المحاضرة السابعة

التغيّر المناخي

Climate Change

لقد انتهى فعلاً غزو تغير المناخ المفاجئ للساحة العالمية. ففي الواقع، لم تكن هذه الظاهرة حتى عام 1995 سوى فرضية علمية حصدت معارضين ومؤيدين لها يتواجهون في المجلات العلمية. لكن وفي شباط / فبراير 2007، وإبان نشر تقريرها الرابع، وصفت **اللجنة الدولية للتغيرات المناخية GIEC** ظاهرة الاحتباس الحراري الناتجة عن سلوك الإنسان بأنها « لا لبس فيها ». وهذا الاستنتاج قد لقي قبولا من العالم بأسره، كما يتضح من الأصداء الإعلامية لهذا التقرير، وخصوصاً **مؤتمر بالي للمناخ** الذي أعقبه. ففي هذا الاجتماع الدولي، وعلى الرغم من تعارض المصالح، لم يعترض أي بلد على استنتاجات اللجنة الدولية للتغيرات المناخية GIEC، ولا حتى على الحاجة للحد من الانبعاثات.

شفافية انتقائية

هناك وسيلة بسيطة وفي متناول الجميع لتجربة قوة ظاهرة الدفيئة، ألا وهي الدخول إلى سيارة طال ركنها في الشمس. تفسّر درجة الحرارة المرتفعة داخل السيارة والتي لا تحتمل ولا تطاق بخاصية معينة تتسم بها نوافذ السيارة إنها **الشفافية الانتقائية** التي من خلال سماحها لأشعة **الضوء المرئي بالمرور**، **تحتفظ** بجزء من الأشعة **تحت الحمراء وتزيد** بالتالي من درجة الحرارة داخل السيارة. إن عدة غازات من الغلاف الجوي تتميز بالخصائص نفسها، ما يؤدي إلى عواقب بالغة التأثير على كوكبنا.

مفهوم معروف منذ زمن بعيد

أصدر الفيزيائي الفرنسي **جوزيف فوريه** في عام 1824 المفهوم الذي على أساسه يعمل **الغلاف الجوي** للأرض **كزجاج الدفيئة**.

غير أن الكيميائي الإيرلندي **جون تيندال** هو **أول** من حاول **تحديد حجم** هذه الظاهرة في منتصف القرن التاسع عشر من خلال قياسه قوة امتصاص مختلف الغازات للأشعة تحت الحمراء. وقد حدد بأن **بخار الماء** هو أقوى الغازات **الدفيئة**.

إلا أننا ندين بالنظرية المقبولة والمعتمدة حالياً إلى الكيميائي السويدي **سفانتي أرينيوس** الشكل (1)، الذي خلص في حساباته التي أجراها في عام 1896، إلى أن تضاعف تركيز الغلاف الجوي بغاز ثاني أكسيد الكربون سوف يسبب احتراراً عالمياً نسبته 5 إلى 6 درجات مئوية، وهو رقم قريب من التقديرات الحالية.

سفانتي أرينيوس، الحائز على جائزة نوبل في الكيمياء عام 1903 لأعماله حول المحاليل المائية، هو أحد المكتشفين الرئيسيين لظاهرة الدفيئة، ويعود تقديره لأهميتها إلى بداية القرن العشرين.

الشكل (1): الكيميائي السويدي سفانتي أرينيوس.

يمتص **الغلاف الجوي** جزءاً كبيراً يصل إلى **النصف** من الإشعاع الشمسي، فيما يصل **المتبقي** إلى الأرض ليتحول بغالبيته إلى أشعة **تحت الحمراء**، وهي نوع من الإشعاع يمتصه ما يعرف بـ « **غازات الدفيئة** » الموجودة في غلافنا الجوي، ما يسبب **ارتفاع** درجة الحرارة.

لكن **تبادل الطاقة** بين الأرض وغلافها الجوي والشمس والمنطقة المحيطة بها، هو في الواقع أكثر تعقيداً من التوازن المبسط الذي أظهرناه للتو، إذ إن مصير هذه الإشعاعات يبقى متبايناً ومتنوعاً تبعاً لطبيعتها ولطبيعة العقبات التي تواجهها فقد تنعكس، أو يتم امتصاصها (كلياً أو جزئياً) ، وقد يتعرض توازن الطاقة فيها أحياناً إلى العرقلة بفعل ظواهر عديدة (مثل تكثف بخار الماء الموجود في الغلاف الجوي). لكن وفقاً لقوانين الفيزياء، فإن كل القوى تتوازن في نهاية المطاف ويسترد الغلاف الجوي مجمل الطاقة الواردة من الشمس، الشكل (2).

