عام، كلما زادت نسبة الجسيمات النانوية الموصلة في السائل، زادت التوصيلية الكهربائية للنانو-السائل.

## 10-II المعادلات الحاكمة:

المعادلات التي تُنظم الجريان هي معادلة الاستمرارية ومعادلات نافير-ستوكس (Navier-stokes)، و التي تعبر عن التوالي عن مبدأ حفظ الكتلة و حفظ كمية الحركة.

### 1-10-II معادلة الاستمرارية:

عند اعتبار فرضية أن السائل غير قابل للانضغاط، فإن مبدأ حفظ الكتلة يؤدي إلى معادلة الاستمرارية.

بالنسبة لجريان ثلاثي الأبعاد لسائل غير قابل للانضغاط، فإن معادلة الاستمرارية تُختزل إلى الشكل التالي:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (21.II)$$

II-10-2 معادلة كمية الحركة:

يؤدي تطبيق مبدأ حفظ كمية الحركة إلى المعادلات التي تحكم حركة السائل و ذلك في حالة جريان ثلاثي الابعاد و ثابت (stationnaire):

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \mu_i \mu_j) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (\mu + \mu_t) \left( \frac{\partial \mu_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \mu_j}{\partial x_i} \right) \right] + g_i \rho (T - T_0) \quad (22.II)$$

حيث:

$\rho$  : الكتلة الحجمية للسائل.

$M_i$  : مركبات السرعة.

$P$  : الضغط.

$\mu$  : اللزوجة الديناميكية

$g_i$  : مركبات التسارع الثقالي.

$\beta$  : معامل التمدد الحراري.

$T$  : درجة الحرارة.

$T_0$  : درجة حرارة مرجعية.

II-10-3 معادلة الطاقة:

تُستنتج معادلة حفظ الطاقة من المبدأ الأول للديناميكا الحرارية، الذي يربط بين مختلف أشكال الطاقة. و يُكتب الشكل العام لمعادلة الطاقة كما يلي:

$$\frac{D}{Dt}(\rho C_p T) = \nabla \cdot K \nabla T + \beta T \frac{Dp}{DT} + \rho \phi \quad (23.II)$$

حيث:

$\frac{D}{Dt}(\rho C_p T)$  : التغير الكلي في الطاقة (بسبب التخزين و النقا بالحمل).

$\Delta(KT)$  : التغير في الطاقة الناتج عن التوصيل الحراري.

$\beta T \frac{Dp}{DT}$  : التغير في الطاقة بسبب قابلية الانضغاط.

$\rho \phi$  : الضياع غير القابل للعكس الناتج عن الاحتكاك اللزج.

بالنسبة لجريان ثنائي الأبعاد (2D) و ثابت، فإن معادلة الطاقة تُكتب على الشكل:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_j T) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (\rho \alpha + \frac{\mu_t}{Pr_t}) \frac{\partial T}{\partial x_j} \right] - \frac{\partial q_r}{\partial x_j} \quad (24.II)$$

## 11-II نموذج الاضطراب (نموذج k-ε القياسي)

يُعد نموذج k-ε و فروعه من النماذج المعتمدة بشكل واسع اليوم في معظم برمجيات المحاكاة، كما أن استعماله سهل و مألوف. استخدم منذ سنوات طويلة لما يوفره من اقتصادية، صلابة، و سعة تطبيق [45].

و مع ذلك، فهو يُنتقد في العديد من الحالات، مثل:

- الجريانات ذات القص العالي.
- مناطق الدوران العكسي (recirculation).
- التبادل الحراري.

في هذه الحالات، يُبالغ النموذج في تقدير الطاقة الحركية الاضطرابية.

1. معادلة الطاقة الحركية الاضطرابية (K):

يتم الحصول على معادلة الطاقة الحركية الاضطرابية بعد إجراء المتوسط على طريقة Favre، بنفس الطريقة المستخدمة في الجريان غير القابل للانضغاط (Fluent, 2003):

$$\frac{\partial \bar{\rho} K}{\partial t} + \frac{\partial \bar{\rho} u_j k}{\partial x_j} = D_k + G_k + G_b + Y_M - \bar{\rho} \varepsilon \quad (25.II)$$

حيث:

$D_k$ : الانتشار الاضطرابي للطاقة الحركية.

$G_k$ : إنتاج الطاقة الحركية الاضطرابية الناتج عن نقص السرعة.

$G_b$ : التفاعل بين السرعة و الضغط المتوسط.

$Y_M$ : تأثير الضغط المتقلب.

$\bar{\rho} \varepsilon$ : ضياع الطاقة الاضطرابية.

2. معادلة معدا الضياع (ε):

معادلة معدل الضياع للطاقة الحركية لها الشكل:

$$\frac{\partial \bar{\rho} \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial \bar{\rho} u_j \varepsilon}{\partial x_j} = F \quad (26.II)$$

حيث يحتوي F على أكثر من 20 حداً.

3. إغلاق المعادلات: فرضية بوسينسك

يتم دائماً اعتماد فرضية بوسينسك لإغلاق معادلة k، و يأخذ موتر رينولدز الشكل التالي:

$$R_{ij} = u_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \right) - \frac{2}{3} \bar{\rho} k \delta_{ij} \quad (27.II)$$

4. اللزوجة الاضطرابية:

$$\mu_t = C_\mu \bar{\rho} \frac{K^2}{\varepsilon} \quad (28.II)$$

5. الانتشار:

$$D_k = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) \quad (29.II)$$

6. تمثيل ضغط الاضطراب:

$$G_b + Y_\varepsilon = \frac{C_k \bar{\rho}}{\bar{p}} (u_i R_{ij} u_j) \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \quad (30.II)$$

7. الصيغة النهائية لمعادلة k:

$$\frac{\partial \bar{\rho} k}{\partial t} + \frac{\partial \bar{\rho} u_j k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + G_k - \bar{\rho} \varepsilon + \frac{C_k \bar{\rho}}{\bar{p}} (u_i R_{ij} u_j) \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \quad (31.II)$$

■ الحد الأخير في المعادلة يأخذ تأثيرات الانضغاطية بعين الاعتبار، حيث يكون معدوماً في حالة الجريان غير القابل للانضغاط (بسبب كون التباعد السري صفر)، لكنه يمثل مشكلة لأنه يعتمد على السرعة المتوسطة، و بالتالي فهو غير متحول غاليليا.

■ في بعض الإصدارات نموذج K- $\mu$  الخاصة بالجريان القابل للانضغاط، يُدمج هـ الحد مع حد الضياع باستخدام عدد ماخ اضطرابي (مبني على k) لاسترجاع التحويل الغاليلي (Estivale) (es,2005).

8. معادلة الضياع:

$$\frac{\partial \bar{\rho} \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial \bar{\rho} u_j \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} G_k - C_{\varepsilon 2} \bar{\rho} \frac{\varepsilon^2}{k} + C_{\varepsilon 3} \frac{\varepsilon}{k} \frac{C_k \bar{\rho}}{\bar{p}} (u_i R_{ij} u_j) \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \quad (32.II)$$

➤ قيم الثوابت الخاصة بنموذج K-ε القابل للانضغاط تلخص في الجدول الموالي:

$C_\mu$	$\sigma_k$	$\sigma_\varepsilon$	$C_{\varepsilon 1}$	$C_{\varepsilon 2}$	$C_{\varepsilon 3}$	$C_k$
0.09	1.0	1.3	1.45	1.92	2.0	1.0

الجدول 04-II: يمثل قيم الثوابت الخاصة بنموذج K-ε القابل للانضغاط.

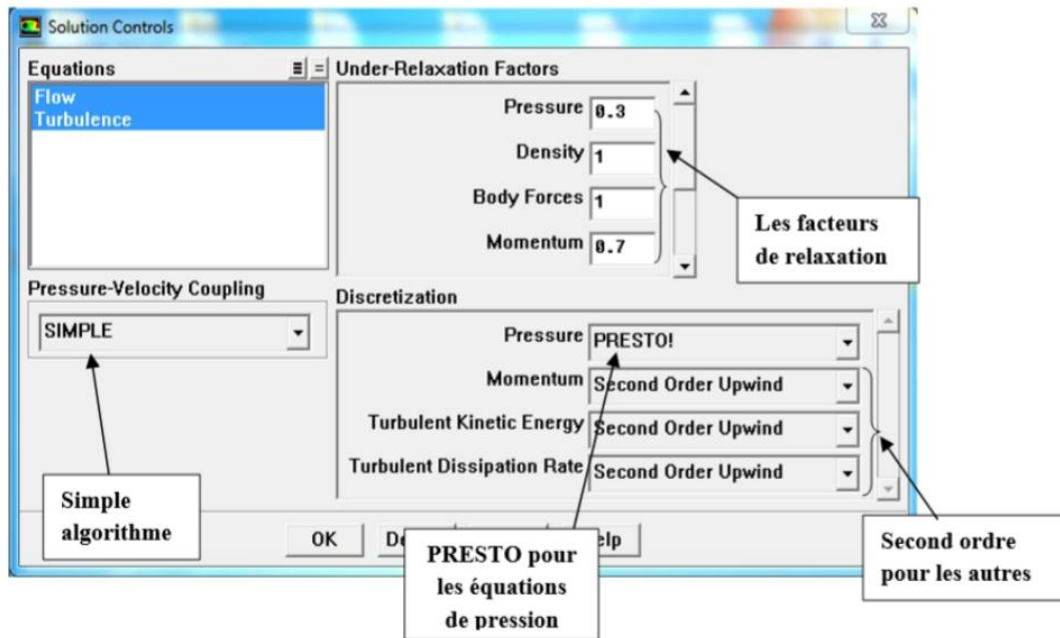
## 12-II الحل العددي

تم تنفيذ الحل العددي للمعادلات على نموذج ثلاثي الأبعاد باستخدام طريقة الحجم المنتهية، و ذلك باستعمال برنامج Gambit 6.3.26، حيث تكونت الشبكة من كتل تحتوي على 2,000,000 خلية، و ذلك لتكوين الشكل الهندسي المدروس.

تم حل المشكلة باستخدام محلل يعتمد على الضغط (pressure-based solver).

تم تفكيك معادلة الضغط باستعمال المخطط PRESTO أما باقي المعادلات فتم تفكيكها باستعمال مخطط من الرتبة الثانية (second-order scheme).

تُعتبر الحلول متقاربة (converged) عندما يكون باقي المعادلات الجبرية (residual) أقل من:  $10^{-6}$ .



الشكل 05-II: عوامل الاسترخاء الجزئي و أنواع التقطيع (التفريق) المستخدمة.

## 13-II خاتمة

تم التطرق في هذا الفصل إلى المعادلات الأساسية التي تحكم انتقال الحرارة و الجريان في السائل النانوي، والمتمثلة في معادلات الاستمرارية، كمية الحركة و الطاقة. كما تم عرض الخصائص الترمو فيزيائية للسائل النانوي، مثل الكثافة الحرارية النوعية، الموصلية الحرارية، و معامل التمدد الحجمي، مع الأخذ بعين الاعتبار تأثير تركيز الجسيمات النانوية. تم الاعتماد على نماذج عددية دقيقة لحساب هذه الخصائص باستخدام علاقات تقريبية موثوقة. بالإضافة إلى ذلك، وضحنا أهمية الأعداد اللابعديّة مثل عدد رينولدز، عدد غراشوف و عدد هارتمان في توصيف سلوك السائل النانوي تحت تأثير المجال المغناطيسي، و منه فإن هذه الدراسة توضح مدى ترابط الخصائص الترمو فيزيائية بالمعادلات الحاكمة و تأثيرها المباشر على أداء النظام الحراري.

