



جامعة قاصدي مرباح ورقلة



كلية الرياضيات و علوم المادة

قسم الفيزياء

مذكرة ماستر أكاديمي

مجال : علوم المادة

شعبة: فيزياء

تخصص : فيزياء المواد

من إعداد الطالب : زايد نورالدين

العنوان:

المساهمة في دراسة الخصائص البنيوية و المرونية  
لمينيرالات مكونة من  $CaO$  و  $SiO_2$  عند ضغوط  
النموذج PREM حتى نهاية الوشاح العلوي الأرضي

نوقشت علنا بتاريخ: 17 / 6 / 2023

أمام اللجنة المكونة من الأساتذة:

عاشوري عبد الرحيم	أستاذ محاضراً	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	رئيساً
بن مبروك لزهـر	أستاذ التعليم العالي	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	مناقشاً
تليلي صالح	أستاذ محاضراً	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	مشرفاً

2023/2022



## شكر وتقدير



قبل أن أمضي أقدم أسعى آيات الشكر و الامتنان الى الذين حملوا أقدس رسالة أساتذتنا

الأفاضل.

قال رسول الله ص: «من لم يشكر الناس لم يشكر الله» .

أولاً نشكر لله عزوجل على أن هداني لسلوك طريق البحث و التشبه بأهل العلم و إن كان بيني و بينهم مفاوز. كما أخص بالشكر أستاذي الكريم و معلمي الفاضل المشرف على هذا البحث الدكتور تليلي صالح ، فقد كان حريصاً على قراءة كل ما أكتب ثم يوجهني إلى ما يرى بأرق عبارة ، فله مني وافر الثناء و خالص الدعاء و الاحترام فقد دعمني بكل معلومات من طرق وكتابه وافكار والحمد لله الذي كان لي الفضل ان يكون المشرف على مذكري وشكرا من صميم قلبي لك استاذي الفاضل، وكذلك اشكر اعضاء لجنة المناقشة: والتي تتكون من رئيس اللجنة عشوري عبد الرحيم أستاذ محاضراً والاساذ المناقش بن مبروك لزهرا استاذ التعلم العالي وارجو منهم تقبل هذا العمل وهو مذكرة التخرج الذي عملت عليها بكل اخلاص والجهد.

كما اشكر اساتذتي الذين علموني والو بحرف طيلة مشواري الدراسي وكما اشكر الاستاذ عمر بن

طويلة. وكما اشكر استاذي مغاسل محمد من جامعة البليدة الذي دعمني علمياً وروحياً.

كما أشكر السادة الأساتذة و كل الزملاء و كل من قدم لي فائدة أو أعانني بمرجع، أسأل الله أن يجزيهم

عني خيراً و أن يجعل عملهم في ميزان حسناتهم.

وأسأل الله العلي العظيم أن يجعل هذا العمل في ميزان حسناتنا جميعاً، فإن أصبنا فمن الله و إن أخطأنا

فمن أنفسنا و الشيطان

# إِهْدَاء

الى من تذوقت معهم أجمل اللحظات..الى من سأفتقدهم وأتمنى أن يفتقدوني..الى من

جعلهم الله إخوتي بالله (طلاب قسم المواد)

وإلى منبع العطف والحنان أمي وأبي أطال الله في عمرهما وحفظهما ورعاهما

وإلى فخري سندي في الدنيا إخوتي " عبد الحميد، اسماء، عبد الطيف "

وإلى اصدقائي في المشوارالدراسي الذين وقفو معي و شاركوني كل لحظاته وتفصيله ثمرة وعناء الخمسة

سنوات رعاهم الله ووقفهم، وإلى جميع اصدقائي وبالإخص احمد، امين، والاستاذ محمد والاستاذ

سلامات والى زوج اختي، وكذلك الى عماتي وخلاتي واعمامي واخوالي والى كل من علمني حرفا من

الابتدائي الي الجامعه وكل الاساتذه بجامعة قصدي مرباح والى اصدقائي بالاقامة الجامعية الذين

اقمنا معهم عشرة محبه والفه وكنا متحابين في الله في الاونة الخيره من مبادرات شكرا لكم كثيرا

جميعا.....

# فهرس المحتويات

الصفحة

شكرو عرفان

إهداء

I

الفهرس

IV

قائمة الإشكال

والجداول

VII

المقدمة العامة

## الفصل الأول

### علم البلورات والزلازل

01

1-I مقدمة

01

2-I علم البلورات

01

1-2-I تعريف

02

2-2-I الخصائص البنيوية

02

1-2-2-I حجم الخلية إصطلاحية ونسبته

02

2-2-2-I النسبة الحجمية

03

3-2-2-I كثافة المادة

03

3-2-I الخصائص المرورية

03

1-3-2-I المعاملات المرورية

03

2-3-2-I سرعات الموجات المرورية

06

3-I البلورات في علم الزلازل

06

1-3-I علم الزلازل

07

2-3-I التقنيات المستخدمة في علم الزلازل

07

1-2-3-I الطريقة العكسية

08

2-2-3-I الطريقة المباشرة

09

3-3-I البنية الداخلية للأرض

09

1-3-3-I تقسيم الطبقات الأرضية

10

2-3-3-I التكوين المادي للطبقات الأرضية

## الفصل الثاني

### عموميات حول $\text{CaO}$ ، $\text{SiO}_2$ والمينيرالات

#### المكونة منها

13	1-II مقدمة
13	2-II أكسيد الكالسيوم $\text{CaO}$
13	1-2-II تشكيل $\text{CaO}$
15	2-2-II التركيب البلوري لكسيد الكالسيوم
16	3-2-I استخداماته
17	4-2-II أهمية في علوم الأرض
17	5-2-II دراسات سابقة حول $\text{CaO}$
20	3-II عموميات حول $\text{SiO}_2$
20	1-3-II تشكيل $\text{SiO}_2$
22	2-3-II التركيب البلوري $\text{SiO}_2$
23	3-3-II استخداماته
24	4-3-II أهميته في علوم الأرض
24	5-3-II دراسات سابقة
26	4-II خلاصة الاعمال

## الفصل الثالث

### العمل التطبيقي

27	1-III مقدمة
27	2-III طريقة الدراسة
28	1-2-III تحديد قيم المعاملات الأولية
28	2-2-III تحديد قيم المعاملات المتبقية
28	3-2-III تحديد قيم المعاملات عند ضغوط نموذج الزلزالي PREM
31	3-III عرض وتحليل النتائج

31	III-3-1 الخصائص البنيوية
33	III-3-2 الخصائص المرنة
33	III-3-2-1 معاملي المرونة
36	III-3-2-2 سرعة الموجات
40	الخلاصة العامة
41	المراجع
	الملخص

## قائمة الأشكال والجداول

الصفحة	الأشكال:
04	الشكل (1-I): يوضح عملية القص والإجهاد
05	الشكل (2-I): يمثل الانضغاط هيدروستاتيكي
08	الشكل (3-I): الأمواج الزلزالية
08	الشكل (4-I): تكوين داخلي للأرض المقابلة مع نموذج PREM
09	الشكل (5-I): مخطط يوضح البنية الداخلية للأرض على أساس الانقطاعات الرئيسية في سرعات الموجات الزلزالية
11	الشكل (6-I): مخطط يوضح البنية الداخلية للأرض بناء على السلوك المادي للطبقات
14	الشكل (1-II): مسحوق الجير
15	الشكل (2-II): بنية الخلية الأولية لأكسيد الكالسيوم
22	الشكل (3-II): يمثل البنية البلورية لثنائي أكسيد السليكون للكرستوباليت
31	الشكل (1-III): تغيرات $V$ حجم الخلية الاصطلاحية لكل من $\text{CaO}$ ، $\text{SiO}_2$ و مركباتهم بتغير $x$ نسبة الأكسيد الأول في المركبات من 1 حتى 99 % بتغير ضغوط النموذج PREM
32	الشكل (2-III): تغيرات $V/V_0$ النسبة الحجمية لكل من $\text{CaO}$ ، $\text{SiO}_2$ و مركباتهم بتغير $x$ نسبة الأكسيد الأول في المركبات من 1 حتى 99 % بتغير ضغوط النموذج PREM
33	الشكل (3-III): تغيرات $\text{Den}$ الكثافة المادية لكل من $\text{CaO}$ ، $\text{SiO}_2$ ، مركباتهم بتغير $x$ نسبة الأكسيد الأول في المركبات من 1 حتى 99 % و للمادة الأرضية بتغير ضغوط النموذج PREM
34	الشكل (4-III): تغيرات $K$ معامل الانضغاط الحجمي لكل من $\text{CaO}$ ، $\text{SiO}_2$ ، مركباتهم بتغير $x$ نسبة الأكسيد الأول في المركبات من 1 حتى 99 % و للمادة الأرضية بتغير ضغوط النموذج PREM
35	الشكل (5-III): تغيرات $G$ معامل القص لكل من $\text{CaO}$ ، $\text{SiO}_2$ ، مركباتهم بتغير $x$ نسبة الأكسيد الأول في المركبات من 1 حتى 99 % و للمادة الأرضية بتغير ضغوط النموذج PREM

- 36 الشكل(III-6): تغيرات  $V_p$  سرعة الموجة الطولية لكل من  $\text{CaO}$ ،  $\text{SiO}_2$ ، مركباتهم بتغير  $x$  نسبة الأكسيد الأول في المركب
- 37 الشكل(III-7): تغيرات  $V_s$  سرعة الموجة العرضية لكل من  $\text{CaO}$ ،  $\text{SiO}_2$ ، مركباتهم بتغير  $x$  نسبة الأكسيد الأول في المركبات من 1 حتى 99 % و للمادة الأرضية بتغير ضغوط النموذج PREM
- 38 الشكل(III-8): تغيرات  $V_f$  سرعة الموجة الانضغاط الصوتي لكل من  $\text{CaO}$ ،  $\text{SiO}_2$ ، مركباتهم بتغير  $x$  نسبة الأكسيد الأول في المركبات من 1 حتى 99 % و للمادة الأرضية بتغير ضغوط النموذج PREM



## قائمة الجداول

الصفحة

- 20 الجدول (1-II): الخواص الفيزيائية لثنائي أكسيد السيلكون البلوري وغير البلوري
- 21 الجدول (2-II): تفاعل ثاني أكسيد السيلكون مع بعض المواد
- 23 الجدول (3-II): الصيغ البلورية لثنائي أكسيد السليكون المهمة
- 39 الجدول (1-III): يقدم المركبات التي قيمها للمعاملات المدروسة تكون اقرب لقيمها في النموذج PREM، حيث قيم  $x$  نسبة CaO في المركبات تتغير من 0 حتى 100

## المقدمة العامة:

تختلف العلوم المهتمة بدراسة ما نعيش فوقه من يابسة أو ما حولنا من ماء أو ما فوقنا من كواكب، من بينها علم الزلازل. هذا العلم كان يهتم برصد الموجات الزلزالية الناشئة عن الهزات الطبيعية أو تلك الاصطناعية الناتجة عن الانفجارات، وصولاً إلى الاهتزازات البسيطة الناتجة عن حركة المركبات. لكن مع مرور الزمن و الحاجة الماسة لدراسات أكثر تعمقا انطلقا من نتائج انتشار الأمواج تطور هذا العلم و تفرع للعديد من الفروع. من هذه الفروع علم الزلازل الكوني، الذي يهتم بتكوين الطبقات الداخلية للكواكب عموما والأرض خصوصا.

هذا الفروع بالذات يعتمد على فيزياء الأجسام الصلبة في طريقتة العكسية، أين ينطلق من دراسة خواص المرونة لهذه الأجسام و بالتالي يمكن دراسة انتشار الأمواج فيها مع تحديد سرعاتها. بمقارنة هذه السرعات مع تلك الناتجة عن الزلازل الطبيعية اي تلك الممثلة للمادة الأرضية يمكن مناقشة تواجد المواد المدروسة في الطبقات الأرضية من عدمه. اذ تم تمثيل المادة الأرضية بعدد من النماذج الزلزالية، التي أهمها النموذج PREM (Preliminary Reference Earth Model) المقسم الجيد لطبقات الأرضية.

نعتمد في هذه الدراسة الطريفة العكسية هذه من هذا الفرع، و بالانطلاق من دراسات سابقة خاصة بكل من  $CaO$  و  $SiO_2$ . من اجل البحث عن قيم خاصة يمكن اعتمادها لحساب قيم معاملات الخصائص البنيوية و المرونية لمركبات أو مينييرالات ناتج أساسا من تراكب هذين الأكسيدين أكسيد، هذه المركبات هي  $(Ca_x, Si_{(1-x)})O_3$ ، و ذلك عند ضغوط النموذج الزلزالي PREM حتى حدود نهاية الوشاح العلوي الأرضي أي حتى الضغط 23.8 GPa.

لذلك نرى من المناسب أن ينقسم هذا العمل إلى الفصول ثلاثة التالية:

**الفصل الأول:** يتحدث هذا الفصل على علم البلورات و كذلك عموميات حول علم الزلازل، و طرق الدراسة فيه. كذلك أهم نماذجه، العوامل المرونية، السرعات الزلزالية، العلاقات الخاصة بالحساب المكمل.

الفصل الثاني: نتطرق فيه إلى دراسة عموميا حول الأكسيدين، أهم الدراسات السابقة

المتضمنة لها.

الفصل الثالث: سوف يتمحور حول عمل تطبيقي و ذلك من خلال تقديم طريقة الدراسة أو

خطواتها، و من ثم يتم عرض النتائج و مناقشتها مع تقديم تفسير مناسب.

و في الأخير خلاصة نستخلص ما قمنا به في هذه الدراسة و كذلك طريقة العمل وأهم النتائج

المتحصل عليها و معرفة أخطاء الدراسة و نقائصها للعمل على تصحيحها في المستقبل، منا نقدم

خلالها بعض و كذلك تقديم أفاق و مقترحات علمية من أجل أعمال مستقبلية ناجحة.

## الفصل الأول:

# علم البلورات و الزلازل

### 1-I مقدمة:

في هذا الباب سوف ندرس علم البلورات و علم الزلازل، و ذلك من خلال معرفة خصائص البنيوية، التركيب البلوري، حجم الخلية، كثافة المادة، الخصائص المرورية و الخصائص الترموديناميكية للبلورات، و تتم هذه الدراسة بمعرفة جميع المواد الصلبة المتبلورة و غير متبلورة و القوانين المتحكمة في نموها و شكلها الخارجي و بنيتها الذرية. كذلك سوف نهتم بمختلف النظريات الضرورية المرتبطة بعلم الزلازل الكوني، انطلاقا من تعريفه و تقديم مختلف الطرق المستخدمة في الدراسة فيه، كما نعرض أهم الموجات الزلزالية و نماذج البنية المقترحة عن طريق تحليل هذه الموجات، و كذلك سوف نتطرق إلى التكوين و التقسيم الطبقي.

### 2-I علم البلورات:

#### 1-2-I تعريف:

يدخل علم البلورات في علوم كثيرة و منها الفيزياء، الكيمياء، الجيولوجيا، المينرالوجيا و علوم أخرى من العلوم التي تدرس الأشياء و المواد بجميع اشكلها و ظواهرها، و بالتالي يحق النظر إليه كإحدى العلوم التي تدرس الطبيعة. إذن تسمية علم البلورات بعلم الكريستالوغرافيا لا ينطبق تمام على مضمونه الحالي الحديث والمتمثل في دراسة البنية الداخلية للبلورات [1]، حيث أنه مره بعدة مراحل عديدة من حيث التكوين البلوري.

من أبرزها كيفية تكوين البلورات ضمن المعادن، ويبحث في تأثير الخواص الفيزيائية من الضغط و الحرارة التي بدورها تؤثر على التركيبة البلورية للمعادن من أجل معرفة شكلها الداخلي أو الظاهري وكذلك تركيبها البلوري، ومعرفة التكوين البلوري لصخور و المعادن التي تحويها مثل: ZnS، NaCl، CaF<sub>2</sub>، CaO و SiO<sub>2</sub> وغيرها [2]. و يمكن الحصول على عدة خصائص متعلقة بالبلورة باستعمال طيف الانعراج و هو دالة لتغير شدة انعراج الأشعة السينية بدلالة الزاوية  $\theta$  بواسطة تركيب بلوري معين من خلال دراسة و تحليل هذا الطيف [3].