تتعزز آلية ظاهرة الدفيئة بفعل الأنشطة البشرية المنتجة لثاني أكسيد الكربون والميتان، وهما نوعان رئيسيان من الغازات المشاركة في هذه الظاهرة، فضلاً عن عدة غازات أخرى نادرة.

الشكل (2): ظاهرة الدفيئة.

غازات الدفيئة

ثمة أنواع كثيرة من الغازات مخصصة لتدفئة غلافنا الجوي، البعض منها موجود في الجو منذ ملايين السنين، في حين أن البعض الآخر من إبداع بشري.

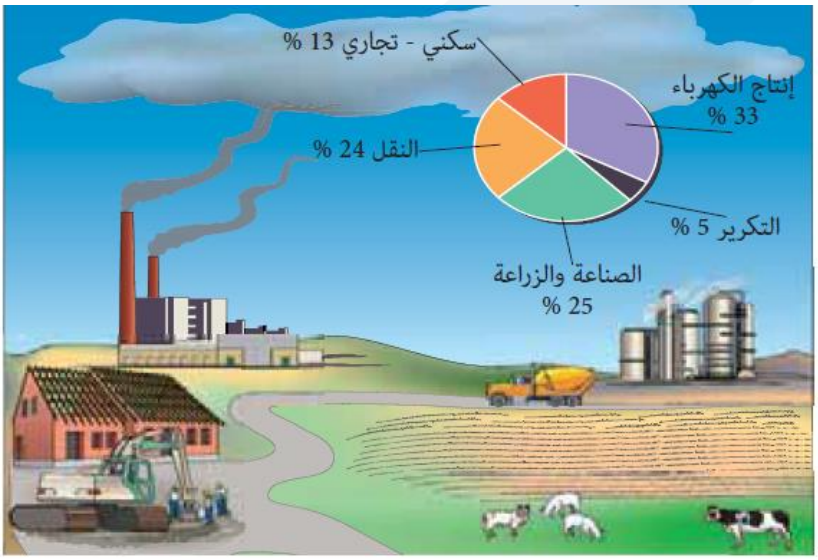
ثاني أكسيد الكربون تحت الأضواء

هناك العديد من الغازات المسببة للدفيئة الشكل (3)، يرتبط تأثيرها على المناخ **بعدة عوامل، من بينها:**

- مدى فعاليتها في امتصاص الأشعة تحت الحمراء أولاً.
- ثم مدة وجودها في الغلاف الجوي.
- ثم وفرتها وأهمية المساهمات البشرية في تركيزها.

إن أهمها على الإطلاق هو **ثاني أكسيد الكربون** أو CO_2، الذي يساهم حتى نسبة 40 % من إجمالي ظاهرة الدفيئة. ويمثل هذا الغاز 0.038 % من الغلاف أو 380 ppmv، والذي يبدو نسبة منخفضة للغاية. لكن عندما نعرف أن الغلاف الجوي يتكون بنسبة 99 % من الأوكسيجين والنيتروجين، وهي غازات **شفافة** للأشعة تحت الحمراء، نفهم عندها أن كل شيء يحدث عند مستوى الـ **1 %** المتبقي.

ppmv مختصر « جزء في المليون من حيث الحجم ». إن جزءاً واحدا في المليون من حيث الحجم (1) يعادل 0.0001 % أي سنتيمتراً مكعباً من الغاز لكل متر مكعب من الهواء. أما في ما يخص الغازات النادرة فتصبح **ppbv** « جزءاً في المليار (البليون) من حيث الحجم ».