الفصل الثالث:

نتائج المحاكاة

ومناقشتها

**1-III مقدمة**

يتناول هذا الفصل دراسة عددية تهدف إلى تحليل أداء نظام حراري يعتمد على سائل نانوي ألي و هو تم تقديمه في الفصل السابق.

تمت المحاكاة باستخدام برنامج Fluent و تمت الاستعانة كذلك ببرنامج Gambit، حيث تم في البداية تحليل سلوك السائل النانوي في غياب المجال المغناطيسي، ثم دراسة تأثير تطبيق هذا المجال على كل من الجريان و توزيع الحرارة.

كما يشمل هذا الفصل عرضا مفصلا لنتائج المحاكاة، من خلال تمثيل خطوط الجريان، توزيع درجات الحرارة و عدد نوسلت، مع مقارنة شاملة بنت الحالتين بهدف تقييم تأثير المجال المغناطيسي على تحسين انتقال الحرارة داخل النظام.

**2-III تعريف الديناميكا الحسابية للموائع (CFD Computational Fluid Dynamics)**

هي فرع من ميكانيكا الموائع يستخدم الطرق العددية و الخوارزميات الحاسوبية لحل و تحليل المشاكل المتعلقة بجريان الموائع و انتقال الحرارة، و أحيانا النقل الكتلي أيضا.

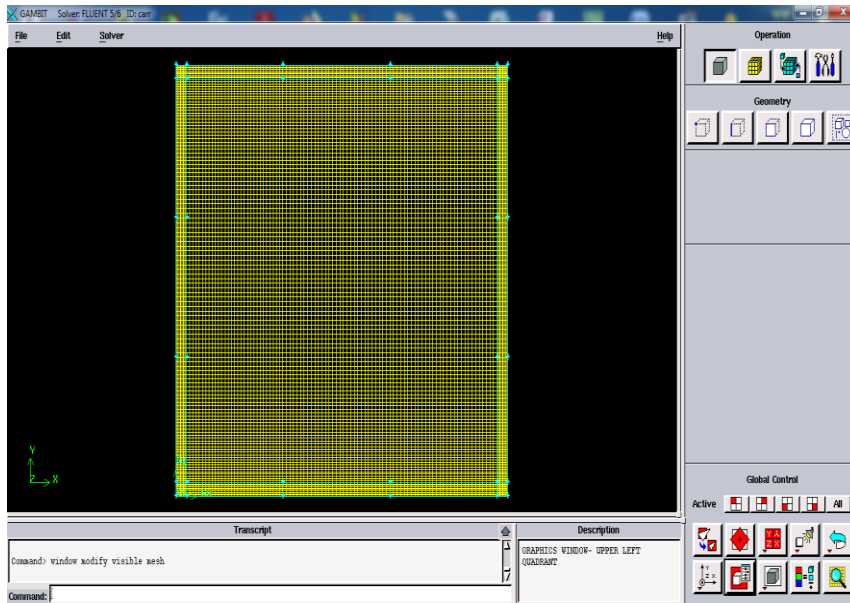
يتم ذلك من خلال حل المعادلات التفاضلية الجزئية (PDE) التي تمثل القوانين الأساسية:

- قانون حفظ الكتلة (معادلة الاستمرارية).
- قانون حفظ الزخم (معادلات نافير-ستوكس).
- قانون حفظ الطاقة.

تستخدم برامج متخصصة مثل: ANSYS FLUENT، STAR-CCM، COMSOL، OPENFOAM+ لتطبيق تقنيات CFD.

**3-III تعريف برنامجي Gambit و Fluent****❖ برنامج Gambit:**

هو برنامج خاص بإنشاء و هندسة الشبكة (maillage) يُستخدم لتحضير النماذج الهندسية قبل المعالجة العددية في البرمجيات الأخرى مثل Fluent. يسمح Gambit ببناء الأشكال الهندسية ثنائية و ثلاثية الأبعاد، و توليد الشبكة العددية عليها، و تحديد الحدود الفيزيائية (conditions aux limites) [48].



الشكل III-01: إنشاء الشكل الهندسي ببرنامج Gambit (100X100).

### ❖ برنامج FLUENT:

هو برنامج لحل المعادلات التفاضلية الجزئية (PDE) باستخدام طريقة الحجم المحدود (Finite Volume Method)، يُستخدم على نطاق واسع في ميكانيكا الموائع الحسابية (CFD) لتحليل سلوك الجريان، انتقال الحرارة، التفاعل بين الموائع، و العديد من التطبيقات الصناعية [49].

### III-4 الخصائص الترمو فيزيائية للسائل النانوي المستخدم (ماء- $Al_2O_3$ )

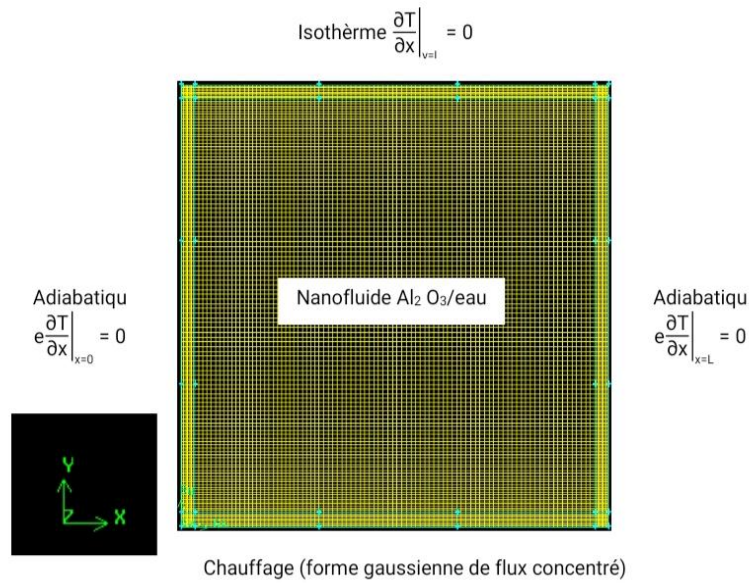
$\phi$	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$C_p$ (J/kg·K)	$\mu$ (mPa·s)	$k$ (W/m·K)	$\beta$ (1/K)
0.00	995.7	4178	0.797	0.613	$2.34 \times 10^{-4}$
0.02	1061.1	4014	0.837	0.630	$2.30 \times 10^{-4}$
0.04	1126.5	3860	0.869	0.648	$2.27 \times 10^{-4}$
0.06	1191.9	3716	0.897	0.665	$2.23 \times 10^{-4}$
0.08	1257.3	3580	0.917	0.682	$2.20 \times 10^{-4}$
0.10	1322.7	3453	0.937	0.699	$2.16 \times 10^{-4}$

الجدول III-01: الخصائص الفيزيائية للسائل النانوي المستخدم (ماء-  $Al_2O_3$ ).

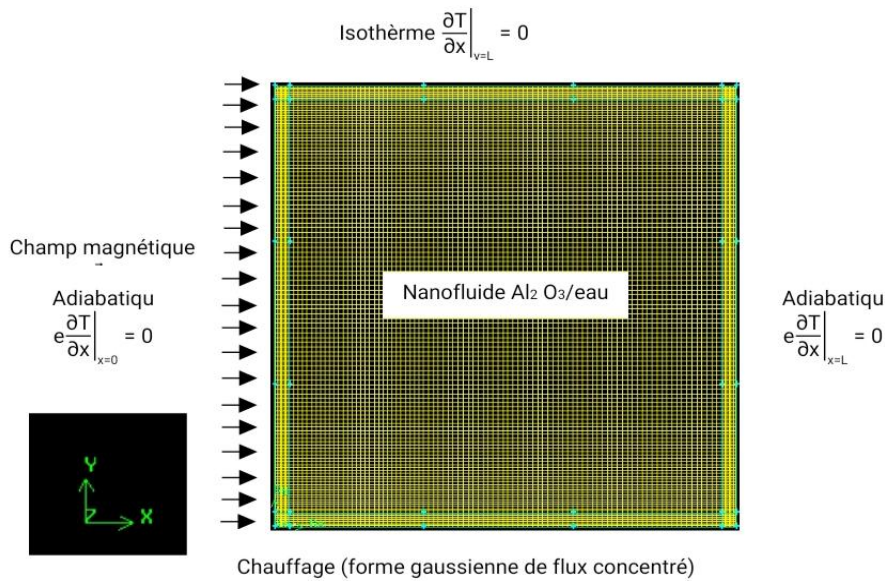
### III-5 الشروط الحدية

في هذه الدراسة نحن نعالج حالة تجويف مربع الشكل ذو عمق ثابت مملوء بسائل نانوي (ماء-  $Al_2O_3$ ) بتركيز من 1% إلى 10%، بفرض أن كل من الجدار على اليمين و اليسار و كذلك الجدار العلوي هي جدران إيزوتارمية و تحافظ على درجة حرارة ثابتة تساوي  $25^\circ C$  أي 298K، و يتم تطبيق مجال مغناطيسي أفقي أي على المحور x انطلاقا من الجهة السفلية من 0T إلى 5T.

كما تحدد قيمة الإشعاع المركزي ب  $q=50000W.m^{-2}$ ، بينما قيمة الكسر الحجمي  $\phi$  متغيرة من 1% إلى 10%.



الشكل III-02: الشروط الحدية قبل تطبيق مجال مغناطيسي B.

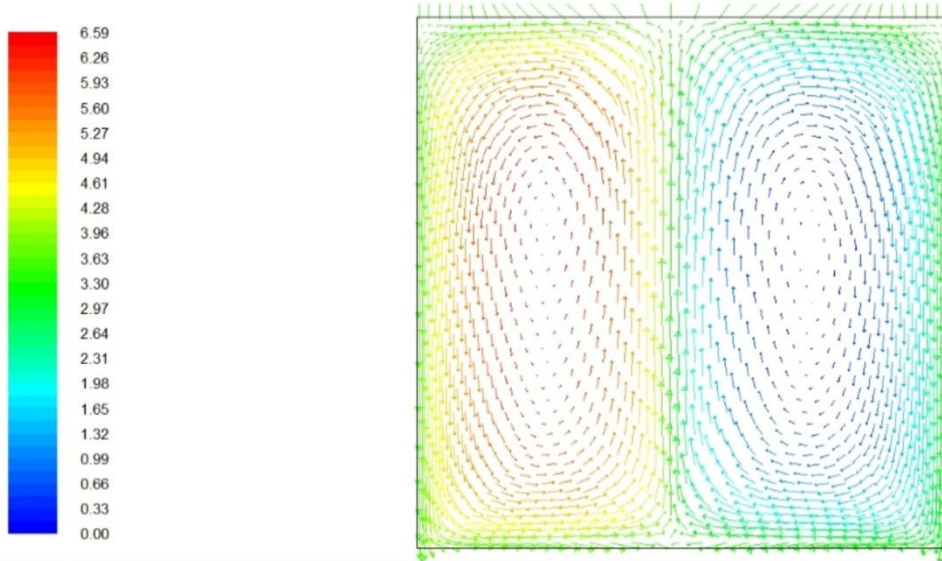


الشكل III-03: الشروط الحدية بعد تطبيق مجال مغناطيسي B.