للبلورات خصائص كثيرة لكن ما نهتم به في دراستنا هو الخصائص البنيوية و المرورية فقط، هذه الخصائص تهتم بالكثير من معاملات أما في حالتنا سوف نهتم ببعض منها كما نسرد هنا:

### 2-2-I الخصائص البنيوية:

في الحقيقة هذه الخصائص كثيرة فمنها تحديد الأطوار و البنى المستقرة .... إلخ، لكننا سوف نهتم فقط بـ:

#### 1-2-2-I حجم الخلية إصطلاحية:

الخلية الواحدة الاصطلاحية و هي أصغر وحدة في الشبكة الفضائية، التي بتكرارها في الاتجاهات الثلاثة ينتج عنها البلور بنفس تماثلها. و يعطى القانون العام لحجم خلية الاصطلاحية بالعلاقة:

$$V = | \vec{a} \cdot \vec{b} \times \vec{c} | \quad \text{او} \quad V = | \vec{a} \times \vec{b} \cdot \vec{c} | \quad (1-I)$$

يستخدم هذا القانون لحساب حجم الخلايا الأولية و غير الأولية، حيث  $\vec{a}$ ،  $\vec{b}$  و  $\vec{c}$  المتجهات الانتقالية الأساسية [4].

#### 2-2-2-I النسبة الحجمية:

تعطى النسبة الحجمية بالعلاقة التالية:

$$VV_0 = \frac{v}{v_0} \quad (2 - I)$$

## 3-2-2-I كثافة المادة:

يمكن حساب الكثافة النظرية للمواد باستعمال العلاقة الآتية:

حيث تمثل  $\rho$  الكثافة النظرية ( $cm^3/g$ ) و  $N$  يمثل عدد الذرات في خلية الوحدة.

$V$ : يمثل حجم خلية الوحدة ( $cm^3$ ) و  $Na$  يمثل عدد افكادرو =  $3.023 \cdot 10^{23}$  (atom/mol).

$A$ : يمثل الوزن الذري [4]g/mol.

## 3-2-I الخصائص المرورية:

تمتلك الأجسام الصلبة خاصية المرونة وذلك لكتسابها طبيعة العودة إلى هيئتها وأشكالها الأصلية، بعد توقف تأثير القوى التي أدت إلى التغيير في أشكالها، فبمجرد أن تتعرض بلورة إلى قوة شد خارجية تزداد المسافة بين الذرات وتنزاح عن مواضع الإتزان الأصلية، وهذا يؤدي بالضرورة إلى الإخلال بحالة اتزان قوى التجاذب والتنافر بين الذرات مما يؤدي إلى توليد قوى داخلية تميل إلى إعادة الذرات إلى مواضعها الأصلية،  $S_{ijkl}$  فتسمى بمعاملات المرورية [5].

## 1-3-2-I المعاملات المرورية:

(1) - معامل القص  $G$ :

نعتبر عينة على هيئة متوازي مستطيلات، ونطبق عليها إجهادا مماسيا نرسم له بالرمز  $\tau$  على أحد وجوهها، فإن العينة سوف تعاني تشوها نسبيا مشكلة زاوية معينة و نرسم لها بالرمز  $\theta$  كما في الشكل (I-5). كذلك يسمى الإجهاد المطبق  $\tau$  بإجهاد القص في حين يسمى التشوه الناتج بالانفعال الزاوي  $\gamma$  و يكتب بالعلاقة التالية [5]:

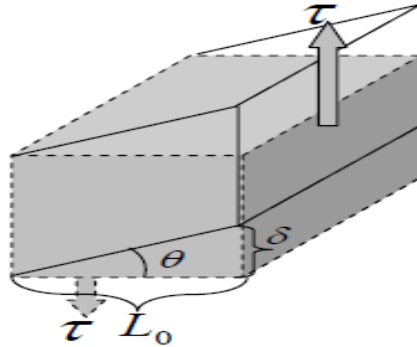
$$\gamma = \tan(\theta) = \frac{\delta}{L_0} \quad (4 - I)$$

في مجال المرونة تكون  $\theta$  صغيرة نسبيا فإن  $\tau \propto \gamma$  ومنه يمكن أن نكتب ما يلي:

$$\gamma \cong \theta(\text{radian}) \cong \frac{\delta}{L_0} \quad (5 - I)$$

حيث أن:  $\tau = G$

ثابت التناسب:  $G$  يسمى معامل القص ويعطى بوحدة الإجهاد حيث  $\gamma$  بدون وحدة.



الشكل (1-1): يوضح عملية القص والإجهاد [5].

هذا المعامل يقيس مقاومة الصخور لتغيير الشكل، توجد طريقتين لحساب هذا المعامل انطلاقاً من ثوابت المرونة و معامل الانضغاط الحجمي، وكانت نتائج أكثر دقة وهي المعتمدة في هذا البحث بطريقتي Hashin & Strekman و Voigt & Russ، أي يحسب معامل القص  $G$  انطلاقاً من ثوابت المرونة كالتالي [8]:

$$G = \frac{(G_V + G_R)}{2} \quad (6 - I)$$

بالنسبة للنظام المكعب:

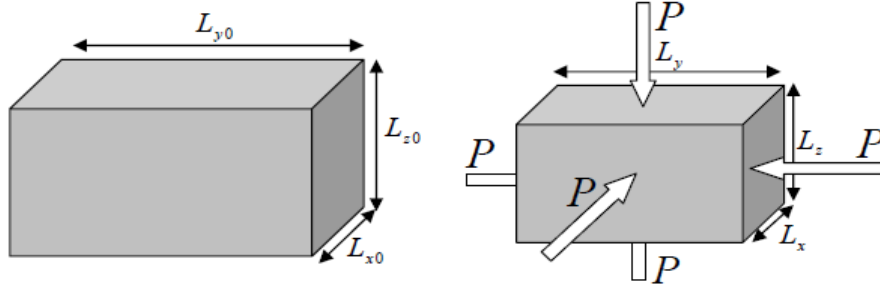
$$G_R = \left[ \frac{1}{5} \left( \frac{6[(C_{11} + C_{12}) + 4C_{13} + C_{33}]}{(C_{11} + C_{12})C_{33} - 2C_{13}^2} + \frac{1}{C_{11} - C_{12}} + \frac{2}{C_{44}} + \frac{1}{C_{66}} \right) \right]^{-1} \quad (7 - I)$$

$$G_V = \frac{1}{5} \left( \frac{C_{11} + C_{12} - 4C_{33} + 2C_{33}}{6} + \frac{C_{11} - C_{12}}{2} + 2C_{44} + C_{66} \right) \quad (8 - I)$$

(2) - معامل الانضغاط الحجمي K:

في الغالب توجد الأجسام عادة تحت تأثير الضغط الجوي  $P_0$  و أن أبعاد هذه الأجسام تكون مقاسة تحت تأثير الضغط الجوي، و لكن إذا أثرتنا بقوة منتظمة  $F$  على جسم مساحته  $A_0$  فإنه سوف ينشأ زيادة في الضغط مقدارها  $\Delta p$  و يتغير الضغط المطبق على الجسم  $P_0 + \Delta p$  مما يؤدي الي تغيير في

أبعاد الجسم، و هذا يعني أن الجسم واقع تحت تأثير إجهاد مساوي للفرق، اذا كانت لدينا عينة من مادة متماثلة المناحي بهيئة متوازي مستطيلات تخضع الي ضغط هيدروستاتيكي كما في الشكل (I-7).



الشكل (I-2): يمثل الأنضغاط هيدروستاتيكي [5].

يرتبط الإنفعال الحجمي  $\Delta V/V_0$  بتغير الضغط  $\Delta P$  بمعامل يسمى معامل الانضغاط الحجمي  $K$ ، و يكون مقدار هذا المعامل في حالة الصخور الأرضية : 100 GPa. تعطى قيمته مباشرة في معظم العمليات الحسابية و الذي يعطى بالعلاقة التالية:

$$K = - \frac{\Delta P}{\left(\frac{\Delta V}{V_0}\right)} \quad (9 - I)$$

و يعطى كذلك بالعلاقة التالية [6]:

$$K = \frac{1}{2} (C_{11} + C_{12}) \quad (10 - I)$$

### 2-3-2-I سرعات الموجات المرورية:

من أهم الأمواج التي تعبر الأجسام الصلبة، في علوم الأرض هذه الأمواج تسمى الموجات الزلزالية الحجمية و هي التي تعبر الطبقات الداخلية للأرض و هي [10]:

#### (أ)- الأمواج الأولى (P):

تسمى أيضا الأمواج الانضغاطية أو الطولية سرعتها  $V_p$  حيث تنتقل المادة في نفس إتجاه انتشار

الموجة، مما يؤدي إلى الأنضغاط و التمدد بالموازاة مع إتجاه انتشار الموجة:



$$V_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4G}{3}}{\rho}} \quad (11 - I)$$

حيث: كثافة المادة  $\rho$  ومعامل الانضغاط الحجمي  $K$  و القص  $G$  للمادة.

(ب)- الأمواج الثانوية (S) :

ويطلق عليها أمواج القص أو الأمواج العرضية سرعتها  $V_s$  حيث تنتقل المادة عموديا على اتجاه انتشار الموجة و هي على هذا الأساس تنقسم إلى نوعين؛ عمودية و موازية لمستوى الإنتشار ولا تستعمل معامل الانضغاط للمادة وتعطى بالعلاقة التالية:

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (12 - I)$$

(ج)- السرعة الهيدروليكية:

أن السرعة  $V_f$  تلعب دورا هام في توزيع الكثافة في الطبقات الداخلية، ترتبط بمعامل الانضغاط الحجمي و الكثافة:

$$V_f^2 = V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2 = \frac{K}{\rho} \quad (13 - I)$$

ولتحديد قيمة سرعات الموجات المرورية يجب معرفة الثوابت.

### 3-I البلورات في علم الزلازل:

#### 1-3-I علم الزلازل:

هذا العلم يختص بدراسة إنتشار الأمواج في الطبقات المكونة للكواكب سواء كانت سائلة أو صلبة وتسمى أمواج هنا بالأمواج الزلزالية [11]، كذلك يدرس الصخور من ناحية القوى المؤثرة عليها و التي تعرضها إجهادات قد تؤدي قوتها إلى إحداث كسور في هذه الصخور، مما ينتج طاقة على شكل أمواج [12].

لهذا العلم عدة فروع من بينها علم الزلازل الكوني حيث يدرس اعماق الكواكب من حيث تكوينها وتركيبها من خلال معطيات ناتجة عن علم الزلازل.

### I-3-2 التقنيات المستخدمة في علم الزلازل:

هناك طريقتين مستخدمة للدراسة وقد أقرح العلماء هاتين الطريقتين الأولى عكسية وأخرى مباشرة:

#### I-3-2-1 الطريقة العكسية:

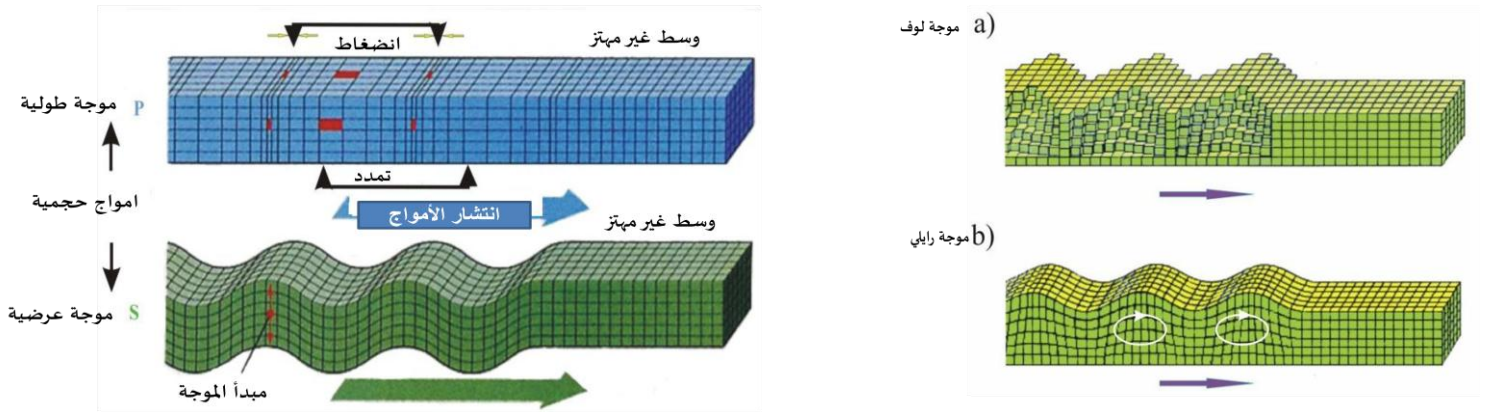
تتم هذه الطريقة بواسطة التحليل الطيف الناتج عن السيسموغراف، بطرق خاصة ومتعددة و نتائج هذا التحليل تقترح المكونات المادية لكل طبقة وهذه الاطياف تتكون من إشارات لأمواج مختلفة، ومن بينها النموذج PREM [13].

#### (أ)- الأمواج الزلزالية:

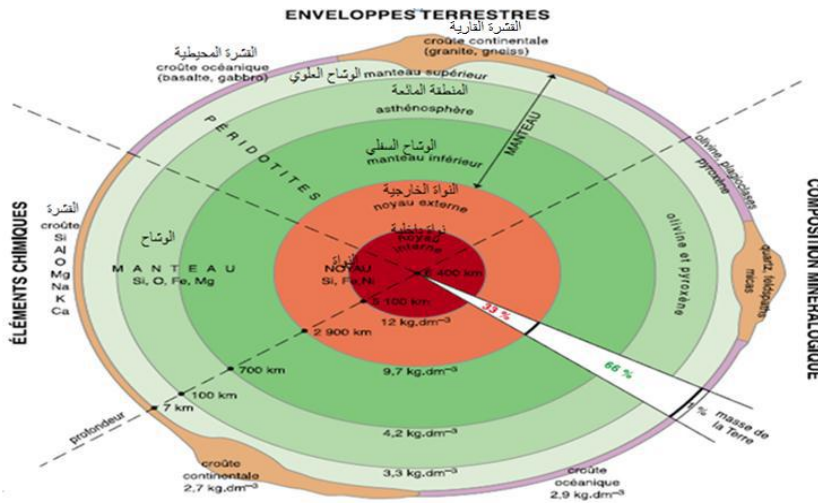
منها: أمواج حجمية تنتشر عبر كامل الطبقات الأرضية من بينها طولية وعرضية وهي لا تنتشر في الموائع [14]، أمواج سطحية تنتشر على السطح فقط وتصنف إلى أمواج لوف ورايلي [15].  
تأخذ ترتيب من الصنف الأول إلى الرابع في تسجيل السيسموغرام الناتج عن كشف الأهتزازات [14].

#### (ب)- نموذج PREM:

هذا النموذج يمثل تغيرات سرعة الموجات تبعا للعمق، وهو نموذج أحادي البعد بتمائل كروي وهناك نموذج ثاني بعده وهو نموذج (جيفريس-بولن) (1939) يستخدم أيضا لكن بصفة أقل [16]، أصبح اليوم عدة نماذج مختلفة قليلا منها LASP91 (1991) و Ak135 (1995) [17].  
من خلال نموذج PREM وجد أن الأرض تتكون من طبقات متراكبة و متعددة و كذلك موحدة المركز.



الشكل (I-3): يمثل اشكال الأمواج الزلزالية [14].



الشكل (I-4): بنية وتكوين داخلي للأرض المقابلة مع نموذج PREM [18].