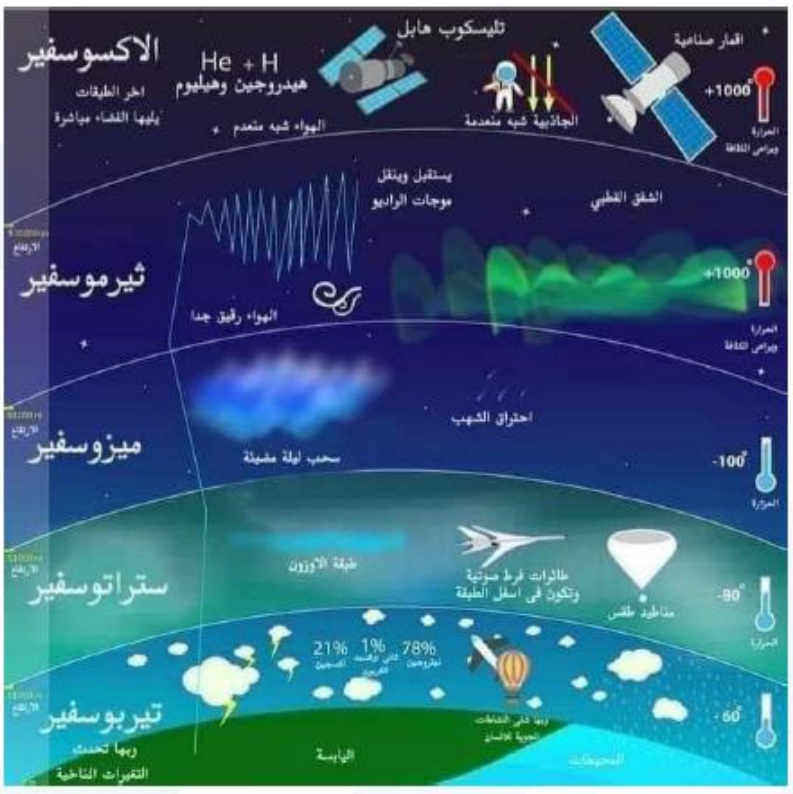
الشكل (3): المصادر البشرية لانبعاثات غازات الدفيئة.

الميتان وأكسيد النيتروز والأوزون

تتدخل ثلاثة غازات أخرى في عملية الدفيئة، كل منها **بنسبة 2 %** هذه الغازات هي **الميتان** أو CH_4 (ppmw 1.8)، **وأكسيد النيتروز** أو N_2O (ppmv 0.3)، **والأوزون** أو O_3 (ppmv 0.03)>

فالميتان **يمتص بفاعلية هائلة** الأشعة تحت الحمراء وذلك بنسبة 20 إلى 50 مرة أفضل من ثاني أكسيد الكربون، فضلاً عن أن الإنسان يساهم في زيادة تركيزه بسرعة أكبر من ثاني أكسيد الكربون، بحيث تخطت الضعف منذ بداية العصر الصناعي. ولحسن الحظ، **يعيش** الميتان في الغلاف الجوي **فترة قصيرة نسبياً** تبلغ نحو عقد من الزمن. لكن هذا ليس هو حال أكسيد النيتروز، الموجود منذ 120 سنة (ويمتص إشعاعا بنسبة 253 مرة أكثر من ثاني أكسيد الكربون).

أما بالنسبة إلى **طبقة الأوزون**، فتركيبتها الكيميائية المعقدة تتسبب بتحللها باستمرار و باستعادة تركيبتها بعد ذلك. وإنه لمن الصعب حاليا تقييم مقدار إسهام الإنسان في تركيزها لكن المؤكد هو أنها تزداد تركيزاً في الطبقة السفلى من الغلاف الجوي، في حين أن تركيزها **يتراجع** في طبقة **الستراتوسفير** (أكثر من 12 كم فوق سطح الأرض) الشكل (4): هذا هو **ثقب الأوزون** الشهير وهي ظاهرة تختلف عن ظاهرة الاحترار على الرغم من وجود صلات بين العمليتين.



الشكل (4): طبقات الغلاف الجوي.

أهمية المياه

إن الأول بين انبعاثات غازات الدفيئة وأقلها ذكراً هو **بخار الماء**. فنسبة تركيز هذا الغاز في الغلاف الجوي أعلى من نسبة تركيز انبعاثات غازات الدفيئة الأخرى (0.3 %). فالمياه تساهم بنحو 55% ظاهرة الدفيئة، لكن وبسبب **وفرتها** على سطح كوكبنا، يمكن اعتبار التأثير البشري **ضئيلاً جداً** على تركيزها، خصوصاً أن المياه **لا تبقى طويلاً** في الغلاف الجوي فقط حوالي **8** إلى **15** يوماً تقريباً.