## 6-III تحليل النتائج المتحصل عليها قبل تطبيق مجال مغناطيسي (B=0 Tesla)

## 1-6-III متجهات السرعة Velocity Vectors Colored by Stream Function

توضح متجهات السرعة الملونة بدالة الجريان وجود نمط حمل حراري طبيعي ثنائي الخلايا، ناتج عن الفروق في درجة الحرارة داخل التجويف. يلاحظ تركيز الجريان قرب الجدران بفعل الطفو الناتج عن تسخين الجدار السفلي، في حين تقل السرعة في المركز بسبب التوازن الديناميكي بين القوى.



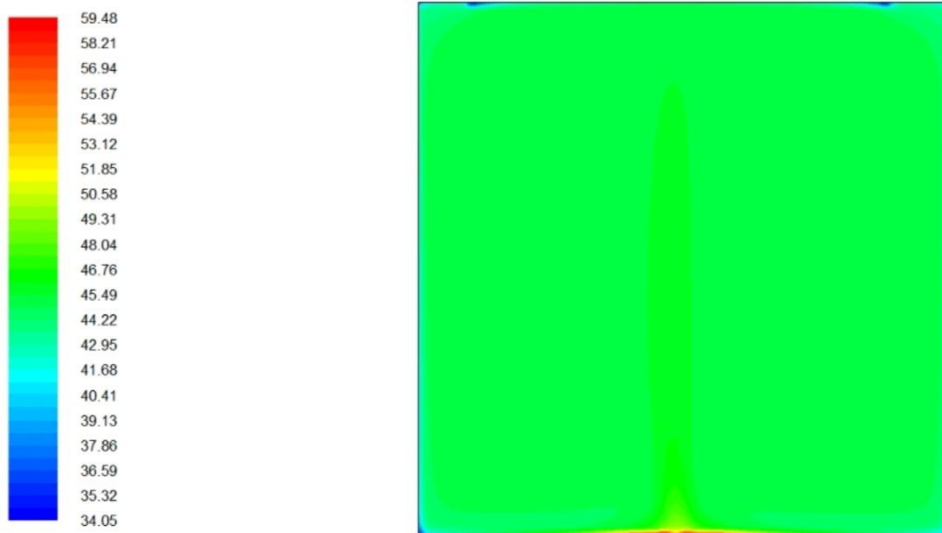
الشكل III-04: متجهات السرعة ملونة بدالة التيار (Kg/s) قبل تطبيق مجال مغناطيسي.

✓ التحليل:

- تظهر الصورة نمط جريان دائري circulatory flow داخل التجويف، مما يشير إلى convection naturelle (حمل حراري طبيعي).
- وجود دائرتين متماثلتين عكس بعض يشير إلى أن الحرارة تخلق فرق في الكثافة، يؤدي إلى تدوير السائل بشكل متناظر.
- اللون يعبر عن دالة الجريان stream function و هي مؤشر غير مباشر على كمية الجريان.
- أعلى القيم (أحمر-أصفر) تلاحظ على جوانب التجويف، مما يدل على أن السرعة القصوى تحدث قرب الجدران الساخنة و الباردة نتيجة تغير الكثافة.
- بالنسبة للوسط فيه سرعة منخفضة و هذا منطقي لأن التوازن الحراري يكون أكثر قرب من المركز.

## 2-6-III توزيع درجة الحرارة Contours Of Total Temperature

يبين توزيع درجة الحرارة تمركز الحرارة في الجزء السفلي للتجويف حيث يقع الجدار المسخن، مع انتقال تدريجي للحرارة نحو الأعلى. يشير الشكل إلى عملية حمل حراري طبيعي منتظم، تتأثر فيه حركة النانوفلويد بفعل فروقات الكثافة بينما يظهر التماثل الأفقي أن التأثيرات الجانبية لا تزال متوازنة في غياب المجال المغناطيسي.



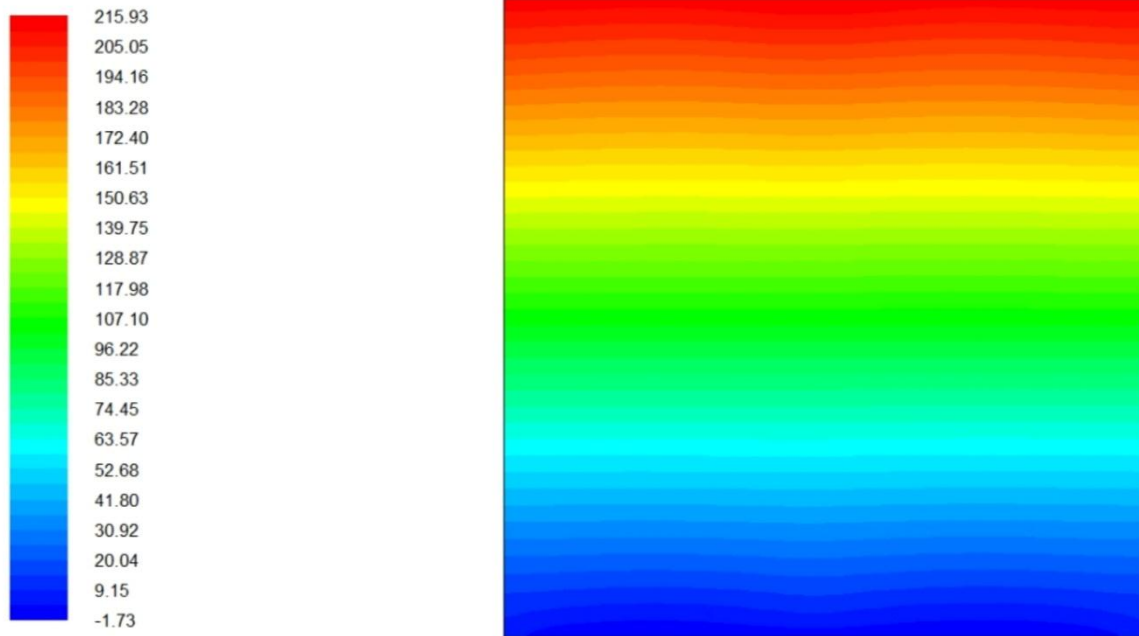
الشكل III-05: خطوط مستوى درجة الحرارة الكلية ( $C^{\circ}$ ) قبل تطبيق مجال مغناطيسي.

✓ التحليل:

- الصورة تمثل توزيع درجة الحرارة داخل الحيز.
- نشاهد منطقة ساخنة بلون أحمر في الأسفل، مما يشير إلى الجدار الساخن.
- الصعود التدريجي للون الأحمر إلى الأخضر ثم الأزرق يدل على انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي من الأسفل إلى الأعلى.
- توزيع الحرارة شبه متماثل، ما يعكس أن الجريان لم يتأثر بعد بعوامل خارجية مثل المجال المغناطيسي.
- درجات الحرارة العليا تبقى محصورة أسفل الوسط، مما يشير إلى ضعف نسبي في انتقال الحرارة عموديا مقارنة بما قد يحدث بعد تطبيق مجال مغناطيسي.

### III-6-3 توزيع الضغط الساكن Contours Of Static Pressure

يبين توزيع الضغط الساكن انخفاضا تدريجيا من الاسفل إلى الأعلى داخل التجويف، مما يعكس تأثير الجاذبية على الجريان الداخلي. هذا التدرج هو القوة الدافعة لحركة النانوفلويده بالحمل الطبيعي، و يتوافق تماما مع ما يتوقع في أنظمة نقل الحرارة دون تأثيرات خارجية كالمجال المغناطيسي.



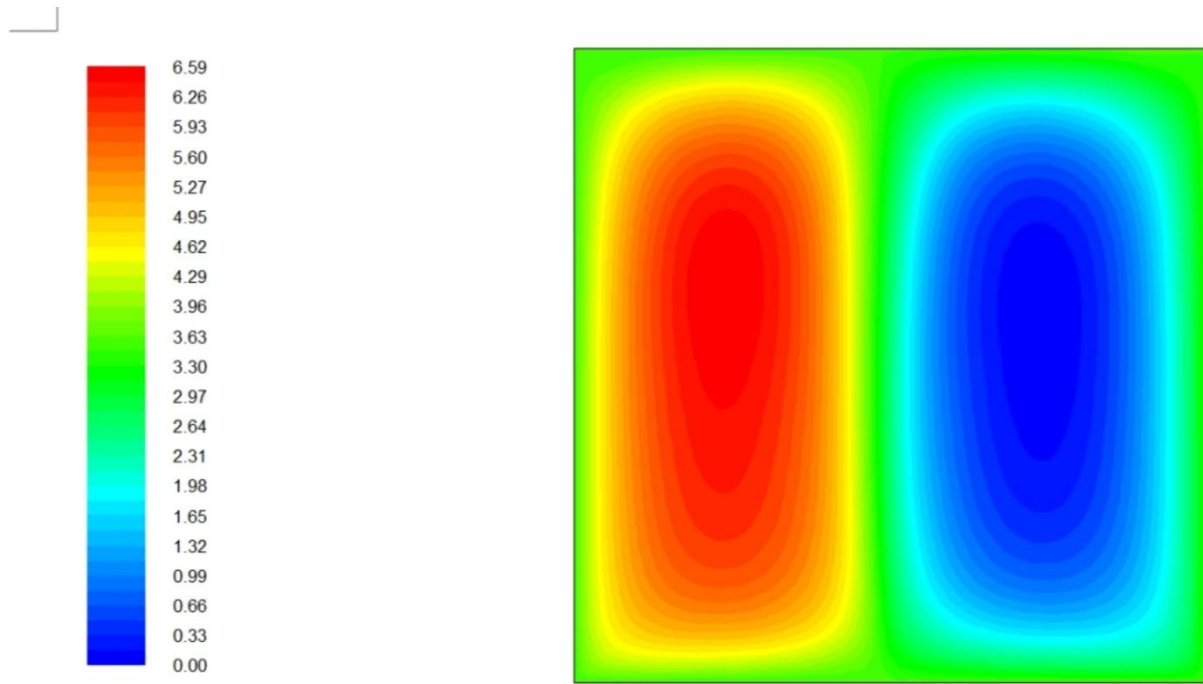
الشكل III-06: خطوط مستوى للضغط الثابت (Pa) قبل تطبيق مجال مغناطيسي.

✓ التحليل:

- التدرج في الألوان من أحمر (ضغط عالي) إلى أزرق (ضغط منخفض) يمثل تغير الضغط الساكن عموديا.
- تغير الضغط هو الدافع الأساسي لحركة السائل في نظام الحمل الطبيعي، إذ تتحرك الجزيئات من مناطق الضغط المرتفع على المنخفض.