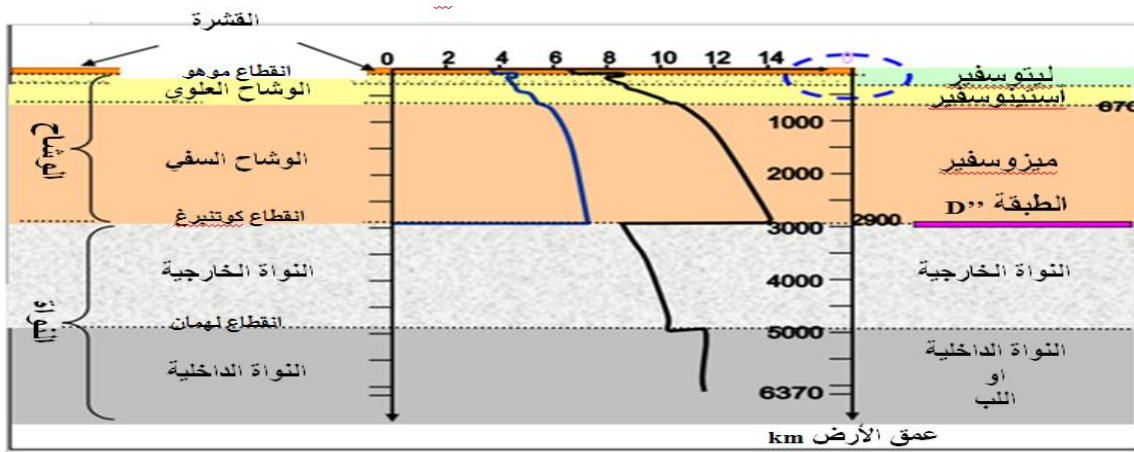
### I-3-2-2 الطريقة المباشرة:

تسمى بعلم الزلازل الحديث وتتم انطلاقاً من المواد تحت الشروط الترموديناميكية للطبقات الأرضية بفرض أنها مجموعة من الصخور أو المينيرالات المكونة من البلورات، و يستخدم الضغط في مكان العمق كمتغير و أن تأثير درجة الحرارة مهمة أمام التغير العالي للضغط [18]، تستعمل خلايا الماس كأداة لإنتاج الضغط العالي و الليزر كأداة للتسخين و محاكاة حسابية وطرق نظرية [19,20]،

يستعمل جهاز الحاسوب وهناك العديد من البرامج كمختبرات افتراضية تقدم لها معلومات خاصة بالمواد من أجل القيام بحساب مختلف الطرق المتوفرة عليها، ليعطي البرامج الكثير من الخصائص لهذه المواد والتي من خلالها يمكن استنتاج خصائص أخرى لمعرفة وجود المواد وطبيعتها في الطبقات الداخلية [21,22].

### I-3-3 البنية الداخلية للأرض:

سنقتصر على رسم الخطوط العريضة لهيكل الكرة الأرضية في شكل مخطط في الشكل أدناه، يوضح فئتين من التقسيمات الفرعية المستخدمة بالتوازي للجزء الداخلي من الكرة الأرضية. [25]



الشكل (I-5): مخطط يوضح البنية الداخلية للأرض على أساس الانقطاعات الرئيسية في سرعات

الموجات الزلزالية [24].

### I-3-3-1 تقسيم الطبقات الأرضية:

التي أبرزها التباين المفاجئ في سرعة الموجات الزلزالية للأرض، من الممكن التمييز من الخارج إلى الداخل (الشكل (I-10)):

#### 1- القشرة:

وهي الطبقة الخارجية التي تمثل 1.5% من حجم الأرض، وهي محدودة في القاعدة بسبب الانقطاع الكبير لمهوروفيتش، يجب أن نميز بين نوعين من القشرة:

- القشرة القارية، يبلغ متوسط سمكها 35 km (و لكن يمكن أن يصل سمكها إلى 70 km تحت سلاسل الجبال العالية).

- القشرة المحيطية رقيقة جدا (من 5 إلى 8 كيلومترات تحت المحيطات).

ترتبط الاختلافات في سمك القشرة ارتباطاً وثيقاً بظواهر التوازنات التي تنطوي على اختلافات في كثافة الصخور.

## 2- الوشاح:

الذي يمثل 82.5% من حجم الأرض، سمكها 2900 km، وهي محدودة في القاعدة بسبب الانقطاع الرئيسي لجوتنبرج، يمكننا التمييز داخل هذا الوشاح وحدتين:

- الوشاح العلوي الذي يمتد حتى 670 km.

- الوشاح السفلي الذي يتراوح عمقه بين 670 و 2900 km.

## 3- النواة:

التي تمثل 16% من الكرة الأرضية. يبلغ سمك النواة الأقصى 3300 km. تحتوي على:

- نواة خارجية، ويتراوح عمقها بين 2900 و 5150 km.

- نواة داخلية (أوبذور). يتراوح عمقها بين 5150 و 6370 km.

### I-3-3-2 التكوين المادي للطبقات الأرضية:

في اغلب الأحيان عندما نأخذ في عين الاعتبار السلوك المادي للمواد، اعتماداً على ما إذا كانت تتصرف مثل المواد الصلبة أو مثل المواد "اللينة، فإننا نميز:

## 1- الغلاف الصخري:

أو ليتوسفير وهو عبارة عن كتلة صلبة و التي تشمل القشرة و الجزء العلوي الصلب من الوشاح العلوي، يتراوح سمكها بين 5 km تحت المحيط و 100 km على مستوى القارات (شكل I-1)

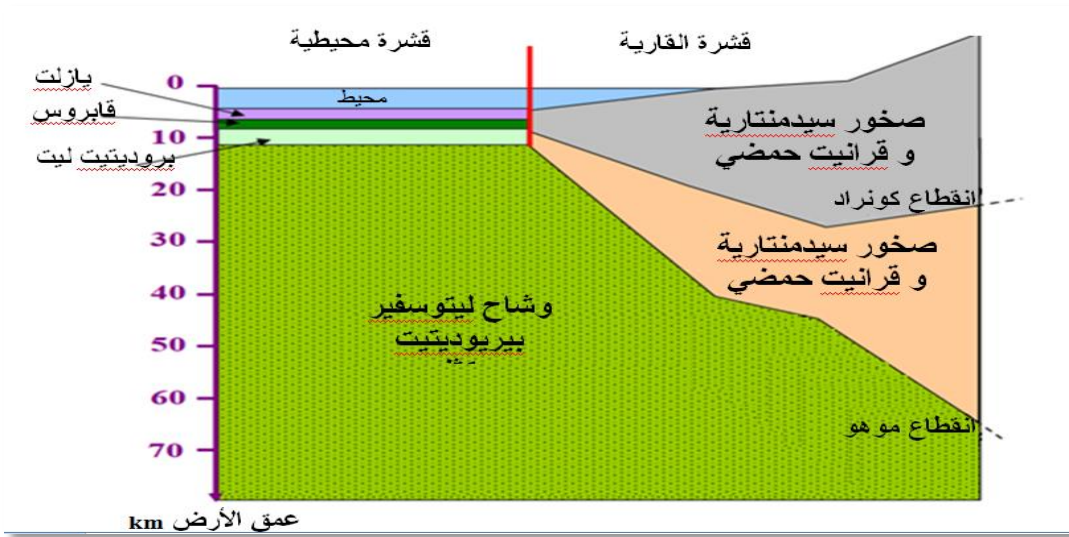
11)). يتم تمييز حده الأدنى بانقطاع الموجة الزلزالية المعروفة باسم LVZ (منطقة السرعة المنخفضة)، يتم توزيع كثافة الغلاف الصخري على النحو التالي:

- الجزء العلوي من القشرة القارية، الذي تقدر كثافته بـ  $(d=2.7 \text{ g/cm}^3)$ .

- الجزء السفلي من القشرة القارية، الذي تقدر كثافته بـ  $(d=3 \text{ g/cm}^3)$ .

- القشرة المحيطية، الذي تقدر كثافته بـ  $(d=3.2 \text{ g/cm}^3)$ .

- عند مستوى الوشاح العلوي الصلب، الذي تقدر كثافته بـ  $(d=3.4 \text{ g/cm}^3)$ .



الشكل (6-I): مخطط يوضح البنية الداخلية للأرض بناء على السلوك المادي للطبقات.

## 2- الاستبنوسفار:

عبارة عن منطقة "ناعمة" أو "بلاستيكية" تمتد من الحد الأدنى للغلاف الصخري إلى عمق 670 km

670، يتكون من بقية الوشاح العلوي، و الجزء العلوي منها عبارة عن منطقة ذات سرعة موجة

زلزالية منخفضة (LVZ)، والتي يبلغ سمكها حوالي 200 km. كثافته حوالي  $3.3 \text{ g/cm}^3$ .

## 3- الميزوسفير:

نجده على شكل كتلة "صلبة"، وهو مرادف للغطاء السفلي، يتميز الحد الأعلى (670 km)

بالزيادة المفاجئة في سرعات الموجات الزلزالية إلى غاية انقطاع جوتنبرج (2900 km). تزداد كثافته

أيضاً مع هذا العمق، من  $3.3 \text{ g/cm}^3$  إلى  $5.5 \text{ g/cm}^3$ .

**4- المنطقة D:**

تم تسليط الضوء عليها من خلال دراسة مفصلة لإرسال الموجة P أثناء زلازل قوي، وهي منطقة ناعمة يتراوح سمكها بين 200 و 300 km بين الطبقة السفلية و النواة الخارجية، دورها غير معروف حالياً.

**5- النواة الخارجية:**

عبارة عن طبقة سائلة بين الطبقة 'D' و انقطاع ليمان (Lehman). كثافته تزداد مع العمق، ينتقل من 9.5 إلى  $11.5 \text{ g/cm}^3$ .

**6- النواة الداخلية:**

عبارة عن طبقة صلبة تسمى البذرة. كثافته  $d$  تساوي  $12 \text{ g/cm}^3$ .

## الفصل الثاني:

عموميات حول  $\text{CaO}$ ،  $\text{SiO}_2$  والمينيرالات

## المكونة منها

## II-1- مقدمة:

من الأعمال السابقة المتناولة في الفصل الأول ومن اجل معرفة الخصائص المدروسة فيها وطرق دراسة من هاته الاعمال سوف نتطرق في هذا الفصل الى اهم الخصائص والطرق المدروسة للاكاسيد  $\text{CaO}$ ،  $\text{SiO}_2$  ولهذا الأعمال دراسات كثيرة، لذلك حاولنا الحصول على اكبر عدد منها من اجل دراسة الاكاسيد من حيث تركيبه وبنيته البلورية وكذلك استخداماته وعمومية المينيرالات، واهمية هاته الدراسة من خلال ما تطرقنا له في الفصل الاول، وحتى نبين العلاقة بين علم الزلازل وفيزياء الجسم الصلب قمنا بهذه الدراسة.

II-2- أكسيد الكالسيوم  $\text{CaO}$  :II-1-2 تشكيل  $\text{CaO}$  :

يعتبر أكسيد الكالسيوم ( $\text{CaO}$ ) الذي يطلق عليه مصطلح الكلس، هو عبارة عن مادة غيرمستقرة كيميائيا، يتواجد بشكل مسحوق أبيض يستخلص بواسطة عملية تسخين كربونات الكالسيوم  $\text{CaCO}_3$  يدخل في صناعة الإسمنت كمادة أساسية، وكذا في صناعة الزجاج بمختلف أنواعه والنحاس والذهب [ 26 ] ، كما يستعمل أيضا في تصفية الحديد، حيث يضاف إلى خام الحديد المنصهر ليتفاعل مع أكسيد السيليسيوم [ 27 ] ، إضافة إلى أنه مادة حرارية مهمة جدا في كثير من



التطبيقات الصناعية، حيث انه يتفاعل مع الماء بسهولة ليعطي ماءات الكالسيوم، حيث ان هذه الأخيرة تكون أشد بياضا من الكلس. ويتواجد بشكل مسحوق كما في الشكل التالي:



الشكل (II-1): مسحوق الجير [28].

(أ) - خواصه الميكانيكية:

تتراوح قساوته ما بين 2 و 3 على سلم موهس، معامل تمدده ضئيل جدا بحيث يقدر بحوالي

$1.38 \times 10^{-7} \text{ m}/^\circ\text{C}$  وهذا لدرجات الحرارة المحصورة من  $T = 0^\circ\text{C}$  إلى  $T = 1700^\circ\text{C}$  درجة

الذوبانه عالية جدا  $T(f) = 2625^\circ\text{C}$  [29].

(ب) - خواصه الكيميائية:

من أهم خاصية يمتاز بها أكسيد الكالسيوم هو تفاعله مع الماء، فعند إضافة الماء له فإنه يعطي

ماءات الكالسيوم وحرارة شديدة منتشرة وفق المعادلة التالية [30]:



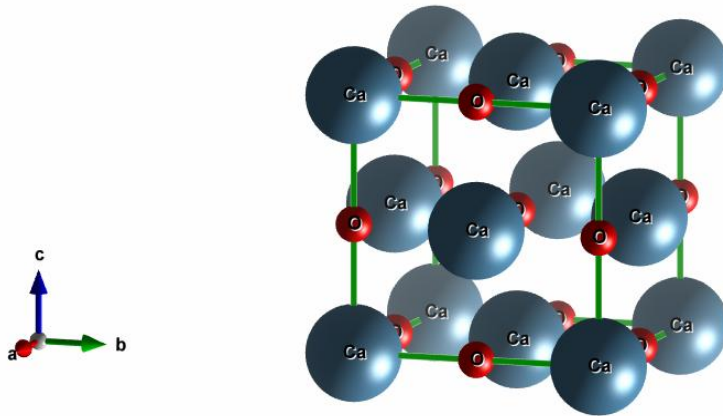
$$\Delta E = 16 \text{ cal/mol}$$

ناتج التفاعل عبارة عن مسحوق ذو حبيبات دقيقة جدا، ويرجع ذلك إلى سرعة التفاعل والطاقة

العالية الناتجة منه.

**II-2-2 التركيب البلوري لكسيد الكالسيوم :**

ان التركيب البلوري لبلورة أكسيد الكالسيوم عبارة عن شكلين مكعبين ممرکزي الوجوه ومتداخلين، ويتم ذلك بأضافة ذرة اكسجين إلي ذرة كالسيوم نتحصل على شبكة مكعبة بسيطة وكذلك يكون البعد بين كل ذرتين من نفس النوع مساويا  $a=4,18\text{\AA}$ . حيث بنيته تشبه بلورة ملح الطعام ذات الطور B1، في شروط المختبر أو الشروط الاعتيادية من الضغط ودرجة الحرارة يكون أكسيد الكالسيوم على شكل جسم صلب بلوري كما في الشكل (2-II) ادناه، حيث الكريات البيضاء هي أيونات  $\text{O}^{-2}$  والايون  $\text{Ca}^{+2}$  الذي يمثل الكرات الحمراء الكبيرة محاط بستة ايونات من  $\text{O}^{-2}$ ، التي تدخل في الثقوب الاوكتاهدرا التي خلفتها الأيونات الكبيرة بينها [31]، وعلى الرغم من أن الاختلاف الملحوظ في نصف القطر  $\text{O}^{-2}$  و  $\text{Ca}^{+2}$  يمنحها طاقة شبكة بلورية كبر من طاقة أكسد المغنيزيوم  $\text{MgO}$ ، لذلك تعبر هذه البنية عن الطابع الأيوني لهذا الأكسيد إلى أقصى حد [32].



الشكل: (2-II): بنية الخلية الأولية لأكسد الكالسيوم [29].

بالإضافة إلى ذلك يمتلك هذا الأكسيد خاصية مثيرة للاهتمام تتمثل في كونه مضئ بالحرارة، هذا يعني أن قطعة من أكسيد الكالسيوم تتعرض للهب يمكن أن تتوهج بضوء أبيض شديد، أيونات  $\text{Ca}^{+2}$  عند ملامستها للنار، فإنها تسبب لها أحمر اللون [33].