ما ينتجه الإنسان

أخيراً ، هناك سلسلة من الغازات التي ينتجها الإنسان قد يبدو تركيزها في الغلاف الجوي متناهي الصغر، إذ إن انبعاثاتها هي مليون مرة أصغر من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، غير أن دورها المناخي لا يستهان به. هذه الغازات هي في المقام الأول **مركبات كربونية هالوجينية**، والأكثر شهرة من بينها مركبات **الكربون الكلورية الفلورية** (كلوروفلوروكربون) ومركبات **الكربون الهيدروفلورية** (هيدروفلوروكربون). تتميز هذه الغازات بقوة تدفئة هامة جداً، ومدة حياة في الغلاف الجوي طويلة الأمد قد تصل الى آلاف السنين ، وذلك بسبب ثباتها الكيميائي، الشكل (5).

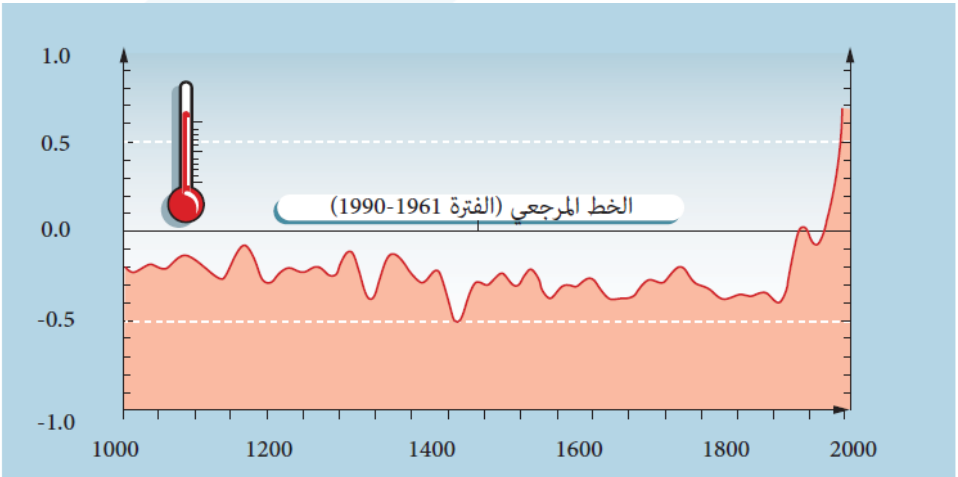
إن انبعاثات غازات الدفيئة القوية التي يحويها هذا البحر من الثلاجات القديمة، سوف تصل تدريجياً إلى الغلاف الجوي بمقدار ما يقوم الصدأ بعمله: هذا هو مثال عن «المفعول المؤجل» الذي تتسم به أنشطتنا التي تؤثر في المناخ.

الشكل (5): الثلاجات القديمة وغازات الدفيئة التي تحتويها.

تغير الحقبة المناخية

سيراوح ارتفاع درجات الحرارة العالمية الذي أعلنه تقرير اللجنة الدولية للتغيرات المناخية في أفق عام 2100، ما بين **1.1 و6.4 درجة مئوية (3 درجات مئوية هي الأكثر احتمالاً)** مقارنة بتسعينيات القرن الماضي، علماً أن هذه الزيادة قد وصلت إلى 0.6 درجة مئوية خلال القرن العشرين.

قد تبدو هذه الأرقام منخفضة للقارئ الذي لا يعلم كثيراً حول هذا الموضوع. ولكن للمقارنة، فلنتذكر أنه خلال العصر **الجليدي** الأخير، أي منذ نحو **18000** سنة، كان المناخ أكثر برودة بنسبة **5 درجات مئوية فقط** مما هو عليه اليوم. ولكن، في تلك الحقبة، كانت **الصفائح الجليدية** تصل إلى **بلجيكا**، وكانت **أوروبا مغطاة** بسهوب باردة تبلغ البحر الأبيض المتوسط وتجتازها قطعان الرنة. إذا هو بالفعل تغير حقيقي للحقبة المناخية تعلنه أرقام اللجنة الدولية للتغيرات المناخية للقرن القادم، الشكل (6).



متوسط درجات الحرارة في نصف الكرة الشمالي وقد أعيد تشكيله اعتباراً من عام 1000 من خلال معطيات مختلفة (حلقات جذوع الأشجار والكتل الجليدية والحوادث التاريخية)، ويغطي الفترة الممتدة بين 1000 و1980، والتي استكملت من خلال قياسات مباشرة للفترة 1902-1999. إن الزيادة السريعة منذ عام 1900 واضحة جداً.