### III-6-4 دالة الجريان Contours Of Stream Function

تبرز دالة الجريان تمرکز حركي مميز في شكل خليتين متناظرتين داخل الحيز، مما يعكس استجابة السائل النانوي (ماء-  $Al_2O_3$ ) للفرق الحراري بين الجدران في غياب تأثير المجال المغناطيسي. توضح هذه النتيجة قدرة السائل على تنظيم ذاته عبر دوران داخلي مستقر يعزز من النقل الحراري بالحمل الطبيعي.



الشكل III-07: خطوط مستوى دالة الجريان (Kg/s) قبل تطبيق مجال مغناطيسي.

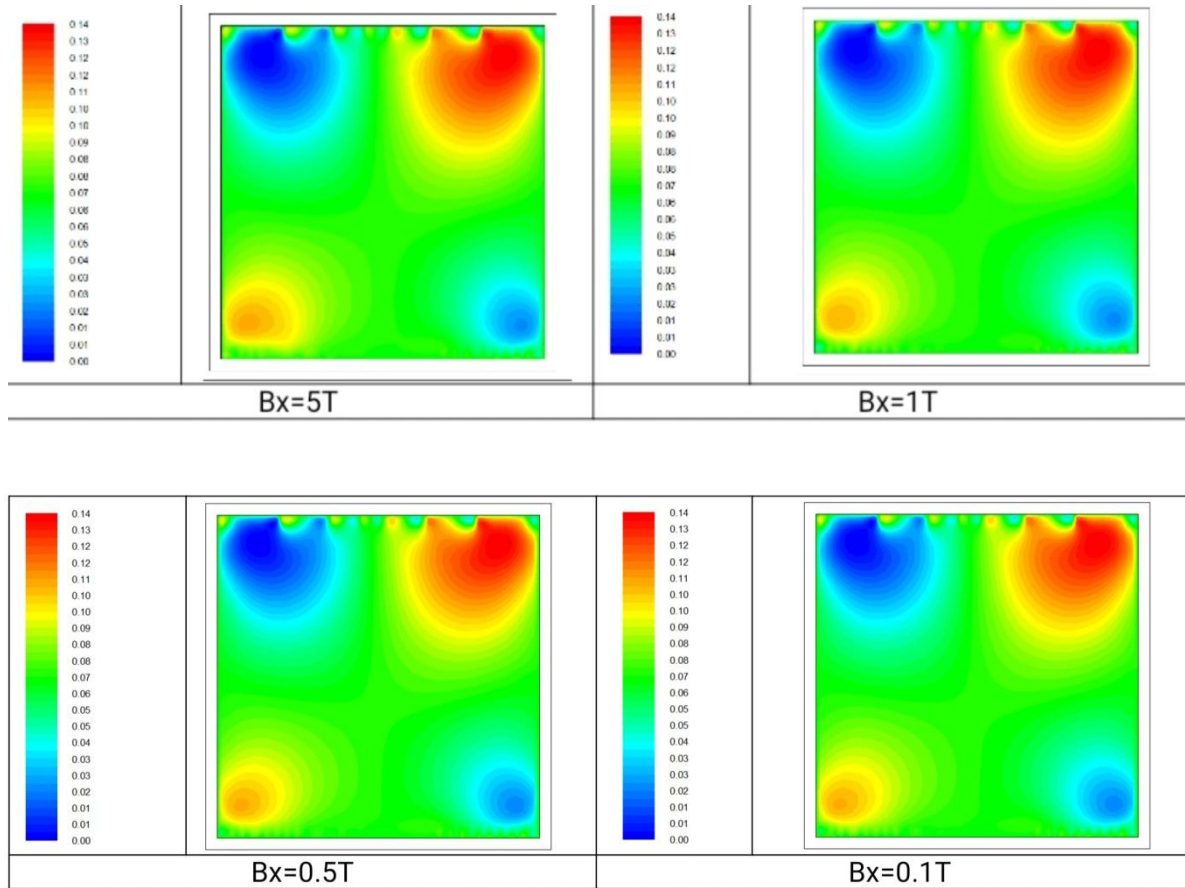
✓ التحليل:

- المنطقة الحمراء تمثل ذروة التدفق في اتجاه الدوران بينما الزرقاء تمثل الاتجاه المعاكس.
- هذه الصورة تؤكد ان الجريان من النوع ثنائي الخلية double-cell flow ناتج عن الحمل الطبيعي دون تأثيرات خارجية.

### III-7 تحليل النتائج المتحصل عليها بعد تطبيق مجال مغناطيسي (B=0-5 Tesla)

#### III-7-1 توزيع دالة الجريان Stream Function Contours

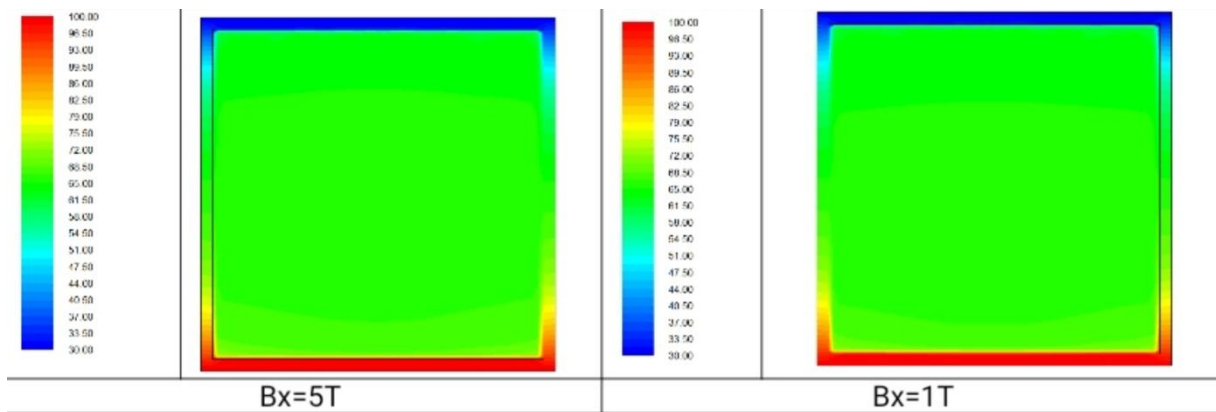
تظهر خلايا دوران واضحة، مع تغير بسيط في الحجم و الشكل بين الحالتين، تصبح الخلايا عند اقصى حد 5 Tesla اقل حدة و أكثر انتشارا، مما يشير إلى أن المجال المغناطيسي بدأ يبطئ الجريان بسبب قوة لورنتز، و هذا بسبب ارتفاع المجال المغناطيسي فتزداد معه حركة الجسيمات المشحونة مما يؤدي على تراجع سرعة التدوير الداخلي للجريان.

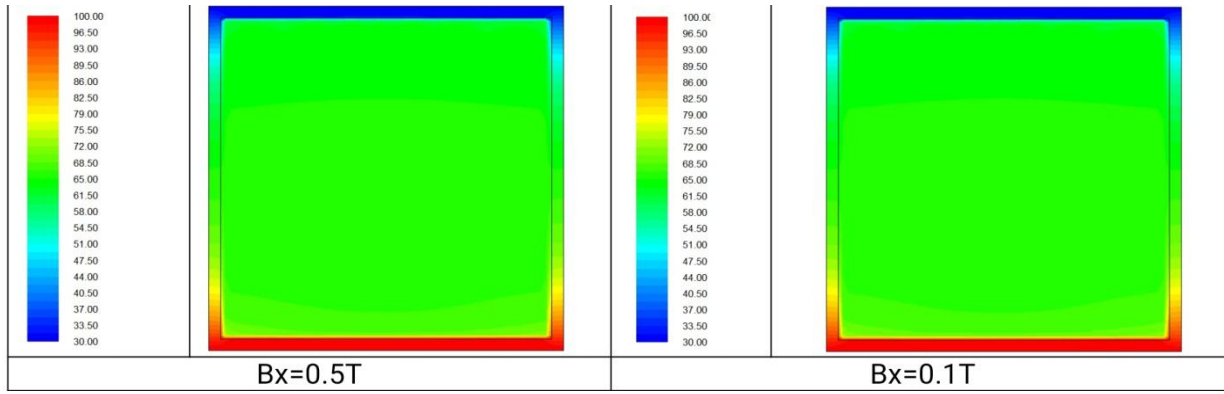


الشكل III-08: توزيع دالة الجريان (Kg/s) بعد تطبيق مجال مغناطيسي.

### III-7-2 توزيع درجة الحرارة temperature Contours

نلاحظ ان التوزيع الحراري يتأثر بالمجال المغناطيسي أي في حالة 5T يظهر تدرج حراري أكثر نعومة و أفقية مما يشير إلى تثبيت الحمل الحراري و تقوية النقل بالتوصيل فقط. هذا يؤكد أن المجال المغناطيسي العالي يقلل من كفاءة الحمل الحراري داخل الجريان.



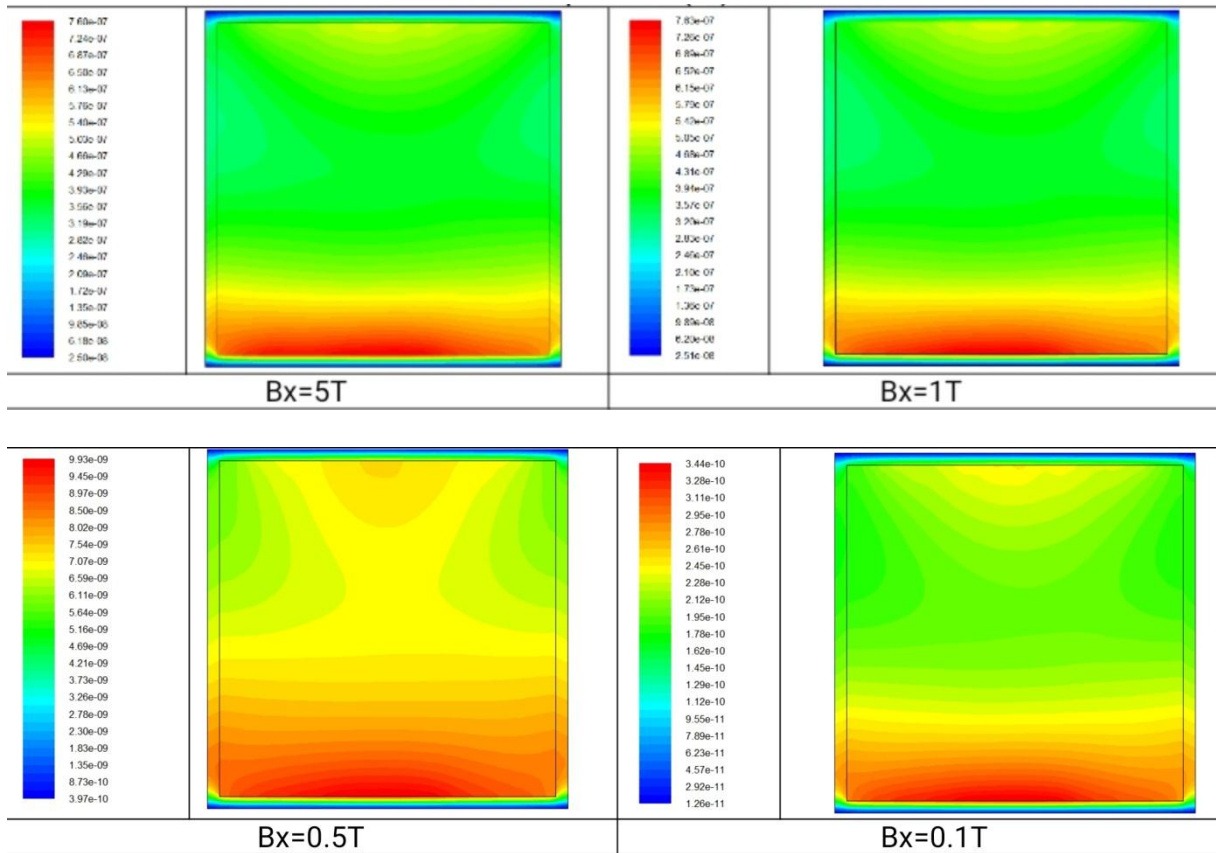


الشكل III-09: توزيع درجة الحرارة (C°) بعد تطبيق مجال مغناطيسي.