**I-2-3 استخداماته:**

أن أكسيد الكالسيوم له استخدامات عديدة ومن أكثرها الصناعية منها، وهذا ما سوف نوضحه أدناه. فإذ من حيث الصناعة يستخدم في التفاعل مع ثاني أكسيد الكبريت من غاز عادم السيارات أو غيرها من منتجات هذا الأخير، وكذلك يستعمل أكسيد الكالسيوم في تخليق الأسيتيل  $(CH \equiv CH)$  الذي يعمل لاستخلاص الفوسفات من مياه الصرف. توجد كذلك لاستخدامات الأخرى أكثر أهمية لأكسيد الكالسيوم، ومنها [34]:

**أ- استخدامه في صناعة الزجاج:**

يتم خلط الجير وكربونات الصوديوم  $(Na_2CO_3)$  والمواد المضافة الأخرى مع المادة الخام لإنتاج أكسيد السيليكون ويتم تعريضها للتسخين، ينتج عن هذا الخليط مادة صلبة زجاجية، ومن ثم يتم تسخين هذه المادة ووضعها في قوالب لتعطينا أشكال معينة.

**ب- استخدامه في قطاع التعدين:**

نجد الصخور الكلسية في الطبيعة من تلقاء نفسها، لذلك نجد الجير المطفأ أضخم من الجير الحي بسبب تفاعلات رابطة الهيدروجينية  $(H-O-O)$ ، يتم تحقيق ذلك عن طريق الملء مسامات الصخور بمزيج مضغوط من الجير والماء، حيث يحكم إغلاقها لتركيز الحرارة وقوة التمدد داخل الصخر.

**ج- استخدامه كعامل تحرير السيليكات:**

يندمج السيليكات مع أكسيد كالسيوم ليتكون سائل اتحاد، الذي يتم استخراجها من المادة الخام لمنتج معين. نجد خامات الحديد التي هي المادة الخام لإنتاج الحديد والصلب المعدني. تحتوي هذه المعادن على السيليكات، وهي شوائب غير مرغوب فيها في العملية ويتم إزالتها بالعملية الموضحة أعلاه.

**د- استخدامه في إنتاج مثل الملاط:**

أن عملية خلط أكسيد الكالسيوم ( $\text{CaO}$ ) مع الرمل ( $\text{SiO}_2$ ) والماء، يؤدي الي تكوين خليط مع الرمل الذي يبطئ التفاعل مع الماء لتشكيل الجير، الذي بدوره يذيب  $\text{CO}_2$  من الهواء في الماء ويتفاعل مع الملح لتشكيل كربونات الكالسيوم:



من نواتج هذه العملية كربونات الكالسيوم ( $\text{CaCO}_3$ ) وهو مركب أكثر مقاومة وأصعب أكثر من أكسيد الكالسيوم ( $\text{CaO}$ ) و الذي له تأثير تصلب الملاط (الخليط السابق) و تثبت الطوب أو الكتل أو السيراميك ببعضها البعض أو على السطح المطلوب.

#### 4-2-II أهمية في علوم الأرض :

كبقية الأكاسيد التي تشكل البنية الأساسية للقشرة الأرضية [35] من جهة، وكذلك يدخل هذا الأكسيد في تركيب منيرال Magnésiwüstite [36]، والاعتقاد السائد انه يشكل البنية الأساسية للوشاح الأرضي السفلي وان نسبته لا تتجاوز % 2 [37]. تطرقة أغلب الدراسات لتغير خصائصه بتغير العمق في باطن الأرض، إذا ينوب الضغط فيها العمق على أساس التأثير الضعيف لدرجة الحرارة. وهو ما تأكده الدراسات السابقة، التي سوف نطلع عليها.

#### 5-2-II دراسات سابقة حول $\text{CaO}$ :

أن أغلب الدراسات حسابية تقريبا من جهة، فبعد البحث لم نتمكن من الحصول إلا على دراسة تجريبية واحدة، أذن الدراسات التي تناولت أكسيد الكالسيوم ليست بالكثيرة. ومن اهم هذه الدراسات مايلي:

#### 1-5-2-II عمل RAYMOND JEANLOZ ورفاقه 1979 :

درس التحول الطوري لأكسيد الكالسيوم حسابيا و تجريبيا، بالإضافة للإشارة لأهميته في تكون الطبقات الأرضية العميقة [38].

**II-2-5-2: عمل Philippe D'Arco ورفاقه 1992:**

باستخدام برنامج CRYSTAL، المتضمن للعديد من طرق الحسابية و الخاصة بالغالب بدراسة التحول الطوري الذي اهتمت به هذه الدراسة دون غيره من الخصائص الأخرى [38].

**II-2-5-3: عمل M. J. Mehl و R. E. Cohen 1998:**

استخدمت طريقة LAPW ضمن تقريب LDA حيث درسوا التحول في الطور ل  $\text{CaO}$  و الثوابت المرنة و معامل القص و هذا تحت ضغوط عالية و لم توضح درجة حرارة الدراسة [39].

**II-2-5-4: عمل Karki و Jason Crain 1998:**

درس هنا أيضا الخصائص البنيوية (التحولات الطورية)، المرنة، معامل التماثل A و السرعات الموجية في الضغوط العالية تحت درجة حرارة فوق 1200 K. كان ذلك باستخدام طريقة الموجة المستوية، إذ إعتد الحساب على نظرية الكثافة الوظيفية DFT بتقريب LDA [40].

**II-2-5-5: عمل Renata M. Wentzcovitch و Bijaya B. Karki 2003:**

تناول هذا البحث و الخاص بأكسيد الكالسيوم فقط الخصائص الحرارية (معظم المعاملات ما عدى درجة حرارة ديباي)، التحول الطوري بتغير الضغط و درجة الحرارة و تغير حجم الخلية الأولية بتغير الضغط فقط. مستعملا طريقة شبه الكمون بتقريب LDA [41].

**II-2-5-6: عمل H. Baltache ورفاقه 2004:**

استخدمت هنا كذلك تقريب LDA لكن بطريقة FP-LAPW، حيث شملت هذه الدراسة قيم للخصائص البنيوية، المرنة (ثوابتها) و الالكترونية (حزمة المنع). لكن هذه الدراسة لم تنفرد بأكسيد الكالسيوم، بل تطرقت كذلك لأكسيدي القصدير و المنغنيز [42] [43].

**II-2-5-7: عمل J. C. Schön 2004:**

كسابقتها تطرقت هذه الدراسة للعديد من الأكسيد مشابهة لأكسيد الكالسيوم، باستخدام طريقة مدمجة في برنامج CRYSTAL2003، متناولة للخصائص البنيوية و التحول الطوري [43].

**8-5-2-II عمل L.Louail ورفاقه 2006:**

هذا العمل اهتم بدراسة تأثير الضغط على الخصائص البنيوية و المرونية ل  $\text{CaO}$ ، و ذلك بتغيير الضغط من 0-140 GPa عند درجة الحرارة 0 K. هذه الدراسة قامت على إجراء عمليات حسابية باستخدام نظرية الموجة المستوية المحتواة في برنامج CASTEP، بالاعتماد الحسابات على نظرية الكثافة الوظيفية DFT بتقريب GGA [44].

**9-5-2-II عمل Ye Deng ورفاقه 2007:**

هنا استخدمت الدراسة على نظرية الموجة المستوية، بالاعتماد على بطريقة DFT. إذ تطرقت كذلك كسابقاتها إلى التحول الطوري، ثوابت المرونة، معامل القص و معامل التماثل A و ذلك بتغيير الضغط دائما و كذلك تحت درجة حرارة الصفر المطلق [45].

**10-5-2-II عمل A.Jemmy Cinthia ورفاقه 2014:**

تعتبر هذه الدراسة شاملة إلى حد بعيد من غيرها، لأنها تطرقت لمجمل الخصائص ما عدى الخصائص الضوئية، إذ تناولت التحول الطوري، ثوابت المرونة، معاملاتهما، معامل عدم التماثل A، سرع موجات المرونة و أخيرا درجة حرارة ديباي. حيث كان التطرق لتغير معظم العوامل المدروسة بتغيير الضغط فقط، و كان ذلك باستخدام برنامج VASP ( Vienna Ab-initio Simulation ) Package [45].

**11-5-2-II عمل S. Labidi ورفاقه 2017:**

بواسطة التقريبات التالية؛ EVGGA، MBJGGA، GGA، LDA المحتواة ضمن الطريقة FP-LAPW، درس هذا البحث الخصائص البنيوية (ثابت البنية)، معامل الانضغاط الحجمي، الخصائص الالكترونية (الفاصل الممنوع)، الخصائص الضوئية (ثابت العزل) حيث قدم هذين المعاملين الأخيرين بتغيير الضغط [46].

### 3-II-3 عموميات حول $SiO_2$ :

#### 1-3-II-3 تشكيل $SiO_2$ :

ثاني أكسيد السيلكون الذي يطلق عليه مادة السليكا و المعروف بقساوته، حيث يتكون من العنصرين الأكثر وفرة في القشرة الأرضية ( $Si$  و  $O$ ) حيث تتألف من ذرة واحدة من السيلكون واثنين من ذرات الأكسجين.  $SiO_2$  يتم العثور على ثنائي أكسيد السيلكون عادة في حالة متبلورة ونادرا ما تكون في حالة غير متبلورة [47]، و هو عبارة عن مسحوق (رمل - غير متبلور) لونه شفاف صلب أبيض (أبيض مصفر)، كتلته المولية  $60.08 \text{ g/mole}$ ، كثافته  $2.96 \text{ g/cm}^3$ ، اما الكوراتز ( $\alpha$ -quartz)  $2.648 \text{ g/cm}^3$ .

#### أ - الخواص الفيزيائية:

أن ثاني أكسيد السيلكون صلب جدا وقوي، بسبب الرابطة التساهمية القوية بين  $Si-O$  وبسبب غياب الإلكترونات الحرة في التركيبة الجزيئية فإن ثاني أكسيد السيلكون يمتاز بأنه رديء التوصيل للكهرباء، درجة انصهار  $SiO_2$  عالية جدا، لأن الرابطة القوية التساهمية بين السيلكون-أكسجين في ( $SiO_2$ ) لا يمكن كسرها إلا عند درجة حرارة عالية وهي في حدود  $1700^\circ C$  [48]:

الخاصية	الوحدة	السليكا البلورية	السليكا غير البلورية
درجة الانصهار	م <sup>2</sup> .	حوالي 1700	حوالي 1700
الكثافة	جم/سم <sup>3</sup> .	2.6	2.2
معامل الانكسار	---	1.46	1.46
المقاومة النوعية	أوم.سم	$10^{12} - 10^{16}$	$< 10^{18}$
التوصيلية الحرارية	واط X م/°K	1.3	1.4
نسبة بواسون	----	0.17	0.165
معامل التمدد الحراري	$10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .	$7.64 \times 10^{-7}$	$5.4 \times 10^{-7}$

الجدول (1-II-3): الخواص الفيزيائية لثنائي أكسيد السيلكون البلوري وغير البلوري [47].

ب- الخواص الكيميائية:

ثاني أكسيد السيلكون يتفاعل مع قليل من المواد العنصرية أو المركبة أو الأحماض المخففة أو المركزة وخاصة عند درجات الحرارة والضغط العادية ودون وجود مواد محفزة للتفاعل [48].

المعادلة الكيميائية	المتكونة-----	ظروف التفاعل	مادة التفاعل
$SiO_2+2KOH$ $K_2SiO_3+H_2O$ $SiO_2+2NaOH$ $Na_2SiO_3+H_2O$	سيليكات البوتاسيوم  أوسيليكات الصوديوم	$SiO_2$ بلوري يذوب ببطء في محلول قلعي ساخن ولكن الغير بلوري يذوب فيه عند درجة حرارة الغرفة	1- قاعدة قوية مثل $KOH, NaOH$
$SiO_2+6HF$ $H_2SiF_6+2H_2O$	حمض الهيدروفلوريك $(H_2SiF_6)$	الكورتز البلوري لا يتفاعل مع الأحماض الأخرى ولكنه يذوب في الحمض والتفاعل يتم في درجات حرارة الغرفة	2- حمض الهيدروفلوريك
$SiO_2+K_2SiO_3$ $K_2SiO_3+CO_2$ $SiO_2+Na_2CO_3$ $Na_2SiO_3+CO_2$	سيليكات الصوديوم $SiO_3$ سيليكات البوتاسيوم $K_2SiO_3$	يتفاعل مع مصهور كربونات الصوديوم ومصهور البوتاسيوم	3- كربونات الصوديوم $Na_2SiO_3$ كربونات البوتاسيوم $K_2SiO_3$
$3SiO_3+3CaCO_3 \rightarrow$ $=$ $Ca_3Si_2O_9+3CO_2$	سيليكات الكالسيوم $Ca_3Si_2O_9$	عند درجة حرارة عالية 600 مئوية الكوارتز مع القواعد مثل الحجر الجيري أو كربونات الكالسيوم	4- كربونات الكالسيوم $CaCO_3$

الجدول (2-II): تفاعل ثاني أكسيد السيلكون مع بعض المواد [48].

ج- هلام السليكا:



هو مادة مسامية وخاملة كيميائية. وهي شكل من أشكال ثاني أكسيد السيلكون غير المتبلور و هي مادة شديدة الإمتصاص للرطوبة، وذات درجة حموضة. لديها شبكة داخلية متكونة من مسامت مجهرية متصلة، من أهم مميزات السليكا جل أنها تعتبر مادة مجففة وتمتص الغازات حيث يتم إمتصاص جزيئات الماء أو امتصاصها بواسطة هذه المسامات الدقيقة حتى يتحقق توازن ضغط البخار مع الرطوبة بنسبة للهواء المحيط [49].

### II-3-2 التركيب البلوري $\text{SiO}_2$ :

ثاني أكسيد السيليسيوم  $\text{SiO}_2$  من بين المواد الأكثر وفرة والأكثر استعمالا ويتميز بتعدد بنيته البلورية و يوجد على حالتين أساسيتين:

#### • حالة جافة $\text{SiO}_2$

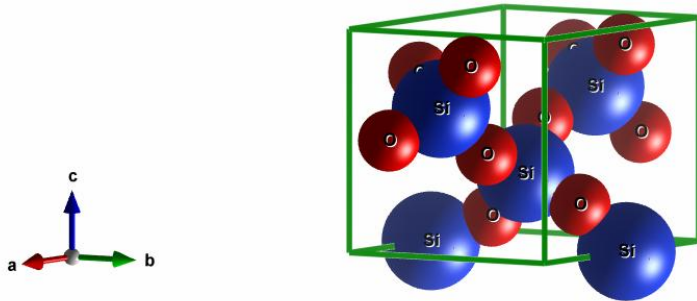
(أ) - متبلورة : تشتمل على ثلاثة أنواع بلورية وهي : الكوارتز و التريديميت و الكريستوباليت.

(ب) - لا بلورية : زجاج السيليس.

#### • حالة ممهية $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

الشيء الذي له أهمية كبيرة في تكوين الصخور، بوجود الماء يمكن للسيليس أن يتحول إلى عجين.

حيث  $n$  متغيرة وغالبا ما تساوي 3 أو 4 [50]



الشكل (II-3): يمثل البنية البلورية لثنائي أكسيد السيلكون للكريستوباليت [50].

-الجدول التالي يوضح الجدول التالي يوضح اهم الصيغ البلورية لثنائي أكسيد السيلكون:

الصيغة	رتبة التبلر	السمات	ملاحظات
الكوارتز A	رومبو هيدرال ثلاثي	سلاسل لولبية، لتشكيل بلورات أحادية	كوارتز.. يتحول إلى كوارتز B عند 573م°
كوارتز B	سداسي	مرتبط جدا مع كوارتز $\alpha$ (وبزاوية Si-O مقدارها 155°) ونشط بصريا	
ترايديميت $\alpha$	سداسي الأضلاع	مرتبط جدا مع كوارتز $\alpha$	ترايديميت B يتحول إلى كريستوباليت B عند 1405م°
كريستوباليت $\alpha$	رباعي	شكل غير ثابت تحت الضغط العادي	
كريستوباليت- $\beta$	مكعب	مرتبط جدا مع كريستوباليت	ينصهر عند 1705م°
عنصر السيليكون رتبة فلز، الرمز Si العدد الذري 4 والكتلة الذرية 28.0855 وللون فضي لامع - الحالة - صلب حتى درجة 298 مطلقة درجة الانصهار 1414م° درجة الغليان 2900م° الكثافة 2330 كجم/م <sup>3</sup> .		غبار سيليكيا بأقصى مساحة سطحية مقدارها 380م <sup>2</sup> /جم انواع السليكا: الكوارتز والزيولايت (تبادل ايوني)	

الجدول (3-II): الصيغ البلورية لثنائي أكسيد السليكون المهمة [48].