الشكل (6): تطور درجة الحرارة في نصف الكرة الشمالي.

مزيد من الأمطار... في المدى المتوسط

يبدو أن توقع تطور هطول الأمطار **أكثر صعوبة** من توقع درجات الحرارة، لأن الاختلافات بين النماذج أقوى بكثير في ما يختص بالأمطار. وهذا أمر مؤسف، لأن مستوى هطول الأمطار يؤثر على نحو بالغ في المجتمعات البشرية، أكثر من تأثير درجات الحرارة، **فكمية الأمطار**:

- تحدد الإنتاج الزراعي.
- وكمية مياه الشرب.
- ومستوى مخاطر مختلفة (كالفيضانات، وحرائق الغابات والتأكل وانجراف التربة).

وبشكل عام، يفترض بالدورة المائية أن تزداد بسبب ارتفاع درجات الحرارة الذي يسبب المزيد من التبخر ... أي كمية إضافية من الأمطار وليس المزيد من الحرارة والجفاف كما كان يُعتقد سابقاً. وتتوقع النماذج زيادة في هطول الأمطار بنسبة تقارب 3 % لكل درجة مئوية من الاحترار. لكن توزع الأمطار سيتطور في المكان وفي الزمان على حد سواء، ما سيدفع المجتمعات البشرية إلى التكيف مع هذا الوضع المكلف حتماً.

تفاقم التباينات

ستكون **الهطولات** من الأمطار **أكثر وفرة** في المناطق التي تقع على خط عرض 60 درجة شمالاً (أي في أقصى شمال أوروبا والقارة الأمريكية)، كما أن سقوط الأمطار الصيفية على جنوب آسيا (الأمطار الموسمية) سيزداد أيضا. في المقابل، سنشهد **جفافاً** واضحاً في فصل الصيف في منطقة البحر الأبيض المتوسط، بما في ذلك إسبانيا، والبرتغال، وإيطاليا، وجنوب فرنسا، ومنطقة البلقان. كذلك **ستجف** أستراليا، كما الجزء الداخلي من القارات الكبرى وجنوب أفريقيا، على الرغم من أن ذلك يخضع لقدر أكبر من الشك. لكن، إن صحت كل هذه الظواهر على الرغم من التضارب الحاصل في التوقعات، فنحن متجهون نحو وضع سيفاقم إلى حد كبير التفاوت في هطول الأمطار على هذا الكوكب، ما يجعل المناطق الجافة **أكثر جفافاً** في حين أن المناطق المروية مسبقاً ستكسب **المزيد من المياه**، الشكل (7).

إن فيضانات شهر آب 2002 التي شهدتها أوروبا (هنا في ألمانيا)، والتي لا يمكن أن تعزى بشكل مؤكد إلى ظاهرة الاحتباس الحراري، تتوافق على أي حال مع توقعات علماء المناخ.

الشكل (7): الفيضانات الناتجة عن الاحتباس الحراري.

ابتعاد أكثرعن المعدل

يُعد **تزايد** عدد الظواهر المناخية **الأكثرحدة** من النتائج المحتملة والمقلقة لظاهرة **الاحتباس الحراري**. إذا ارتفعت درجة الحرارة في منطقة ما بنسبة **درجتين مئويتين**، أو إذا زاد سقوط الأمطار فيها بنسبة **10 %**، **يزداد** تلقائياً عدد موجات **الحر** أو الأمطار **الغزيرة** مرهقة بذلك البشر والنظم البيئية. لكن، وإضافة إلى ذلك، تشير جميع النماذج تقريباً إلى أن الأمر سيزداد سوءاً من خلال أكبر عدد من **الانحرافات عن المعدل** أي من خلال هذه الحوادث القوية للغاية. في الواقع، قد يجعل الاحترار الغلاف الجوي أكثر اضطراباً، من خلال **إدخال** المزيد من **الطاقة** فيه، وفق آلية شبيهة بتلك التي تسرّع حركة سائل مسخن في قدر.