### III-7-3 توزيع المجال المغناطيسي B Champs magnétique

تظهر أن شدة المجال المغناطيسي تزداد من الأعلى للأسفل، و هو توزيع نموذجي لحالة تطبيق مجال مغناطيسي أفقي  $B_x$ .

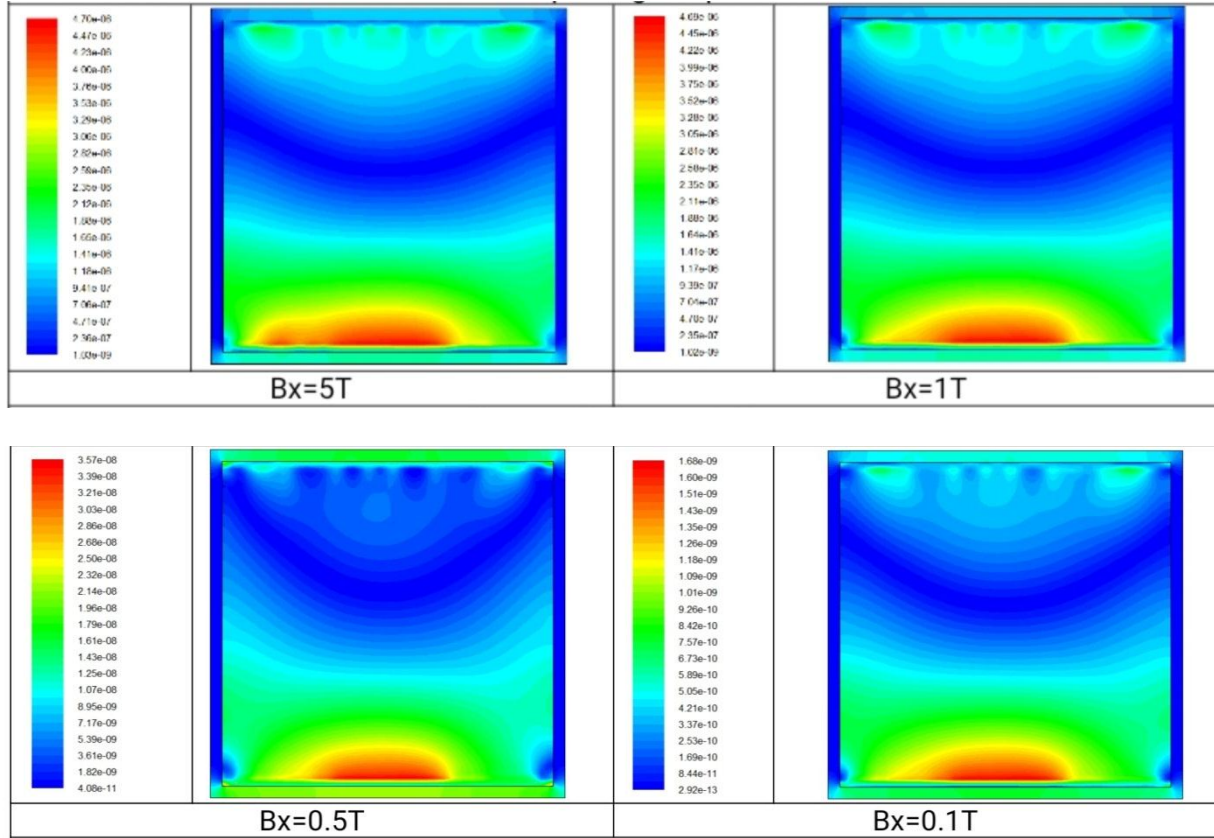
نلاحظ كذلك أنه في حالة تطبيق مجال مغناطيسي بشدة 5T يكون التدرج أكثر وضوحا مما يخلق تأثير قوي على الجسيمات النانوية.



الشكل III-10: توزيع المجال المغناطيسي B.

### III-7-4 توزيع المجال الكهربائي Champs électrique

تم توليد مجال كهربائي داخلي نتيجة حركة الجسيمات النانوية تحت تأثير المجال المغناطيسي كما يظهر المجال الكهربائي بقيم أعلى في الأسفل و هو ما يدل على أن الجسيمات تولد فرق جهد محلي نتيجة التأثير المغناطو-هيدروديناميكي.

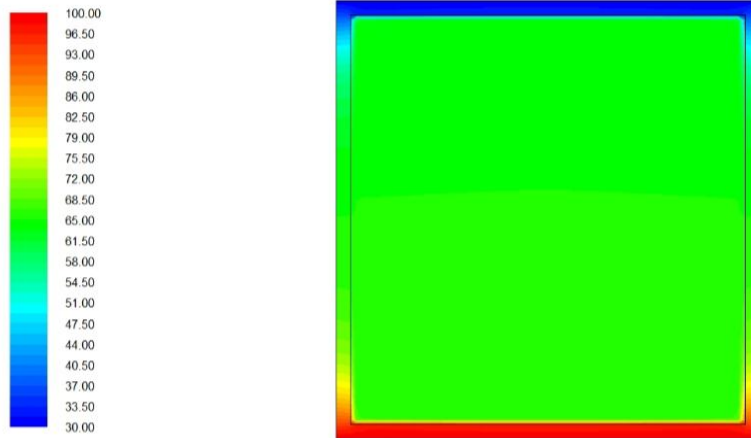


الشكل III-11: توزيع المجال الكهربائي (V/m).

III-8 تحليل النتائج المتحصل عليها بعد تطبيق مجال مغناطيسي  $B=0.5T$  و تغيير تركيز الجسيمات النانوية من 2% إلى 10%

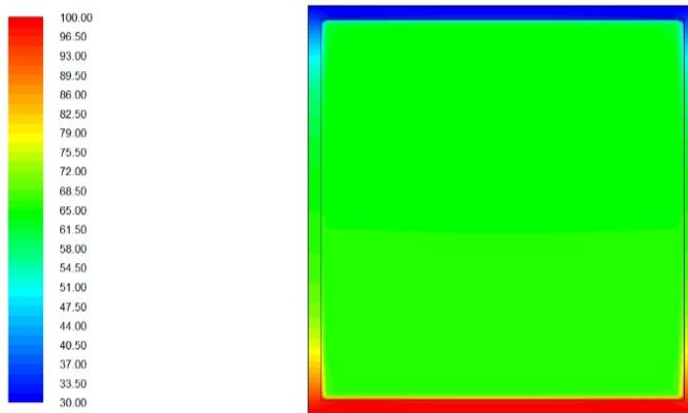
III-8-1 توزيع درجة الحرارة

$\phi=2\%$ ,  $B_x=0,5\text{ T}$  &  $\sigma = 1\text{ S/m}$



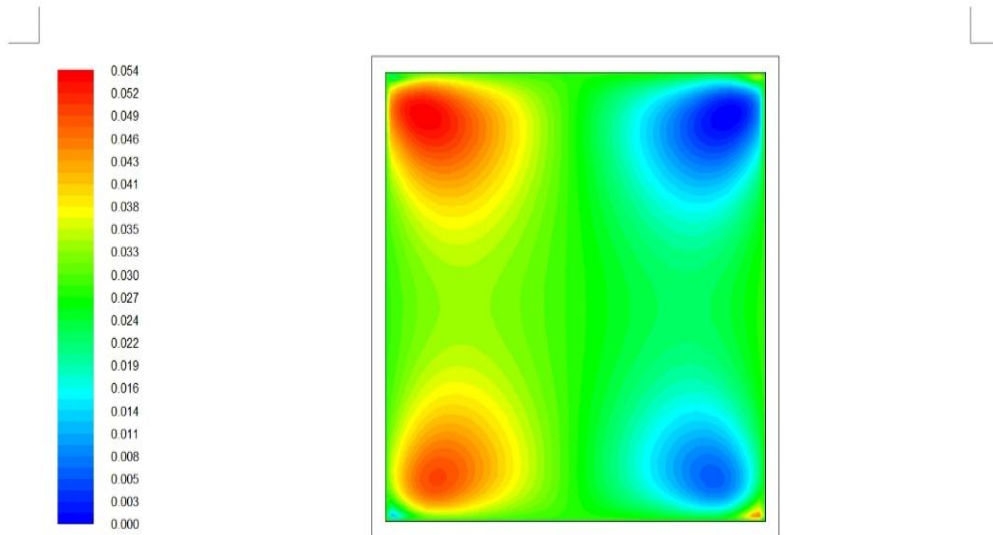
الشكل III-12: توزيع درجة الحرارة ( $C^\circ$ ) مع تطبيق مجال مغناطيسي و  $\phi = 2\%$ .  
 نلاحظ وجود توزيع حراري مستقر نسبياً، حيث تتركز الحرارة في الوسط و المناطق العلوية، بينما تكون الجوانب خاصة السفلية أبرد.

$\phi=10\%$ ,  $B_x=0,5\text{ T}$  &  $\sigma = 1\text{ S/m}$

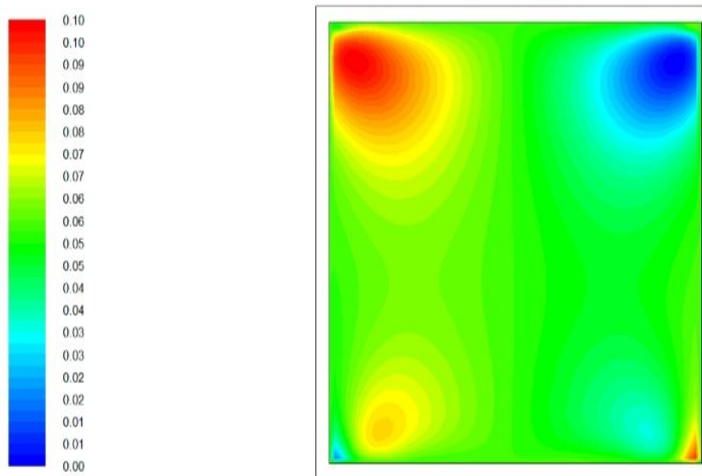


الشكل III-13: توزيع درجة الحرارة ( $C^\circ$ ) مع تطبيق مجال مغناطيسي و  $\phi = 10\%$ .  
 نلاحظ لون أخضر مهيم داخل الحيز مما يشير إلى درجة حرارة متوسطة موزعة بشكل متساوي، الحدود العليا و السفلى تظهر شرائط حمراء و زرقاء رفيعة مما يدل على: حرارة مرتفعة على أحد الجدران و هذا ناتج بسبب التسخين و برودة على الجدار المقابل.  
 تؤدي زيادة تركيز الجسيمات النانوية إلى تحسين التوصيل الحراري للمائع و لكن انخفاض في الحمل الطبيعي بسبب زيادة اللزوجة.