### 3-3-II استخداماته:

يستهلك ما يقدر نحو 95 % من ثنائي أكسيد السليكون في صناعة البناء على سبيل المثال لإنتاج الإسمنت، فالسليكا يستخدم أساسا في إنتاج الزجاج للنوافذ، زجاجات المشروبات و العديد من الإستخدامات الأخرى، فمعظم الألياف البصرية السلكية و اللاسلكية مصنوعة من السليكا. تتراوح التطبيقات لديها من المواد الهيكلية إلى الالكترونيات الدقيقة إلى المكونات المستخدمة في صناعة الأغذية. وتوجد اتخدمات اخرى منها [47]:

سيراميك، السفع الرملي البناء، أصباغ، التكسير الهيدروليكي ودعم في صناعة النفط، تصفية المياه.

**II-3-4 أهميته في علوم الأرض:**

فالسليكا هي الأكثر شيوعاً في الطبيعة مثلاً لكوارتز، إذ انها المكون الرئيسي للرمال فهي الأكثر تعقيداً والأكثر وفرة من المواد الموجودة على حد سواء كما العديد من المعادن ويكون إنتاجها صناعياً، وتشمل الأمثلة المنصهرة البارزة الكوارتز المنصهر، السليكا المدخنة (الحمضية)، هلام السليكا. يتم الحصول على ثنائي أكسيد السليكون في الغالب عن طريق تعدين وتنقية الكوارتز، يضم أكثر من 10 % من كتلة القشرة الأرضية. تم إنتاج ما يقرب من مليار كيلو غرام سنة 1999 من السليكا.

**II-3-5 دراسات سابقة:****➤ عمل Louise Levien (1980):**

درس Louise Levien في 1980 ورفاقه الخصائص البنيوية والميكانيكية بواسطة الأشعة السينية (RX) فتطرق إلى كل من معامل القص و الثابت الحجمي، أجريت التجارب عند 150 Kbar إذلم يظهر أي دليل لإنتقال المرحلة على الرغم من أن العينة قد تعرضت لضغوط أعلى لتحويل Quartz إلى Coesite و Stishovite، تم جمع البيانات الانضغاطية في معدن منخفض القص كوسيلة لنقل الضغط فوجدنا البيانات عند الضغط المنخفض ليست دقيقة مثل البيانات ذات الضغط العالي، أما بالنسبة للثابت الحجمي  $V/V_0$  لا يعطي صورة دقيقة للبيانات [51].

**➤ عمل B B.Karki et al (1997):**

لدراسة الخصائص البنيوية و الميكانيكية تعرض كل من B B.Karki و رفاقه في 1 أوت 1997 بواسطة المحاكاة الديناميكية لتحول الطور و معامل القص. يظهر تحول  $\text{SiO}_2$  من مرحلة Stishovite إلى  $\text{CaCl}_2$  في حوالي 47 GPa و هذا التحول مثال جيد على عدم استقرار القص تحت الضغط الهيدروستاتيكي.

وفي 15 ديسمبر 1997 تعرض كذلك إلى نفس الخصائص السابقة بالإضافة إلى الخصائص الزلزالية حيث تطرق إلى تحول الطور و السرعات الموجية الطولية و العرضية بواسطة طريقة الموجة

الكاذبة (تقريب الكثافة المحلية) بتغير الضغط، فتنخفض السرعة العرضية بسرعة ( بنسبة % 60 ) و يزداد التباين بسرعة بين 40 GPa ألى 47 GPa قبل الانتقال من Stishovite إلى  $\text{CaCl}_2$  في 47 GPa ويرافق التحول من  $\text{CaCl}_2$  الي Colombite في 98 GPa، يتم تحديد معامل الصلابة المرنة ( $c_{ij}$ ) ستة ل Stishovite و تسعة ل ( $\text{CaCl}_2$  و Colombite) من السليكا كدالة للضغط تصل إلى 140 GPa.

و تختلف سرعة الموجات الطولية بنسبة % 23 عند الضغط 0 GPa و % 23 بالقرب من نقطة الانتقال من Stishovite إلى  $\text{CaCl}_2$  عند 46 GPa، كما يزداد تباين الاستقطاب في نفس مدى الضغط بالقرب من هذا التحول أما  $\text{CaCl}_2$  يظهر اختلافات كبيرة في السرعات عند 50 GPa ولكن بالنسبة ل Colombite هو أضعف بكثير من الاثنين [52].

#### ➤ عمل 1990 T.Yagi et al :

في 1 ديسمبر 1990 قام T.Yagi ورفاقه بدراسة الخصائص البنيوية حيث تعرض لتحول الطور بتغير الضغط بواسطة الأشعة، حيث أوضح إرتفاع الضغط أن Stishovite يتحول إلى بنية  $\text{CaCl}_2$  تحت الضغط 80 GPa وكذلك تحوله إلى  $\text{CaSiO}_3$  تحت الضغط 120 GPa، و على الرغم من أن  $\text{MgSiO}_3$  كثيفة جدا تستقر فوق 25 GPa، فنجد  $\text{CaSiO}_3$  استقر في 14 GPa و من أجل دراسة كل هذه الإحتمالات رصدت الملاحظات المباشرة لاستقرار  $\text{SiO}_2$  و  $\text{CaSiO}_3$  تصل إلى 120 GPa [53].

#### ➤ عمل 2007 Hajime Kimizika et al :

وجد Hajime Kimizika ورفاقه بعد دراسته للخصائص البنيوية، الزلزالية و الميكانيكية بواسطة الأشعة السينية والمحاكاة في 20 فيفري 2007 بتغير الضغط، حيث تعرض لكل من الموجات فوق الصوتية ومعامل الانضغاط الحجمي، فوصل إلى أن الموجات فوق الصوتية تقتصر على عدد قليل من جيغا باسكال و بريليون تم تطبيق ما يصل إلى 25 GPa [54].

#### ➤ عمل 2012 WieHua Wang :

درس 21 Wie Hua Wang جويلية 2012 تغير الخصائص الميكانيكية و الزلزالية بدلالة الضغط حيث تعرض لكل من ثابت الأنضغاط الحجمي، معامل القص و السرعات الموجية (الطولية و العرضية) [55].

#### ➤ عمل Tayeb Chihi et al 2013 :

في ديسمبر 2013 تعرض كل من Tayeb Chihi ورفاقه بواسطة المحاكاة إلى الخصائص المرونية و الزلزالية بدلالة الضغط، حيث تعرض لتغير كل من معامل القصور السرعات الموجية فوجد أن ل Stishovite سرعة الموجة الطولية تزيد بسرعة في المقابل تزيد السعة الموجية لمعامل القص ببطء شديد حتى الضغط 30 GPa [56].

#### ➤ عمل Carole Nisir et al 2014 :

تعرض Carole Nisir ورفاقه بواسطة حيود الأشعة السينية (RX) في 14 جانفي 2014 لتغير كل من تحول الطور وبدلالة الضغط، Stishovite هو مرحلة مستقرة من  $\text{SiO}_2$  عند الضغط أعلى من 10 GPa، فيتم تنفيذ (RX) على عينتين من Stishovite في 15 GPa و 26 GPa [57].

#### ➤ عمل Katharina Philipps et al 2017 :

في 21 فيفري 2017 درس كل من Katharina Philipps ورفاقها الخصائص البنيوية، الزلزالية و المرونية بتغير الضغط بواسطة نظرية الكثافة الوظيفية DFT و المحاكاة فتطرق إلى معامل الانضغاط الحجمي [58].

#### II-4 خلاصة الاعمال:

بعد الاطلاع على الدراسات السابقة، لاحظنا أن جميعها تعرض لبعض الخصائص التي تعرضنا لها في الفصل السابق كأهم خصائص بعلم الزلازل الكوني. كما لاحظنا أن الدراسات التي اعتمدت الحساب كل طريقة على حدى، وهناك القليل من الأعمال التي تحصل على النتائج.

## الفصل الثالث:

## العمل التطبيقي:

## حساب ومناقشة الخصائص البنيوية والمرونية لمينيرالات



## III-1 مقدمة:

بعد كل ما جاء في الفصلين الأولين أصبح بالإمكان الآن و في هذا الفصل التطرق للخطوات الرئيسية، و بالتالي عرض النتائج و مناقشتها. و حتى لا يكون هناك تكرار لما جاء في الأعمال السابقة من مذكرات تخرج تتماثل في شكلها بدراستنا، فضلنا الاختصار في تتبع خطوات الدراسة. اعتمادا علي ما جاء في الفصل الأول، حيث تم اختيار أهم الأعمال و أكثرها تناول للخصائص الفيزيائية لـ CaO بتغير الضغط. أو من خلال ما قدم في الفصل الثاني من ناحية نظرية لأهم معاملات تلك الخصائص، سوف نقوم في هذا الفصل بعرض طريقة الحساب لقيم تلك المعاملات عند ضغوط نموذج PREM ، و ذلك انطلاقا من قيمها و المتوفرة في الدراسات سابقة الذكر.

## III-2 طريقة الدراسة:

في هذه الدراسة سوف نتطرق للخصائص البنيوية و المرونية، إذ نهتم بمعاملات من كل خاصية دون الأخرى، حيث:

- من الخصائص البنيوية نتناول فقط: بحجم الخلية الاصطلاحية للبنية، نسبة هذا الحجم و كثافة المادة.

- من الخصائص المرونية نهتم فقط:

- معاملي المرونة: الانضغاط الحجمي و معامل القص.

- سرعات الموجات: الطولية، العرضية و الانضغاط الصوتي.

لأجل ذلك تنقسم الدراسة إلى الخطوات التالية:

### III-2-1 تحديد قيم المعاملات الأولية:

هي قيم المعاملات المحددة في الدراستين أساس دراستنا، حيث:

- ضمن عمل Louial et al لم يتم تحديد قيم كل من؛ كثافة المادة، معامل القص، سرعة موجة و الانضغاط الصوتي.

- أما ضمن عمل Zahir radi لم يتم تحديد قيم فقط كل من؛ كثافة المادة و سرعة موجة الانضغاط الصوتي.

### III-2-2 تحديد قيم المعاملات المتبقية:

هذه المعاملات يمكن حسابها بكل سهولة باستخدام القوانين التالية:

أ- حساب كثافة المادة:

$$Den = \frac{N(M_{Ca} + M_O)}{N_a V_c} \quad (1 - III)$$

ب- حساب معامل القص:

$$G = Den \cdot V_s^2$$

ب- حساب السرعة الهيدروليكية:

$$V_f = \sqrt{\frac{K}{Den}} \quad (2 - III)$$

### III-2-3 تحديد قيم المعاملات عند ضغوط نموذج الزلزالي PREM:

باستخدام الاستقطاب الرياضي، يمكن تحديد كثيرات الحدود المتحكمة في تغير كل معامل

بتغير الضغط ضمن مجالات محددة.

$$P_n = \sum_{i=1}^n a_i x^i \quad (3 - III)$$

4- تحديد قيم معاملات مركبات  $(Ca_x, Si_{(1-x)})O_3$ : هذا يكون باستعمال قوانين Hashin &

Shtrikman، وهي كالتالي:

أ- حجم الخلية الاصطلاحية:

$$V = \sum_i x_i V_i \quad (4 - III)$$

ب- الكثافة:

$$\rho = \frac{1}{V} \sum_i x_i M_i \quad (5 - III)$$

ج- الكسر الحجمي:

$$v_i = \frac{x_i V_i}{V} \quad (6 - III)$$

د- معاملي المرونة الانضغاط الحجمي والقصي:

يحسبان بعلاقة Hashin-Shtrikman، حيث:

بالنسبة لمعامل الانضغاط فإن:

$$\begin{aligned} K_{HS-} &= K_1 + \frac{A_1}{1 + \alpha_1 A_1} & K_{HS+} &= K_N + \frac{A_N}{1 + \alpha_N A_N} & K_{HS} \\ &= \frac{K_{HS-} + K_{HS+}}{2} \end{aligned} \quad (7 - III)$$

إذ تحسب  $\alpha_i$  و  $A_i$  كالتالي:

$$\begin{aligned} \alpha_i &= \frac{-3}{3K_j + 4G_j} & A_1 &= \sum_{i=2}^N \frac{v_i}{(K_{S_i} - K_1)^{-1} - \alpha_1} & A_N \\ &= \sum_{i=1}^{N-1} \frac{v_i}{(K_{S_i} - K_N)^{-1} - \alpha_N} \end{aligned} \quad (8 - III)$$



أما بالنسبة لمعامل القص فإن:

$$G_{HS-} = G_1 + \frac{B_1}{1 + \beta_1 B_1} \quad G_{HS+} = G_N + \frac{B_N}{1 + \beta_N B_N} \quad G_{HS}$$

$$= \frac{G_{HS-} + G_{HS+}}{2} \quad (9 - III)$$

إذ تحسب  $\beta_i$  و  $B_i$  كالتالي:

$$\beta_i = \frac{-3(K_J + 2G_J)}{5\mu_J(3K_J + 4G_J)} \quad B_1 = \sum_{i=2}^N \frac{v_i}{[2(G_i - G_1)]^{-1} - \beta_1} \quad B_N$$

$$= \sum_{i=1}^{N-1} \frac{v_i}{[2(G_i - G_N)]^{-1} - \beta_N} \quad (10 - III)$$

ملاحظة:  $i$  يتغير على حسب القطب الني المشكل للمينيرال.

أما سرع الموجات فيكون كما تقدم في الفصل الأول أي حسب العلاقات ((19-I)، ((20-I)، ((21-I).

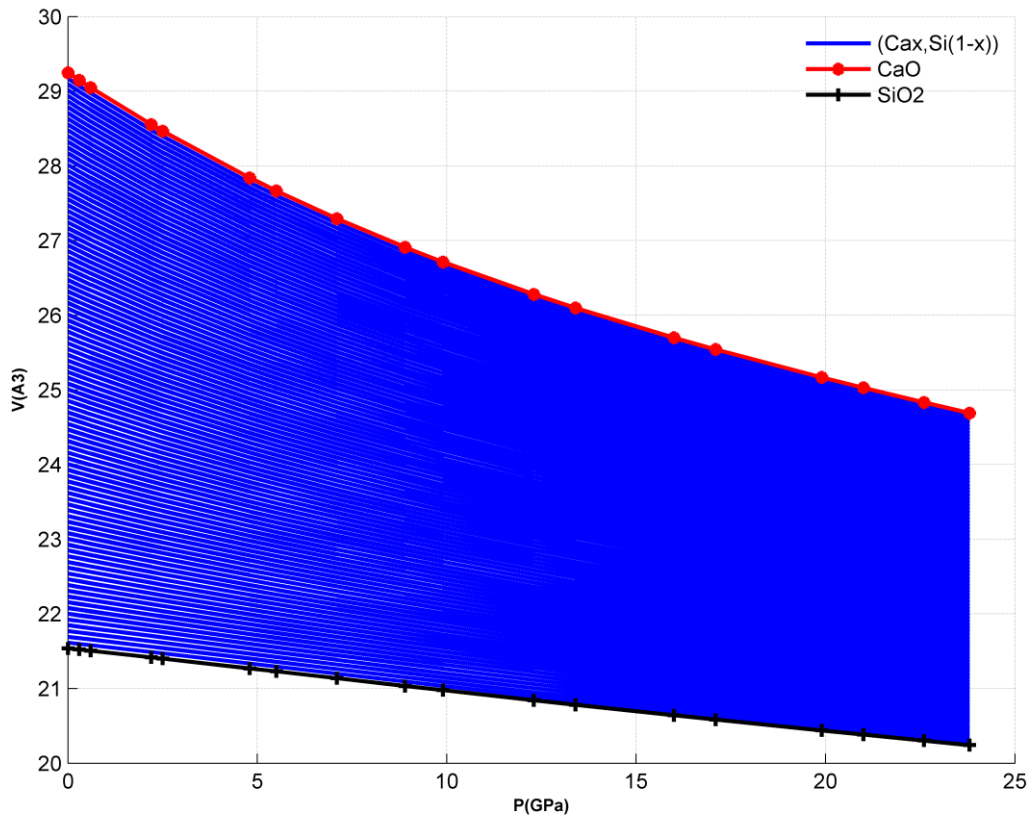
((21

## 3-III عرض وتحليل النتائج:

## 1-3-III الخصائص البنيوية:

من الواضح من خلال الشكل (1، 2 و 3) أن الزيادة في الضغط تؤدي فعلا لانخفاض في حجم الخلية الاصطلاحية ونسبتها لكل من الأكسجين ومركباتهما، بينما كثافة المادة تزايد.