### III-8-2 خطوط الجريان



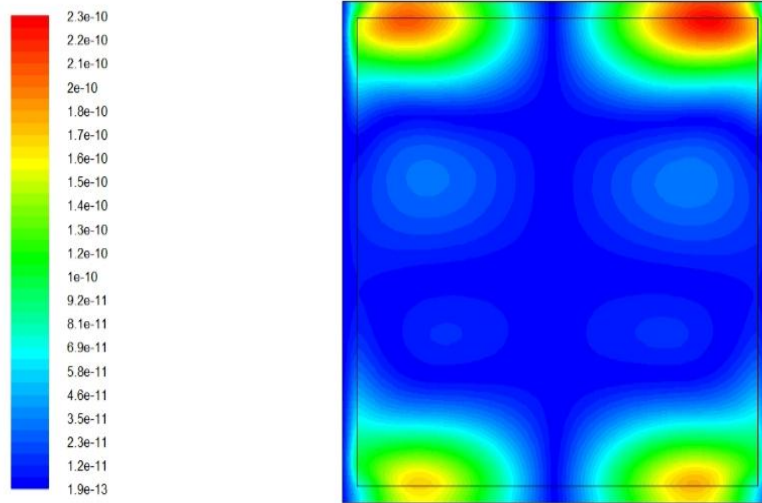
الشكل III-14: خطوط مستوى دالة الجريان (Kg/s) مع تطبيق مجال مغناطيسي و  $\phi = 2\%$ .  
 نلاحظ أن السرعة تتركز عند الجوانب السفلية و الزوايا في حين أن المركز و الجزء العلوي من الحجرة يظهر خمولا في الحركة.  
 وجود تيارات دائرية منخفضة على الأطراف قد يدل على تأثير المجال المغناطيسي المثبط للحركة داخل السائل النانوي.  
 الضغط الكبير في السرعة قد يكون أيضا ناتجا عن اللزوجة المرتفعة أو الاستقرار الحراري الناتج عن التوازن الحراري في الوسط.



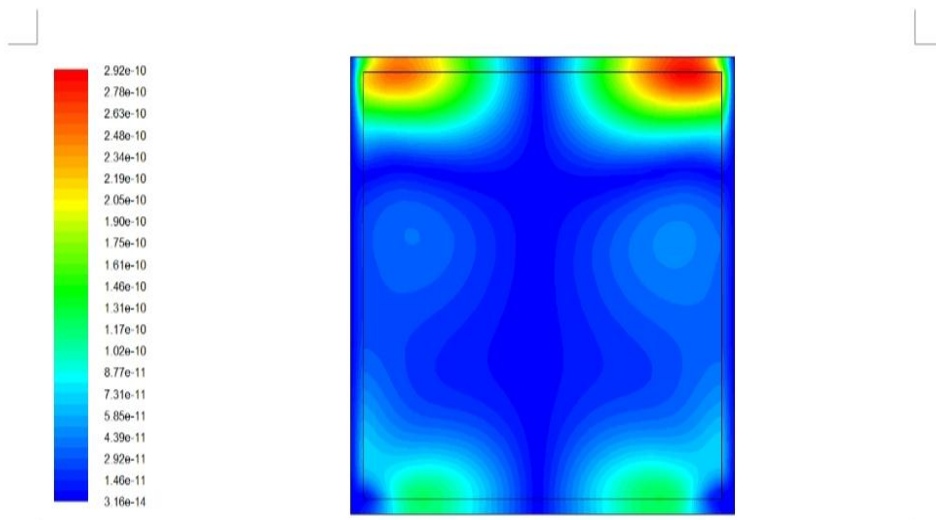
الشكل III-15: خطوط مستوى دالة الجريان (Kg/s) مع تطبيق مجال مغناطيسي و  $\phi = 10\%$ .

تظهر الصورة دوريتان متناظرتان كل منها تتجه من الأسفل إلى الأعلى في الجانبين كما أن الألوان تتدرج من الأحمر للأزرق.

### III-8-3 توزيع شدة المجال المغناطيسي



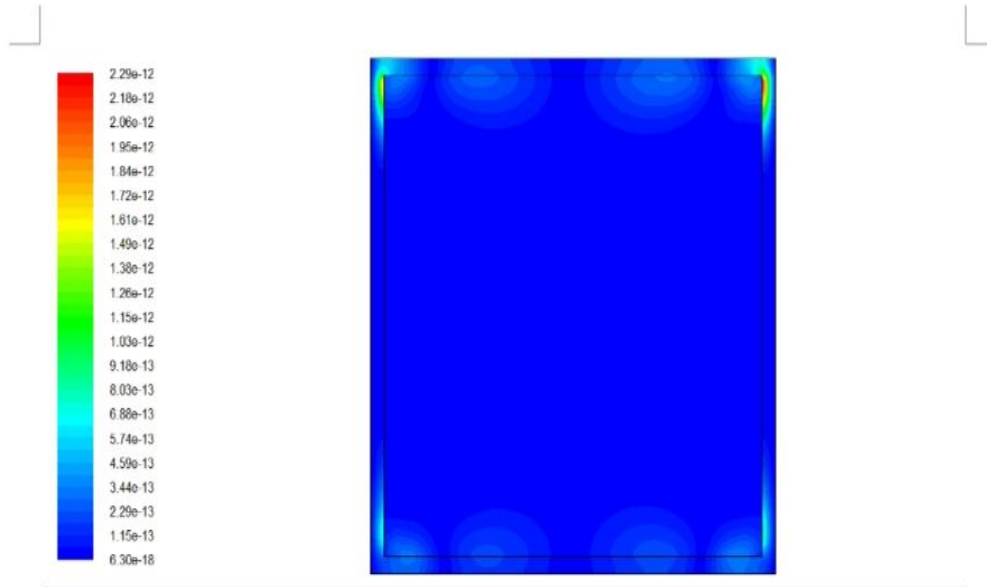
الشكل III-16: توزيع شدة المجال المغناطيسي  $B(T)$  مع تطبيق مجال مغناطيسي و  $\varphi = 2\%$ .  
رغم أن الشكل الموالي أظهر سرعة منخفضة عموماً فإن هذا الشكل يظهر وجود دوامات داخلية دقيقة أي أن الحركة ضعيفة لكن لها نمط دوران منتظم بسبب تأثير المجال المغناطيسي و الجسيمات النانوية.



الشكل III-17: توزيع شدة المجال المغناطيسي  $B(T)$  مع تطبيق مجال مغناطيسي و  $\varphi = 10\%$ .  
وجود شدة أكبر للمجال المغناطيسي بالقرب من الجدران العليا يتوافق مع تأثير الحدود على الحث المغناطيسي.

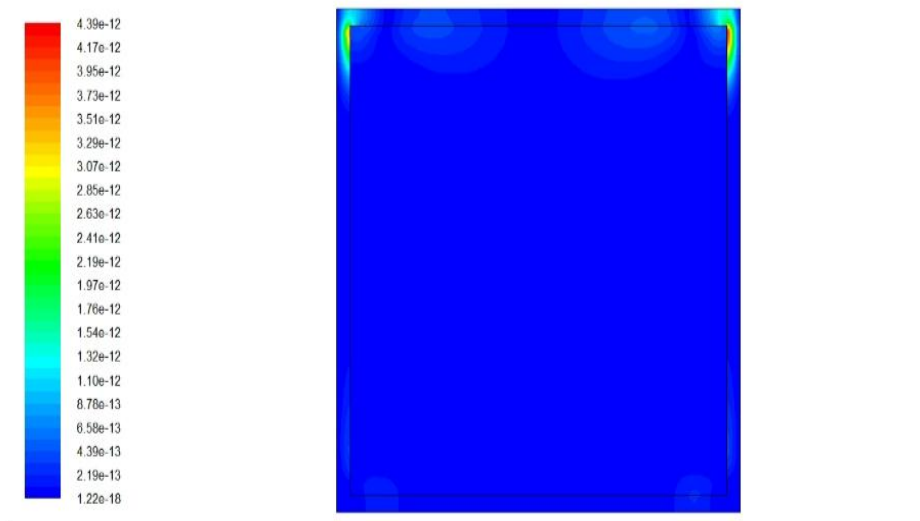
كما أن المجال المغناطيسي يولد قوة لورنتز و التي تؤثر على سريان المائع، مما يحد من الاضطراب و يضعف الحمل الحراري الطبيعي.

### III-8-4 توزيع شدة القوة الكهرومغناطيسية



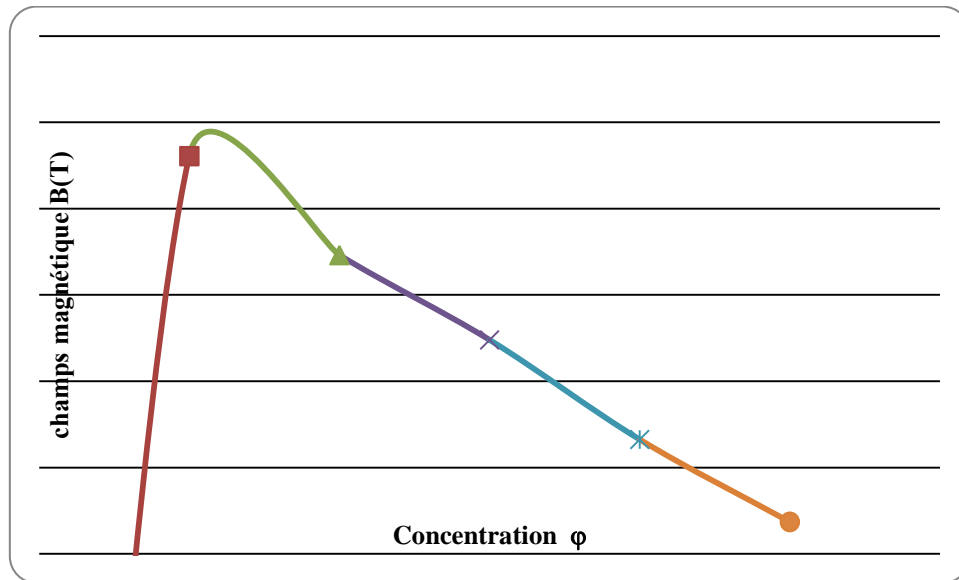
الشكل III-18: توزيع شدة القوة الكهرومغناطيسية  $F(n/m^3)$  مع تطبيق مجال مغناطيسي و  $\varphi = 2$  و %

توضح هذه النتيجة أن المجال المغناطيسي المطبق لا يظل ثابتا في كل الحيز، بل يتوزع بطريقة غير متماثلة مما يؤدي إلى مناطق تأثير قوية و مناطق خاملة و هو ما يفسر اختلاف توزيع السرعة و الانسياب.



الشكل III-19: توزيع شدة القوة الكهرومغناطيسية  $F(n/m^3)$  مع تطبيق مجال مغناطيسي و %  $\varphi = 10$ .

قوة لورنتز الناتجة عن المجال المغناطيسي تؤثر أساسا على الحواف حيث التدرجات في السرعة و التيار الكهربائي أعلى و هذا التأثير يؤدي إلى إضعاف تيارات الحمل الحراري و انخفاض فعالية الخلايا الدورانية كما ظهر في توزيع الدالة الجريانية سابقا.

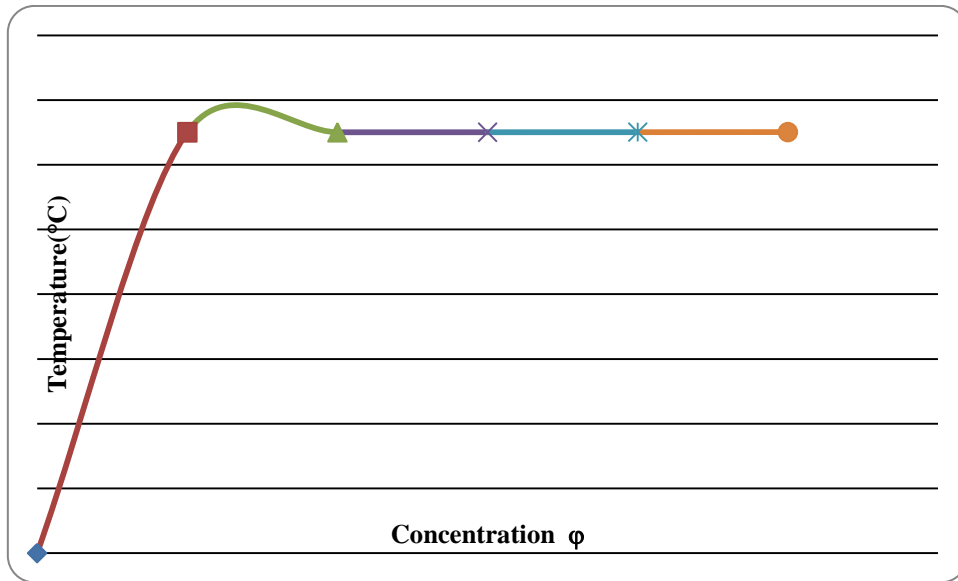


الشكل III-20: منحنى يوضح تغيرات شدة المجال المغناطيسي B بدلالة الكسر الحجمي  $\varphi$ .

**التعليق:** نلاحظ أن المجال المغناطيسي B يزداد بسرعة كبيرة مع زيادة الكسر الحجمي في البداية (الجزء الأحمر من المنحنى)، مما يشير إلى أن إضافة كمية صغيرة من الجسيمات النانوية تؤثر بشكل كبير على شدة المجال المغناطيسي.

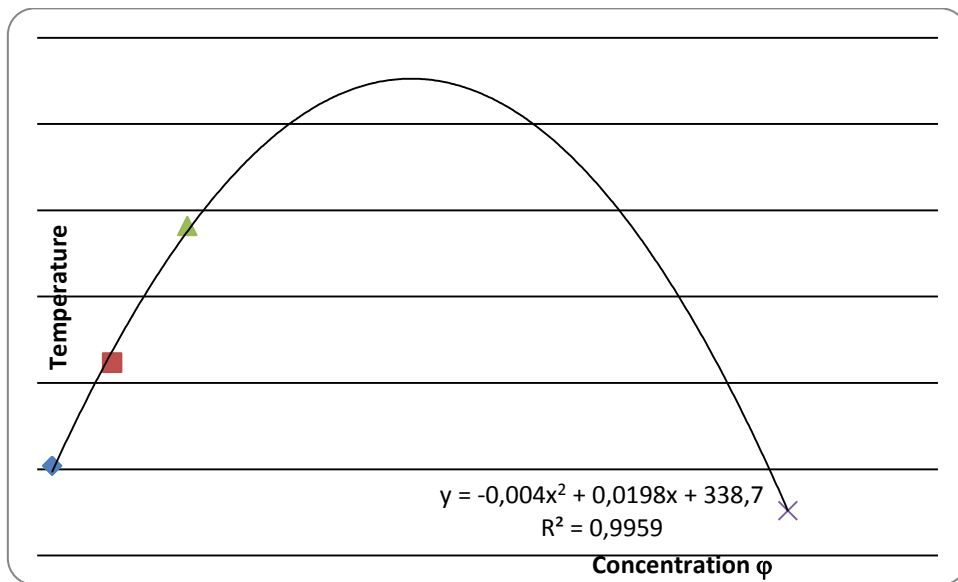
عند نقطة معينة (يمثلها المربع الأحمر)، يبلغ المجال المغناطيسي قيمته العظمى، مما يعني أن هناك تركيزا مثاليا (كسر حجمي مثالي) يعطي أقصى تأثير مغناطيسي.

بعد هذه النقطة، نلاحظ أن المجال المغناطيسي يبدأ في التناقص تدريجيا مع زيادة الكسر الحجمي (الجزء الأخضر ثم الأزرق ثم البرتقالي من المنحنى)، و هو ما يشير إلى أن الإفراط في تركيز الجسيمات يؤدي إلى تشتت أو تداخل في التأثيرات المغناطيسية، مما يقلل هذه الفعالية.



الشكل III-21: منحنى يوضح تغيرات درجة الحرارة T بدلالة الكسر الحجمي φ.

**التعليق:** نلاحظ أن درجة الحرارة تزداد بسرعة كبيرة مع ارتفاع الكسر الحجمي، ما يدل على أن وجود الجسيمات النانوية يعزز التبادل الحراري، و بعد الوصول إلى قيمة قصوى لدرجة حرارة (تمثلها النقطة بالمربع الأحمر على المنحنى) يبدأ المنحنى بالانخفاض الطفيف (الجزء الأخضر)، ثم يستقر تقريبا، و هذا يشير إلى أنه بعد تركيز معين إضافة جسيمات أكثر لا يحدث تأثيرا كبيرا على درجة الحرارة أو قد يكون هناك تشبع حراري أو تأثيرات معاكسة مثل التثنت أو تغير في توزيع الجسيمات تضعف فعالية التسخين.



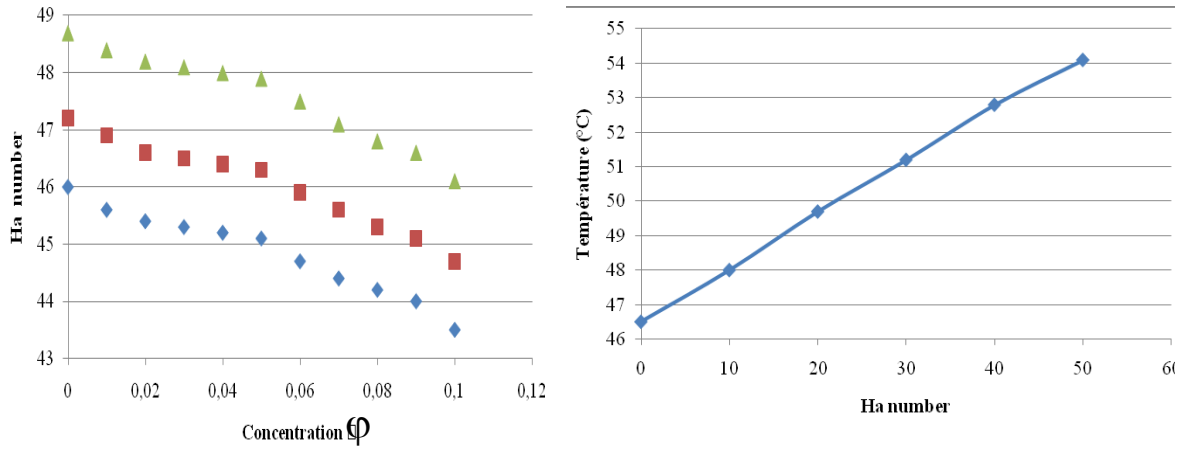
الشكل III-22: منحنى يوضح تغيرات درجة الحرارة T بدلالة الكسر الحجمي φ.

**التعليق:** يشير شكل المنحنى إلى وجود علاقة غير خطية، حيث ترتفع درجة الحرارة تدريجياً مع زيادة الكسر الحجمي حتى تصل إلى قيمة عظمى، ثم تبدأ في الانخفاض بعد تجاوز هذه النقطة، مما يدل على وجود قيمة مثلى للكسر الحجمي تؤدي إلى أعلى درجة حرارة ممكنة.

باستخدام معادلة المنحنى نستطيع حساب و تحديد قيمة الكسر الحجمي الذي يعطي أقصى درجة حرارة عالية كما يلي:

$$\phi = -\frac{b}{2a} = \frac{0.0198}{0.008} = 2.475\%$$

أي أن درجة الحرارة تبلغ قيمتها العظمى عندما يكون الكسر الحجمي حوالي  $\phi = 2.48\%$  و بعد هذه النقطة يؤدي الاستمرار في زيادة الكسر الحجمي إلى انخفاض في درجة الحرارة.



الشكل III-23: تغير درجة حرارة السائل النانوي  $Al_2O_3$ -ماء بمحتوى 5%.

- كلما زاد  $\phi$  ، زادت الموصلية الحرارية ← تقل درجة الحرارة المتوسطة.
- كلما زاد Ha ، زادت المقاومة للحمل ← ترتفع الحرارة.

### III-9 خاتمة

في هذا الفصل، تم تحليل محاكاة تأثير المجال المغناطيسي و تركيز الجسيمات النانوية في السائل النانوي ماء-  $Al_2O_3$  باستخدام برنامج FLUENT 6.3 أظهرت النتائج أن زيادة التركيز النانوي حسنت التوصيل الحراري في البداية، لكنها أدت إلى تراجع فعالية الحمل الحراري بسبب زيادة اللزوجة. كما بينت المحاكاة أن المجال المغناطيسي ساعد في استقرار توزيع الحرارة، ولكنه أضعف حركة الجسيمات مما قلل كفاءة النظام. في الختام، تؤكد الدراسة على ضرورة التوازن بين تركيز الجسيمات و شدة المجال المغناطيسي لتحقيق أفضل أداء حراري و هيدروديناميكي.