حجم الخلية الاصطلاحية الخاص بأكسيد الكالسيوم يكون دوما أعلى، بينما العكس بالنسبة لكثافة المادة. أما النسبة الحجمية الخاصة بهذا الأكسيد تكون أعلى فقط بعد الضغط 7.1 GPa لتصبح أقل من تلك الخاصة بالأكسيد الثاني.

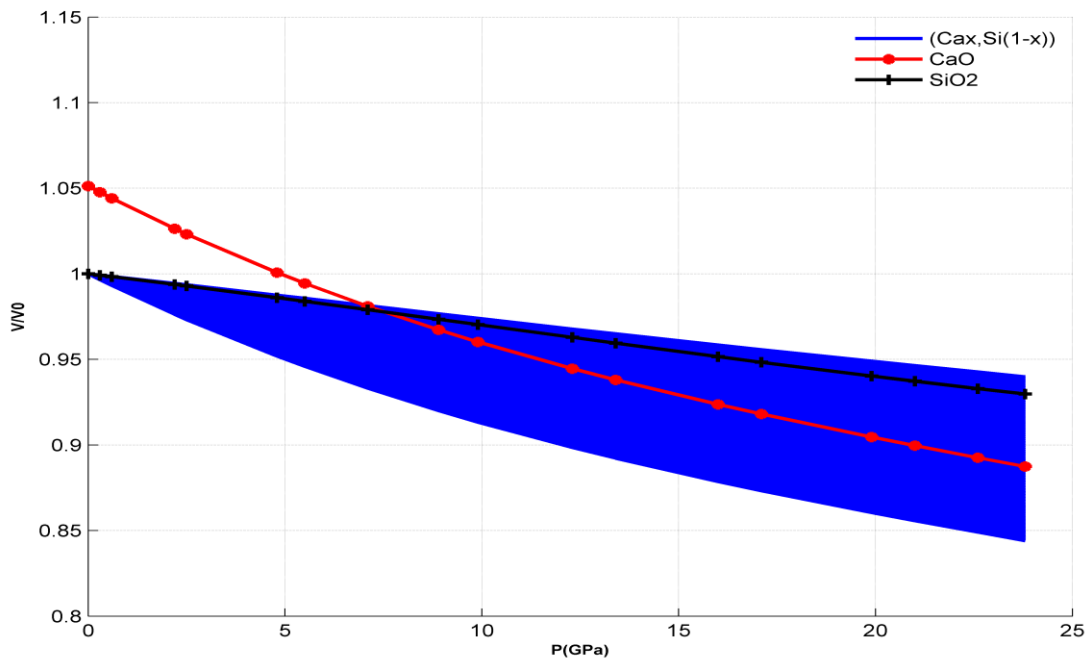


الشكل (1-III): تغيرات V حجم الخلية الاصطلاحية لكل من CaO، SiO<sub>2</sub> ومركباتهم بتغير x نسبة الأكسيد الأول في المركبات من 1 حتى 99% بتغير ضغوط النموذج PREM

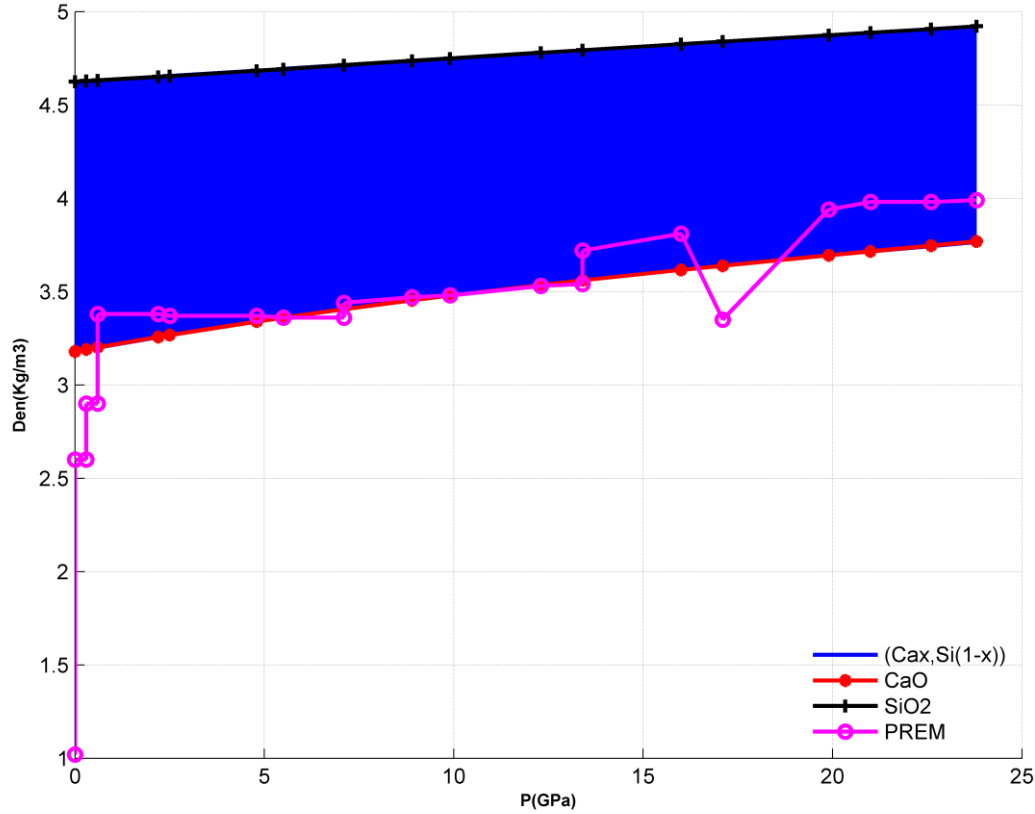
تتموضع قيم المركبات من أجل x بين 1 و 99% بحيث تكون متراكبة بنفس ترتيب السابق، لكن تكون منحصرة بين قيم الأكسجين هذا بخصوص حجم الخلية وكثافة المادة. بينما من أجل

النسبة الحجمية تأخذ شكل المغزل، رأسه يكون عند ضغوط القشرة الأرضية، أين يأخذ نفس قيم ثاني أكسيد السيليكون حتى الضغط 7.1 GPa التي تكون قيمه أقل من قيم المركبات من اجل  $x$  أقل من 8%. أما قيم المركبات من أجل  $x$  أقل من 47%، فتكون قيمها أعلى من تلك الخاصة بأكسيد الكالسيوم وذلك بداية من الضغط سالف الذكر.

يمكن مقارنة فقط قيم الكثافة مع قيمها الخاصة بالنموذج PREM، لان حجم الخلية و نسبته لا يمكن تحديدهما للمادة الأرضية الممثلة بهذا النموذج. تكون كثافة المادة الأرضية أقل دوماً من قيمتها و الخاصة بثاني أكسيد السليكون، و أقل من تلك الخاصة بالأكسيد الثاني و كل المركبات ضمن نطاقات الضغط التالية؛ بين 0 و 0.6 GPa، بين 5.5 و 7.1 GPa، بين 12.3 و 13.4 GPa و بين 16.5 و 18.5 GPa، قيمها تكون دوماً أقل من تلك الخاصة بالمركبات من اجل  $x$  أصغر من



الشكل (III-2): تغيرات  $V/V_0$  النسبة الحجمية لكل من  $CaO$ ،  $SiO_2$  و مركباتهم بتغير  $x$  نسبة الأكسيد الأول في المركبات من 1 حتى 99% بتغير ضغوط النموذج PREM



الشكل (3-III): تغيرات Den الكثافة المادية لكل من  $CaO$ ،  $SiO_2$ ، مركباتهم بتغير  $x$  نسبة الأكسيد الأول في المركبات من 1 حتى 99% وللمادة الأرضية بتغير ضغوط النموذج PREM

### III-3-2 الخصائص المرنة:

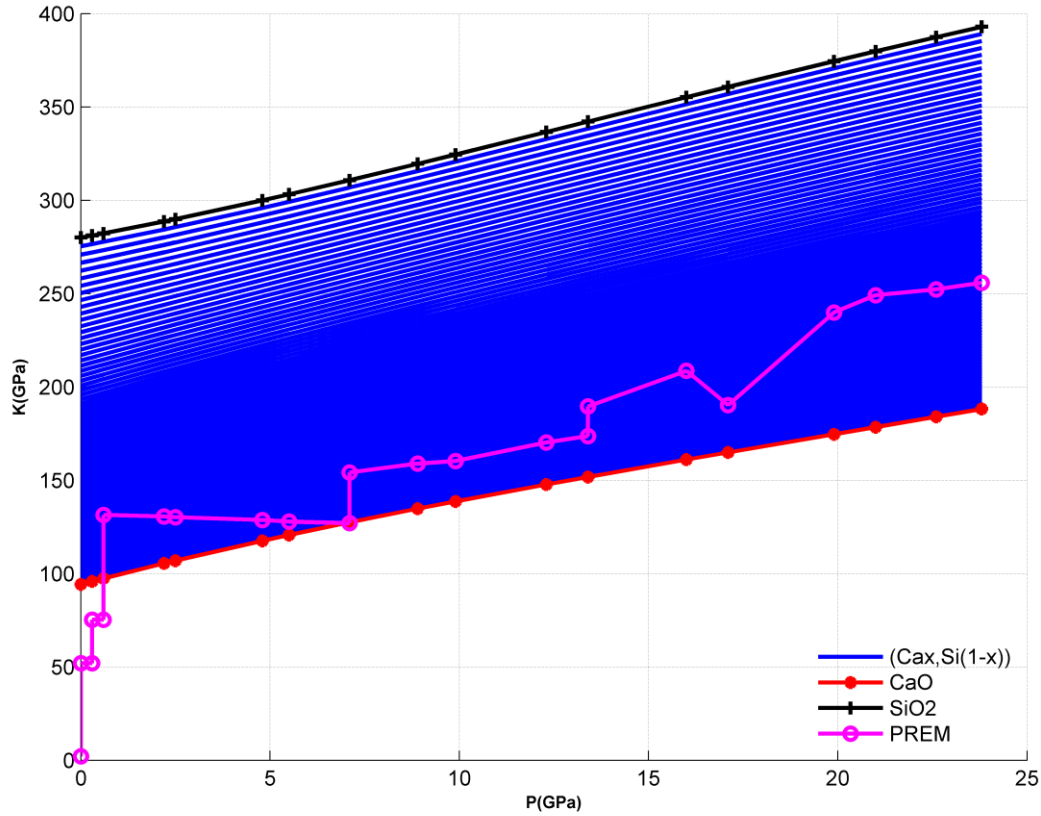
#### III-3-2-1 معاملي المرونة:

من الشكلين (4 و 5) نلاحظ أن قيم معاملي المرونة لأكسيد الكالسيوم تكون أقل دوماً من قيمهما الخاصة بالأكسيد الثاني ذو القيم الأعلى من الجميع، فقيم جميع المركبات الخاصة بالمعاملين تنحصر كذلك بين قيم الأكسيدين.

أما قيم الانضغاط الحجمي للمادة الأرضية تكون أقل من تلك الخاصة بأكسيد الكالسيوم وجميع المركبات فقط حتى الضغط 0.6 GPa، حيث تنطبق قيمتها مع تلك الخاصة بهذا الأكسيد عند

الضغط 7.1 GPa. بينما تكون اقل من قيم الجميع حتى الضغط 0.3 GPa بالنسبة لمعامل القص،

دون انطباق يذكر مع قيم الأكسيد.

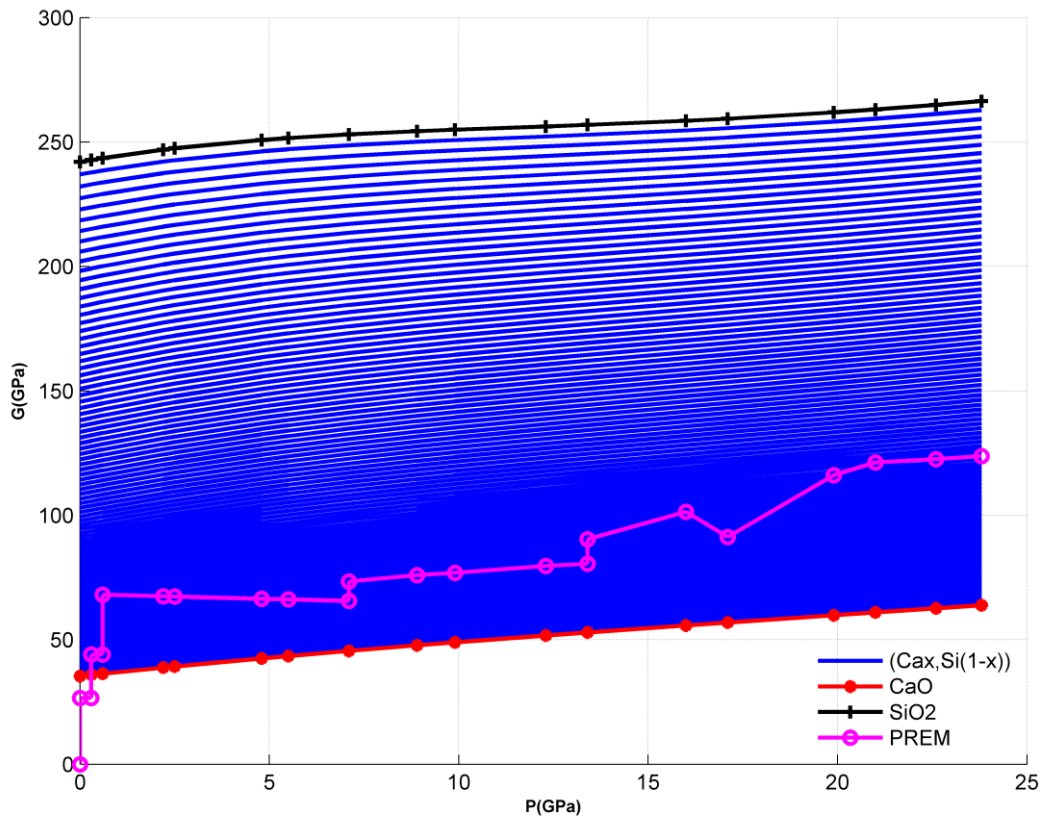


الشكل (4-III): تغيرات K معامل الانضغاط الحجمي لكل من  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{CaO}$ ، مركباتهم بتغير x نسبة الأكسيد الأول في

المركبات من 1 حتى 99 % وللمادة الأرضية بتغير ضغوط النموذج PREM

قيم معامل الانضغاط الحجمي تكون للمركبات من أجل  $x=0$  حتى 65% أعلى قيما من قيم النموذج PREM عند الضغط 0.6 GPa، أما عند آخر ضغط أي 23.8 GPa فتكون قيم المركبات أعلى من أجل  $x=0$  حتى 52%.

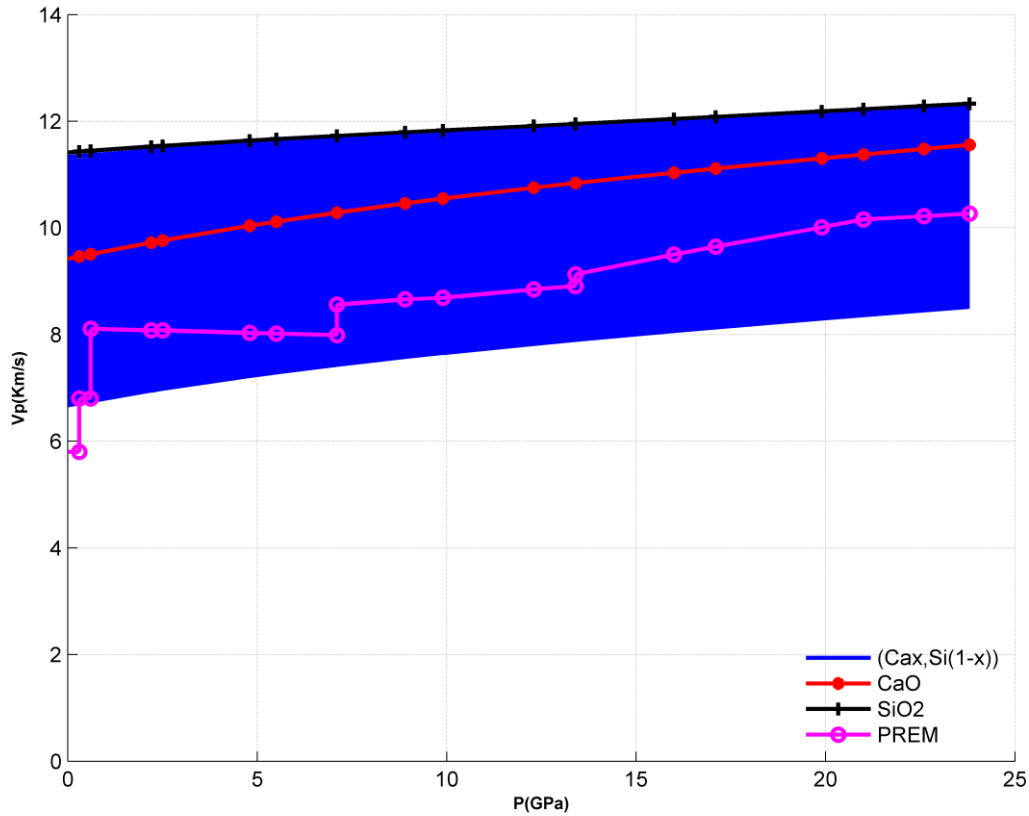
قيم معامل القص تكون للمركبات من أجل  $x=0$  حتى 91% أعلى قيما من قيم النموذج PREM عند الضغط 0.6 GPa، أما عند آخر ضغط أي 23.8 GPa فتكون قيم المركبات أعلى من أجل  $x=0$  حتى 57%.



الشكل (III-5): تغيرات G معامل القص لكل من CaO، SiO<sub>2</sub>، مركباتهم بتغير x نسبة الأكسيد الأول في المركبات من 1 حتى 99% وللمادة الأرضية بتغير ضغوط النموذج PREM

## III-3-2-2 سرعة الموجات:

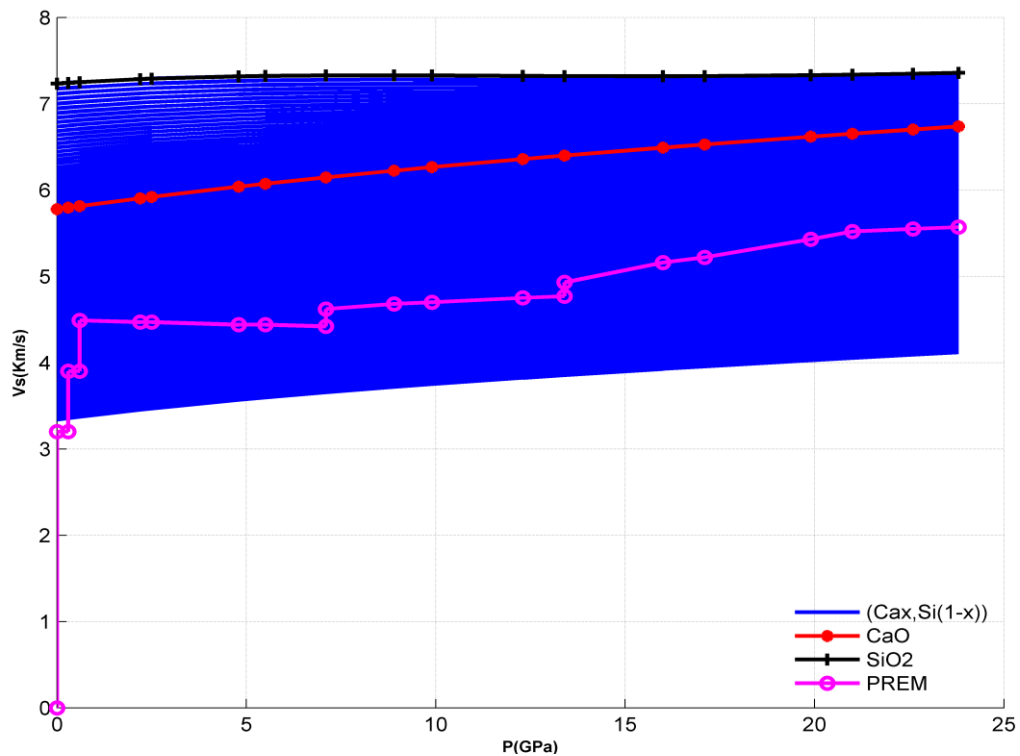
توضح الأشكال (06) حتى (08) أن قيم ثاني أكسيد السيليكون هي الأعلى من الجميع، ذلك بالنسبة لجميع سرعات الأمواج. بينما تكون القيم سرعة الموجتين الطولية والعرضية الخاصة بأكسيد الكالسيوم أعلى تماما من تلك الخاصة بالمادة الأرضية انطلاقا من الضغط 0.3 GPa، و أعلى من المركبات من اجل x أقل من 32 عند القشرة الأرضية و أقل من 16 عند ضغط نهاية الوشاح السفلي. بالنسبة لسرعة الموجة الانضغاط الصوتي تكون قيمها أعلى من المركبات من اجل x أقل من 77 عند القشرة الأرضية، و أقل من 74 عند ضغط نهاية الوشاح السفلي.



الشكل (III-6): تغيرات  $V_p$  سرعة الموجة الطولية لكل من  $\text{CaO}$ ،  $\text{SiO}_2$ ، مركباتهم بتغير  $x$  نسبة الأكسيد الأول في المركبات من 1 حتى 99% وللمادة الأرضية بتغير ضغوط النموذج PREM

قيم سرعة الموجات الطولية الخاصة بالمادة الأرضية هي دوماً أقل من قيمها الخاصة بالمركبات من أجل  $x$  أقل من 98 عند القشرة الأرضية وأقل من 47 عند ضغط نهاية الوشاح السفلي. بالنسبة لسرعة الموجة العرضية الصوتي تكون قيمها أعلى من المركبات من أجل  $x$  أقل من 54 عند القشرة الأرضية، وأقل من 68 عند ضغط نهاية الوشاح السفلي. وأخيراً بالنسبة لسرعة الموجة الأنضغاط الصوتي تكون قيمها أعلى من المركبات من أجل  $x$  أقل من 53 عند القشرة الأرضية، وأقل من 38 عند ضغط نهاية الوشاح السفلي.

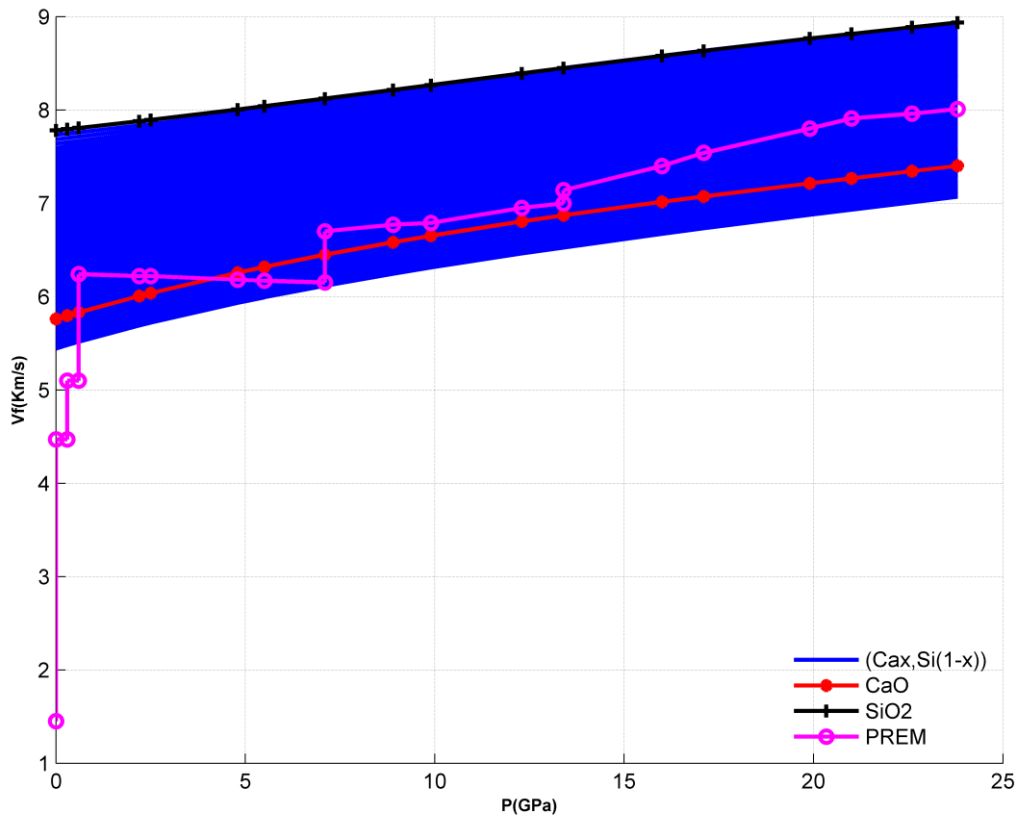
في الجدول التالي ندون قيم  $x$  للمركبات التي قيمها تقترب جداً من قيم المادة الأرضية لكل المعاملات المدروسة، ما عدى حجم الخلية الاصطلاحية ونسبتها. هذا الجدول يتضح من خلاله عدم وجود تطابق، اقتراب القيم لمركب أو مجموعة مركبات من قيم النموذج PREM، مما يعني عدم امكانية وجود هذه المركبات في الاعماق الأرضية.



الشكل (III-7): تغيرات  $V_s$  سرعة الموجة العرضية لكل من  $\text{CaO}$ ،  $\text{SiO}_2$ ، مركباتهم بتغير  $x$  نسبة الأكسيد الأول في

المركبات من 1 حتى 99% وللمادة الأرضية بتغير ضغوط النموذج PREM





الشكل (8-III): تغيرات  $V_f$  سرعة الموجة الانضغاط الصوتي لكل من  $\text{CaO}$ ،  $\text{SiO}_2$ ، مركباتهم بتغير  $x$  نسبة الأكسيد الأول في المركبات من 1 حتى 99% وللمادة الأرضية بتغير ضغوط النموذج PREM

الجدول(III-1): يقدم المركبات التي قيمها للمعاملات المدروسة تكون اقرب لقيمها في النموذج PREM، حيث قيم x نسبة CaO في المركبات تتغير من 0 حتى 100.

P(GPa)	K(GPa)	G(GPa)	V <sub>p</sub> (Km/s)	V <sub>s</sub> (Km/s)	den(g/cm <sup>3</sup> )	V <sub>j</sub> (Km/s)
0	1	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1
0,3	1	1	1	1	1	1
0,3	1	0,92	0,98	0,85	1	1
0,6	1	0,92	0,99	0,85	1	1
0,6	0,65	0,71	0,63	0,68	0,84	0,53
2,2	0,73	0,74	0,68	0,71	0,89	0,63
2,5	0,75	0,75	0,69	0,71	0,9	0,65
2,5	0,75	0,75	0,69	0,71	0,9	0,65
4,8	0,88	0,79	0,77	0,75	0,97	0,81
5,5	0,92	0,8	0,79	0,76	1	0,86
7,1	1	0,82	0,83	0,78	1	0,97
7,1	0,73	0,76	0,67	0,72	0,97	0,58
8,9	0,76	0,76	0,68	0,71	0,99	0,61
9,9	0,79	0,76	0,69	0,72	1	0,64
12,3	0,79	0,77	0,69	0,72	1	0,63
13,4	0,79	0,77	0,69	0,72	1	0,64
13,4	0,67	0,7	0,63	0,67	0,84	0,56
16	0,61	0,65	0,57	0,61	0,81	0,49
17,1	0,78	0,73	0,54	0,6	1	0,44
19,9	0,52	0,59	0,48	0,55	0,76	0,38
21	0,49	0,57	0,46	0,53	0,74	0,36
21	0,49	0,57	0,46	0,53	0,74	0,36
22,6	0,51	0,57	0,46	0,53	0,76	0,37
22,6	0,51	0,57	0,46	0,53	0,76	0,37
23,8	0,52	0,57	0,47	0,53	0,77	0,37

## الخلاصة العامة:

من خلال هذا العمل أردنا معرفة إن كانت المينيرالات أو مركبات  $(Ca_x, Si_{(1-x)})O_3$  متواجدة في الطبقات الأرضية الداخلية، كان لزاما تحديد قيم بعض معاملات الخصائص البنيوية والمرونية لها. وذلك انطلاقا من معرفة قيم هذه الخصائص للأقطاب النقية المكون لها والمتمثلة في  $CaO$  و  $SiO_2$ ، حيث قيم  $x$  تتغير من الصفر حتى مئة. و بالتالي مقارنتها بقيم مع نفس المعاملات المتوفرة في النموذج PREM، الممثل للمادة الأرضية.

تعتمد الطريقة على الحساب العددي، حيث الانطلاقة الفعلية تعتمد على قيم هذه المعاملات والمتوفرة في دراسات سابقة. وباستخدام علاقات Hashin & Shtrikman، الخاصة بتحديد نفس المعاملات باعتبار مزج بين القطبين النقيين.

من خلال هذا العمل تمكنا التوصل ل:

- قيم ثاني أكسيد السيليكون تكون أعلى دوما ما عادى من أجل حجم الخلية و نسبته.

- تنحصر قيم المركبات بين قيم الأكسيدين من اجل كل المعاملات، ما عادى من أجل نسبة حجم الخلية وسرع الموجات الثلاث.

- لم يحدث تقارب لقيم كل المعاملات لمركب بعينه مع تلك الخاصة بالمادة الأرضية، مما يعني عدم تواجد هذه المركبات فعليا.

يمكن لتعمق أكثر في هذه الدراسة أن نقترح التالي:

- البحث عن علاقات أكثر دقة بدلا من علاقات Hashin & Shtrikman، التي يمكن أن استخدامها أدى لضعف النتائج.

- يمكن زيادة الدقة في النسبة  $x$ ، إلى ألف أو أكثر بدلا من مئة المستخدمة هنا.

- يمكن اعتبار أن هذا المينيرال يحتوي على أكسيد أو أكثر، ولو بنسب ضعيفة جدا.