## خاتمة عامة

في هذا العمل، قمنا بدراسة تأثير المجال المغناطيسي على نانو سائل مكوّن من جسيمات  $Al_2O_3$  معلّقة في الماء بنسبة حجمية 5%، عند درجة حرارة  $30\text{ }^\circ\text{C}$  من خلال حساب عدد هارتمان (Ha)، وهو مؤشر مهم في الميكانيكا المغناطيسية للسوائل، تبين أن قيمته صغيرة جداً في هذا السياق. تعكس هذه النتيجة أن تأثير المجال المغناطيسي على سلوك هذا سائل النانوي ضعيف أو شبه مهمل، ويعود ذلك إلى:

- الناقلية الكهربائية الضعيفة للسائل النانوي (نتيجة لاستخدام جسيمات غير مغناطيسية وغير موصلة مثل  $Al_2O_3$ ).
- الاعتماد على مجال مغناطيسي منخفض الشدة.
- اللزوجة النسبية العالية للوسط السائل.
- $Al_2O_3-H_2O$  ليس سائلاً نانوي مناسباً للتطبيقات التي تعتمد على التأثيرات المغناطيسية.
- لتفعيل التأثير المغناطيسي، يُستحسن استخدام جسيمات نانوية مغناطيسية (مثل  $Fe_3O_4$  أو  $CoFe_2O_4$ )، ومجالات مغناطيسية أقوى.
- يظل عدد هارتمان أداة هامة لتقدير مدى أهمية القوى المغناطيسية في سلوك السائل النانوي، خصوصاً في تطبيقات التبريد، والطاقة، والمجالات الطبية

قائمة المراجع

المراجع باللغة الأجنبية

- [1] Choi, S. U. S., & Eastman, J. A. (1995). Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles. ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition.
- [2] Said, Z., et al. (2015). A review on recent developments for improving the performance of concentrating solar power and desalination technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- [3] Nabil, M. F., et al. (2017). Effect of magnetic field on nanofluid flow and heat transfer: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- [4] Sheikholeslami, M., & Ganji, D. D. (2015). Magnetic field effects on nanofluid flow and heat transfer. Journal of Molecular Liquids.
- [5] Lant, A. P. (n.d.). Renewable Energy: Power for a Sustainable Future.
- [6] Ali, Y., & Krarti, M. (2016). Hydropower generation and its environmental impacts: A review. Energies.
- [7] Hoque, M. A., Uddin, M. A., & Islam, A. K. M. N. (2016). A review of design methodologies for achieving high efficiency in organic solar cells. Solar Energy Materials and Solar Cells.
- [10] Abdel Rahman, L. (2017). Amélioration de l'efficacité et de la fiabilité des cellules photovoltaïques grâce à l'utilisation de techniques de fabrication avancées. Université d'Alexandrie.
- [11] Ibrahim, M., Zinsser, B., El-Sherfi, H., Hamouda, E., Makrides, G., Georghiou, G., Schubert, M., & Werner, J. (2009). Advanced photovoltaic test park in Egypt for investigating the performance of different module and cell technologies. Proceedings of the 24th Symposium Photovoltaic Solar Energy, Staffelstein, Germany.
- [12] Zerrouki, Z., & Berekssi Reguig, R. (2017). Dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome. Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen.
- [13] Tahraoui, I., & Halil, A. (2017). Dimensionnement et étude d'une installation photovoltaïque pour une habitation domestique. Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen.
- [14] Makhloufi, S. (2013). Contribution à l'optimisation d'installations photovoltaïques par des commandes intelligentes. Thèse de doctorat, Université Hadj Lakhdar Batna.
- [16] Mekhilef, S., Saidur, R., & Kamalisarvestani, M. (2011). Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells. Renewable and Sustainable Energy Reviews.

- [19] Université de Ghardaïa. (2019). Étude numérique d'une cheminée solaire. Mémoire de Master.
- [20] Université Ibn Khaldoun de Tiaret. (2017). Étude de l'effet des matériaux utilisés comme collecteur sur le rendement d'une station solaire à effet de cheminée. Mémoire de Master.
- [26] Ribeiro, J. P., & Grüß, J. A. (2009). Nanofluides pour les applications thermiques.
- [27] Ould Amer, N., & Ouadah, S. (2018). Simulation numérique d'un écoulement avec transfert de chaleur d'un nanofluide dans un dissipateur de chaleur. Mémoire de Master, Université de M'sila.
- [28] Choi, S. U. S., & Eastman, J. A. (1995). Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles. ASME.
- [29] Ajayan, P. M., Schadler, L. S., & Braun, P. V. (2003). Nanocomposite science and technology. Wiley-VCH.
- [30] Nozik, A. J. (2002). Quantum dot solar cells. *Physica E*.
- [31] Ferrari, M. (2005). Cancer nanotechnology: Opportunities and challenges. *Nature Reviews Cancer*.
- [32] Qu, X., Alvarez, P. J., & Li, Q. (2013). Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment. *Water Research*.
- [33] Tarascon, J. M., & Armand, M. (2001). Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries. *Nature*.
- [34] Khider, F. Z. (2016). Amélioration de la convection mixte en utilisant des ailettes cylindriques avec des ouvertures au niveau de la base. Mémoire de Master, Université de M'sila.
- [38] Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2018). *Physics for Scientists and Engineers* (10th ed.). Cengage Learning.
- [39] Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2018). *Fundamentals of Physics* (11th ed.). Wiley.
- [40] Griffiths, D. J. (2017). *Introduction to Electrodynamics* (4th ed.). Cambridge University Press.
- [41] Bessaïh, R., Marty, P., & Kadja, M. (2003). Hydrodynamics and heat transfer in disk driven flows under axial magnetic fields. *International Journal of Transport Phenomena*, 259–278.

- [42] Sheikholeslami, M., & Rokni, H. B. (2017). Simulation of nanofluid heat transfer in presence of magnetic field: A review. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 115, 1203–1233.
- [43] Baumjohann, W., & Treumann, R. A. (2012). *Basic Space Plasma Physics*. Imperial College Press.
- [44] Brinkman, H. C. (1952). The viscosity of concentrated suspensions and solutions. *Journal of Chemical Physics*, 20, 571–581.
- [45] Xuan, Y., & Roetzel, W. (2000). Conception for heat transfer correlation of nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*.
- [46] Parveen, R., & Mahapatra, T. R. (2019). Numerical simulation of MHD double diffusive natural convection and entropy generation in a wavy enclosure filled with nanofluid with discrete heating.
- [47] Zeghib, A., & Talbi, K. (2008). Comparaison des différents modèles de turbulence d'un écoulement aérodynamique dans un cyclone. *Revue des Énergies Renouvelables CISM'08 Oum El Bouaghi*, 311–324.
- [48] Anderson, J. D. (1995). *Computational Fluid Dynamics: The Basics with Applications*. McGraw-Hill.
- [49] Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. (2007). *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method*. Pearson Education.

### المراجع باللغة العربية

- [8] الخطيب رمضان يحيى محمد، دور الخلايا الشمسية في توفير الطاقة و تشكيل المعماري للمباني السكنية في قطاع غزة، مذكرة ماجستير في الهندسة المعمارية، جامعة غزة الإسلامية عمادة الدراسات العليا كلية الهندسة 2025.
- [9] ستيفان. ك. و. تركراو، كتاب توليد القدرة الكهربائية من الطاقة الشمسية، ترجمة الدكتور عبد الباسط علي صالح 2011 الطبعة الأولى.
- [15] محمد رأفت السيد خليل، كتاب الطاقة الشمسية و استخداماتها، دار الكتب العلمية للنشر و التوزيع القاهرة 2009.
- [17] مذكرة تخرج لنيل شهادة ماستر أكاديمي، دراسة تجريبية لتأثير تغير زاوية المقطر الشمسي على إنتاجية الماء النقي، جامعة قاصدي مرباح كلية العلوم التطبيقية 2022.
- [18] مذكرة تخرج لنيل شهادة ماستر أكاديمي، دراسة تحليلية أنظمة التبريد الشمسي بالامتزاز و الامتصاص، جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2021.
- [21] أ. د. محمد شريف الإسكندري، تكنولوجيا النانو من أجل غد أفضل، مجلة عالم المعرفة أبريل 2010.
- [22] طارق بن طلال المطيري، الجامعة الإسلامية بماليزيا، دورة تقنية النانو في الحد من الكوارث 2012.
- [23] علي يوسف، النانو تكنولوجي و تطبيقاته في المستقبل، 2014-2015.

[24] د. محمد عبد الستار الشخيلي، حاتم النجدي، مدخل إلى علم النانويات و تقنياتها، مدينة الملك عبد العزيز للعلوم و التقنية. المنظمة العربية للترجمة.

[25] أ.د. محمود محمد سليم صالح، تقنية النانو و عصر علمي جديد، مدينة الملك عبد العزيز للعلوم و التقنية.

### المواقع

[35] <https://fuuu.be/polytech/.../TP/MECAH300-Nombres-Adimensionnels.pdf>

[36] <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Champmagnetique.html>

[37]

<https://www.superprof.fr/ressources/scolaire/physiquechimie/premieres/mecanique/champs-magnetiques.html>

تأثير المجال المغناطيسى على ماص يحتوى على سائل نانوي في مركز شمسي

ملخص:

تتناول هذه الدراسة تأثير المجال المغناطيسي على أداء ماص شمسي يحتوي على سائل نانوي، وذلك في مركز شمسي يُستخدم لتجميع وتحويل الطاقة الشمسية إلى حرارة. تُستخدم السوائل النانوية لزيادة كفاءة نقل الحرارة بسبب خصائصها الحرارية العالية مقارنة بالسوائل التقليدية. وقد تم تحليل سلوك السائل النانوي داخل الماص تحت تأثير مجالات مغناطيسية مختلفة من حيث الشدة والاتجاه، لتقييم تأثيرها على معدل انتقال الحرارة وتوزيع درجات الحرارة داخل النظام. تظهر النتائج أن المجال المغناطيسي يمكن أن يُحسن من خصائص نقل الحرارة عبر تعزيز حركة الجسيمات النانوية، مما يؤدي إلى زيادة كفاءة الماص الشمسي. كما يسّط البحث الضوء على إمكانية التحكم في الأداء الحراري للأنظمة الشمسية باستخدام مجالات مغناطيسية خارجية.

**الكلمات المفتاحية:** نقل الحرارة، السوائل النانوية، المجال المغناطيسي، CFD.

**The effect of a magnetic field on an absorber containing a nanofluid in a solar concentrator**

**Abstract:**

This study investigates the effect of a magnetic field on the performance of a solar absorber containing a nanofluid, within a solar concentrator used to collect and convert solar energy into heat. Nanofluids are employed to enhance heat transfer efficiency due to their superior thermal properties compared to conventional fluids. The behavior of the nanofluid inside the absorber was analyzed under various magnetic field intensities and directions to evaluate their impact on the heat transfer rate and temperature distribution within the system. The results show that the magnetic field can improve heat transfer characteristics by enhancing the motion of nanoparticles, leading to increased efficiency of the solar absorber. The study also highlights the potential for controlling the thermal performance of solar systems using external magnetic fields.

**Keywords:** heat transfer, nanofluids, magnetic field, CFD.

**L'effet d'un champ magnétique sur un absorbeur contenant un nanofluide dans un concentrateur solaire**

**Résumé :**

Cette étude porte sur l'effet du champ magnétique sur les performances d'un absorbeur solaire contenant un nanofluide, dans un concentrateur solaire utilisé pour capter et convertir l'énergie solaire en chaleur. Les nanofluides sont utilisés pour améliorer l'efficacité du transfert de chaleur en raison de leurs propriétés thermiques supérieures à celles des fluides conventionnels. Le comportement du nanofluide à l'intérieur de l'absorbeur a été analysé sous l'influence de champs magnétiques de différentes intensités et orientations, afin d'évaluer leur impact sur le taux de transfert de chaleur et la répartition des températures dans le système. Les résultats montrent que le champ magnétique peut améliorer les propriétés de transfert thermique en favorisant le mouvement des nanoparticules, ce qui conduit à une augmentation de l'efficacité de l'absorbeur solaire. L'étude met également en évidence la possibilité de contrôler les performances thermiques des systèmes solaires à l'aide de champs magnétiques externes.

**Mots clés:** transfert de chaleur, nanofluide, champ magnétique, CFD