المراجع بالعربية:

- [1]- أ.د. سلام عبيد إبراهيم، علم البلورات، قسم الجيولوجيا التطبيقية، جامعة الانبار، رمادي العراق، المحاضرة(1).
- [2]- أ.م.د. بهاء الدين مكي فيروز- أ.م.رحيم جعفر عزيز، علم البلورات، الجيولوجيا النظرية للمرحلة- قسم العلوم.
- [3]- أ.د. نعيمة عبد القادر أحمد، استاذ متفرغ بلمركز القومي للبحوث، قسم الجوامد، أ.د. محمد امين سليمان، استاذ متفرغ بجامعة القاهرة، كلية العلوم-قسم الفيزياء، علم البلورات والاشعة السينية، دار الفكر العربي الطبعة الاولى ١٤٢٦هـ/٢٠٠٥م
- [4]- أ. د. تغريد مسلم مريوش، التركيب البلوري، فيزياء الحالة الصلبة، المرحلة الرابعة.
- [5]- د. مبروك غوقالي، استاذ محاضر بجامعة الشهيد حمة لخضر بالوادي، مدخل الى فيزياء الحالة الصلبة، سلسلة الدروس ومحاضرات.
- [31] تخصص تبريد و تكييف، أساسيات الحرارية و الموائع، وحدة انتقال الحرارة، الكتب المتخصصة، المملكة العربية.
- [32] روبرت ل إيفانز، شحن مستقبلنا بالطاقة باستخدام الطاقة المستدامة، ترجمة د. فيصل حردان، مدينة الملك في صل للعلوم والتقنيات، السعودية 2011.
- [34] الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، مصادر الطاقة المتجددة و التخفيف من آثار تغير المناخ، التقرير الخاص للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ 2011.
- [45] بلعاب نضرة و المولودة بوعروج، الإرسال الثاني الخاص بالتكوين عن بعد لأساتذة التعليم الأسامي، المدرسة العليا للأساتذة التعليم التقني بوهران.
- [48] بشينة ن. ربيعي م(2008)، ثاني أكسيد السلكون كمصدر مهم للتطبيقات الصناعية والتقنية الحيوية، مجلة جامعة الزاوية – ليبيا، 20.

- [6]- Jeanloz, R, and E. Knittle, Density and composition of the lower mantle. Philophical Transactions of the Royal society of London Series A, 328,377-389, 1989.
- [7]- Kittel C, Holcomb DF. Introduction to solid state physics. American Journal of Physics.1967;35:547-8.
- [8]- F. Birch, « Finite elastic strains of cubic crystals », Physical Review, 17, 809, (1947).
- [9]- Seitz F, Turnbull D, Christy R. Solid State Physics, Vol. 12: Advances in Research and Applications. American Journal of Physics. 1962;30:936-7.
- [10]- Lowrie, W. (1997). Fundamentals of Geophysics. Cambridge University Press, Cambridge U.K., 354 pp.
- [11]- Bolt B and B K. An introduction to the theory of seismology. Cambridge University Press,Cambridge U.K., 499 pp. 1985.
- [12]- Poirier J-P. Introduction to the Physics of the Earth's Interior: Cambridge University Press;2000.
- [13]- Stein CA. The solid earth: an introduction to global geophysics. Eos, Transactions American Geophysical Union. 1991;72:427-8.
- [14] Shearer PM. Introduction to seismology: Cambridge University Press; 2009.
- [15] Radi Z, Étude de l'anisotropie sismique du Nord-Est de l'Algérie, thèse Doctorat, Université Ferhat Abbas Sétif 1, 2016.
- [16] Bolt, B. A.. Nuclear Explosions and Earthquakes. The parted. Vei. W .H. Fercman San Francisco. 1976.
- [17] Kennett B. On seismological reference models and the perceived nature of heterogeneity. Physics of the Earth and Planetary Interiors. 2006;159:129-39.

- [18] Merkel S. Elasticité et orientations préférentielles dans la terre profonde: approche expérimentale. Doctorat de Ecole normale supérieure de lyon. umr 5570 laboratoires des sciences de la terre. Thèse. 2002.
- [18]- Jackson I. The Earth's mantle: composition, structure, and evolution: Cambridge University Press; 2000.
- [19] -Wang S-F, Hsu Y-F, Pu J-C, Sung JC, Hwa L. Determination of acoustic wave velocities and elastic properties for diamond and other hard materials. Materials Chemistry and Physics. 2004;85:432-7.
- [20] -Ulrich TJ, McCall K, Guyer R. Determination of elastic moduli of rock samples using resonant ultrasound spectroscopy. The Journal of the Acoustical Society of America.
- [21] -Marx D, Hutter J. Ab initio molecular dynamics: Theory and implementation. Modern methods and algorithms of quantum chemistry. 2000;1:141.
- [22]- Kumar M. Application of high pressure-high temperature equation of state
- [23]- Bullen, K. and Bolt, B. (1985). An introduction to the theory of seismology. Cambridge University Press, Cambridge U.K., 499 pp.
- [24]- Poirier, J.-P. (2000). Introduction to the Physics of the Earth's Interior, 2nd edition. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 312 pp.
- [25]- Dziewonski, A. M. and Anderson, D. L. (1981). Preliminary reference earth model. Phys. Earth Planet. Inter., 25:297{356}.
- [26]- OXYDE DE CALCIUM [archive], fiche(s) de sécurité du Programme International sur la Sécurité des Substances Chimiques [archive], consultée(s) le 9 mai 2009
- [27]- "temperature", www.nationalgeographic.org, Retrieved 2-1-2018.  
Edited.
- [28]- Chet Carrie (24-4-2017), "What Are the Elements of Weather & Climate?", sciencing.com, Retrieved 3-1-2018. Edited.
- [ 29 ] R. S. Bouynton , " Chemistry and Technology of Lime and limestone " , 1, (1966).

- [30] [https://ar.wikipedia.org/wiki/الكاسيوم\\_أكسيد](https://ar.wikipedia.org/wiki/الكاسيوم_أكسيد) .
- [33] Fowler, C. M. R. (1990). The solid Earth: An introduction to global geophysics. Cambridge University Press, Cambridge, U.K, 472 pp.
- [35] Du\_y, T. S. and Anderson, D. L. (1989). Seismic velocities in mantle minerals and the mineralogy of the upper mantle. J. Geophys. Res., 4:1895{1912.
- [36] Dziewonski, A. M. and Anderson, D. L. (1981). Preliminary reference earth model. Phys. Earth Planet. Inter., 25:297{356.
- [37] O'Connell, R. J. and Hager, B. H. (1980). On the thermal state of the earth. In Dziewonski, A. and Boschi, E., editors, Physics of the Earth's interior, pages 270{317}.
- [38] Turcotte, D. L. and Schubert, G. (2002). Geodynamics, Applications of continuum physics to geological problems, Second Edition. Cambridge University Press.
- [39] Jackson, I. and Rigden, S. (1998). Composition and temperature of the mantle: seismological models interpreted through experimental studies of mantle minerals.
- [40] Drake, M. J. and Richter, K. (2002). Determining the composition of the earth. Nature, 416:39{44} .
- [41] Lowrie, W. (1997). Fundamentals of Geophysics. Cambridge University Press, Cambridge U.K., 354 pp.
- [42] Davies, G. F. (1999). Dynamic Earth: plates, plumes, and mantle convection. Cambridge University Press.
- [43] R. C., Masters, G., and Stixrude, L., editors, Earth's Deep Interior: Mineral Physics and Tomography from the Atomic to the Global Scale, pages 115{131. Am. Geophys. Un.
- [44] ABBOTT, M.B: "An introduction to the method of characteristics".Thames and Hudson, 1966 .
- [46] Labidi, S., Zeroual, J., Labidi, M., Klaa, K., & Bensalem, R. (2017).

- Structural electronic and optical properties of MgO, CaO and SrO binary compounds: comparison study. In Solid State Phenomena (Vol. 257, pp. 123-126). Trans Tech Publications Ltd.
- [47] Dr,kamar shah Ariffin (2004), EBS-425-Mineral perindustrian.
- [49] Weintraub S (2002) , demystifying research, in object specialty croup postprints Washington, D C :American for conservation, vol 9,24
- [50] J. Wyaret," Le silicium dans la nature " chimie minérale tome2, p. 18-70 .
- [51] Levien L, Prewitt CT, Weidner DJ. Structure and elastic properties of quartz at pressure.American Mineralogist. 1980;65:920-30.
- [52] Karki BB, Stixrude L, Crain J. Ab initio elasticity of three high- pressure
- [53] Yagi T, Tsuchida Y, Kusanagi S, Fukai Y. Stabilities of SiO<sub>2</sub> stishovite and CaSiO<sub>3</sub> perovskite under lower mantle condition. High Pressure Science and Technology. 1990;5:699-701.
- [54] Kimizuka H, Ogata S, Li J, Shibutani Y. Complete set of elastic constants of  $\alpha$ -quartz at high pressure: a first-principles study. Physical Review B. 2007;75:054109.
- [55] Wang WH. The elastic properties, elastic models and elastic perspectives of metallic glasses.Progress in Materials Science. 2012;57:487-656.
- [56] Chihi T, Fatmi M, Boucetta S. Theoretical Study of the  $\alpha$ -Quartz andStishovite Phases of SiO<sub>2</sub>. Chinese Journal of Physics. 2013;51:1270-9.
- [57] Nisr C, Ribárik G, Ungár T, Vaughan GB, Merkel S. Three-dimensional X-ray diffraction in the diamond anvil cell: application to stishovite. High Pressure Research. 2014;34:158-66.
- [58] Philipps K, Stoffel RP, Dronskowski R, Conradt R. Experimental and theoretical investigation of the elastic moduli of silicate glasses and crystals. Frontiers in Materials.2017;4:2.



## المخلص:

يستهدف هذا البحث دراسة بعض معاملات الخصائص البنيوية و المرنة لميـيرالات  $(Ca_xSi_{(1-x)})O_3$  المركبة في أصلها من الأكسجين  $CaO$  و  $SiO_2$ ، ذلك عند ضغوط النموذج الزلزالي PREM حتى حدود نهاية الوشاح العلوي الأرضي أي حتى الضغط 23.8 GPa. هذه الدراسة اعتمدت في جميع مراحلها على الحساب، فانطلاقاً من قيم بعض المعاملات الخاصة بكل أكسيد المحددة بواسطة برنامج CASTP في دراسات سابقة، استخدم الاستقطاب الرياضي لتحديد كثيرات الحدود المتحكممة في تغير كل تلك المعاملات بتغير الضغط من أجل تقدير قيمها عند أي قيم للضغط، أما عند تغير النسبة المئوية X فاستعملنا علاقات Hashin & Shtrikman الخاصة بالتراكب بعد، وأخيراً حددت المركبات التي قيم معاملاتهما أقرب لتلك الخاصة بالنموذج الزلزالي عن طريق حساب الفرق. درس هنا كل من: حجم الخلية الأولية ونسبته، الكثافة، معاملي المرونة: الانضغاط الحجمي و القصي، السرعات الزلزالية: الطولية، العرضية و موجة الانضغاط الصوتي لتسع وتسعون مركب لهذا المينيرال بالإضافة للأكسجين. لذلك تمكنا من المقارنة بين كل هذه المركبات وبينها وبين قيم النموذج ماعدا المعاملين البنيويين الأوليين. من أهم النتائج أن  $SiO_2$  هو الأعلى قيمة من أجل كل المعاملات، ما عدى من أجل حجم الخلية ونسبته. على العكس مقارنة بقيم الأكسيد الثاني، الذي يكون أكبر فقط من أجل هذين المعاملين، كما يكون أعلى من قيم المادة الأرضية فقط عند الضغوط الأقل من 0.3 GPa أي حتى 15 Km كما في الكثافة، التي تنطبق قيمها كذلك بين الضغوط 8.9 و 12.3 GPa. قيم المركبات في الغالب تكون محصورة بين قيم الأكسجين، باستثناء السرعة الموجية و نسبة الحجم. لكن لم يظهر مركب قيمه تقترب من القيم المادة الأرضية، مما يعني عدم تواجد هذه المركبات في الطبقات العميقة المحدد في الدراسة على الأقل.

الكلمات المفتاحية: الخصائص البنيوية، الخصائص المرنة،  $CaO$ ،  $SiO_2$ ، النموذج PREM

## Abstract:

This research aims to study some of the parameters of the structural and elastic properties of minerals  $(Ca_xSi_{(1-x)})O_3$ , which are originally composed of oxides  $CaO$  and  $SiO_2$ , at the pressures of the PREM seismic model up to the limits of the end of the upper mantle, that is, until the pressure is 23.8 GPa. This study relied, in all its stages, on arithmetic. Based on the values of some coefficients of each oxide determined by the CASTP program in previous studies, mathematical polarization was used to define the polynomials controlling the change of all these coefficients with pressure change in order to estimate their values at any pressure value. the percentage x, so we used the Hashin & Shtrikman relations of the superposition after, and finally the components whose coefficient values are closer to those of the seismic model were determined by calculating the difference. He studied here both; Primary cell volume and ratio, density, modulus elastic: bulk and shear modulus, seismic velocities: longitudinal, transverse, and bulk sound wave for ninety-nine compounds of this mineral in addition to the oxides. Therefore, we were able to compare between all these compounds and between them and the values of the model. Except for the two initial structural operators. One of the most important results is that  $SiO_2$  has the highest value for all parameters, except cell size and percentage. On the contrary, compared to the values of the second oxide, which are greater only for these two coefficients, and are higher than the values of the ground material only at pressures less than 0.3 GPa, i.e. up to 15 km, as in density, whose values also apply between pressures 8.9 and 12.3 GPa. The values of the compounds are mostly between the values of the two oxides, with the exception of the wave velocity and the volume ratio. However, no compound values close to the terrestrial material values appeared, which means the absence of these compounds in at least the deep layers specified in the study.

**Keywords:** structural properties, elastic properties,  $CaO$ ,  $SiO_2$ , PREM model.

## Résumé:

Cette recherche vise à étudier certains des paramètres des propriétés structurales et élastiques des minéraux  $(Ca_xSi_{(1-x)})O_3$ , qui sont à l'origine composés d'oxydes  $CaO$  et  $SiO_2$ , aux pressions du Modèle sismique PREM jusqu'aux limites de l'extrémité du manteau supérieur, c'est-à-dire jusqu'à ce que la pression soit de 23,8 GPa. Cette étude s'est appuyée, dans toutes ses étapes, sur l'arithmétique. Sur la base des valeurs de certains coefficients de chaque oxyde déterminé par le programme CASTP dans des études précédentes, la polarisation mathématique a été utilisée pour définir les polynômes contrôlant l'évolution de tous ces coefficients avec l'évolution de la pression afin de estimer leurs valeurs à n'importe quelle valeur de pression. le pourcentage x, nous avons donc utilisé le Hashin & Shtrikman relations de superposition après, et enfin les composantes dont les valeurs de coefficient sont plus proches de ceux du modèle sismique ont été déterminés en calculant la différence. Il a étudié ici à la fois; Volume et rapport des cellules primaires, densité, module élastique : module de masse et de cisaillement, vitesses sismiques : onde sonore longitudinale, transversale et globale pour quatre-vingt-dix-neuf composés de ce minéral en plus de les oxydes. Par conséquent, nous avons pu comparer entre tous ces composés et entre eux et les valeurs du modèle. Sauf pour les deux opérateurs structuraux initiaux. L'un des plus importants résultats est qu'ea lai  $SiO_2$  valeur la plus élevée pour tous les paramètres, à l'exception de la taille de cellule et du pourcentage. Sur le au contraire, par rapport aux valeurs du second oxyde, qui ne sont supérieures que pour ces deux coefficients, et ne sont supérieures aux valeurs du broyat qu'à des pressions inférieures à 0,3 GPa, c'est-à-dire jusqu'à 15km, comme en densité, dont les valeurs s'appliquent également entre les pressions 8,9 et 12,3 GPa. Les valeurs de la les composés sont pour la plupart entre les valeurs des deux oxydes, à l'exception de la vitesse des ondes et le rapport de volume. Cependant, aucune valeur composée proche des valeurs matérielles terrestres n'est apparue, c'est-à-dire l'absence de ces composés dans au moins les couches profondes précisées dans l'étude.

**Mots clés :** propriétés structurales, propriétés élastique,  $CaO$ ,  $SiO_2$ , modèle PREM.