مع ذلك ، يعتقد العلماء أنه من المفترض أن تزيد سرعة الرياح في ذروة الإعصار **بنسبة 5 إلى 10 %** في حال **مضاعفة الكربون** في الغلاف الجوي، وكثافة سقوط الأمطار **بين 20 و30 %** الشكل (8)، ما يشير بالتالي إلى أضرار محتملة عالية جداً، ذلك لأن العلاقة بين الأضرار وسرعة الرياح ليست خطية بل لوغاريتمية. يتوقع أيضاً مزيد من العواصف المتكررة في خطوط العرض المتوسطة، خصوصاً على **السواحل** ، كما يحدث في المحيط الأطلسي. وقد تستخدم، هنا أيضاً، الطاقة الكامنة الناتجة من **زيادة التبخر** كمحرك. فضلاً عن ذلك، سيزداد حتماً **الفارق في درجة الحرارة** بين محيط درجة حرارته مستقرة تقريباً ويابسة تعاني من ارتفاع سريع لدرجة الحرارة فيها ... حيث إن هذه الفجوة الحرارية هي التي تسبب العواصف الممطرة.

من المتوقع أن تزداد الطاقة الهائلة المختزنة في الأعاصير المدارية (هنا في الصورة إعصار «ليندا» قبالة ولاية كاليفورنيا في عام 1997) كنتيجة لظاهرة الاحتباس الحراري.

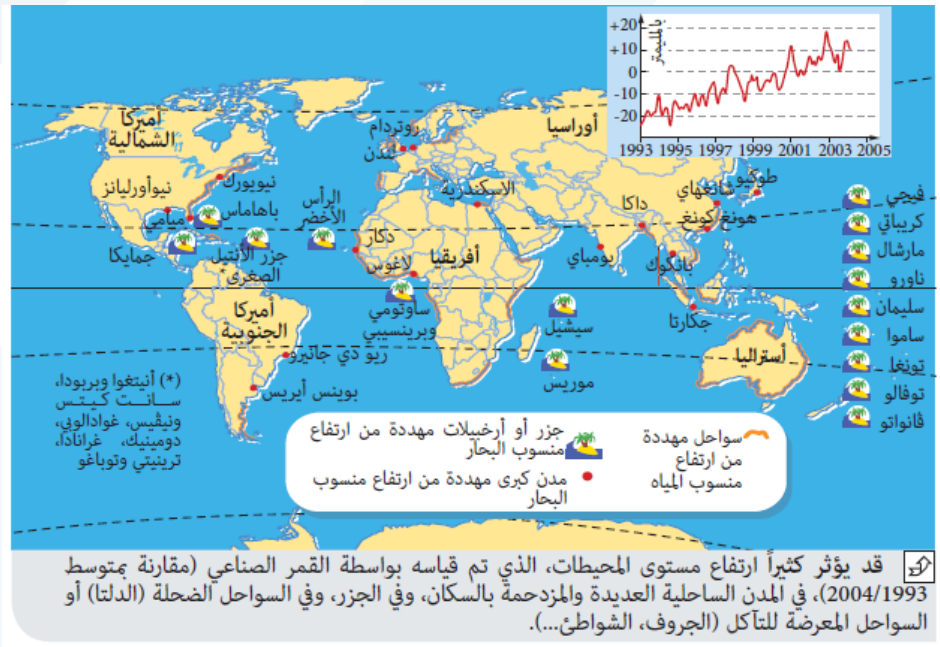
الشكل (8): إعصار ليندا في الولايات المتحدة الأمريكية.

جمود كبيرفي الكتل الجليدية والمحيطات

قبل 18000 سنة، كان مستوى محيطات العالم، عندما وصل العصر الجليدي الأخير إلى ذروته، **120 متراً** تحت مستواه الحالي؛ فلم تكن إنكلترا، على سبيل المثال، جزيرة في الواقع، هناك علاقة وثيقة بين درجة حرارة العالم ومستوى سطح البحر، ويرجع ذلك إلى **ظاهرتين**:

- الأولى هي أن **الحرارة توسع نطاق المياه** لكونها تتمدد، حيث إن هذا التأثير الحراري المباشر هو المسؤول عن جزء كبير من الزيادة الملحوظة حتى الآن (نحو 15 سم خلال القرن الماضي) ، وهو مسؤول أيضا عن الارتفاع الذي سيلاحظ في العقود القادمة (زيادة بنحو 50 سم في أفق عام (2100).
- أما الظاهرة الثانية فهي **ذوبان الجليد**، وبخاصة الصفائح الجليدية القارية، وهنا **لا يجب الخلط** بين الصفائح الجليدية والجليد البحري الذي يتكون من شرائح جليدية عائمة لا تتجاوز سماكتها ثلاثة أمتار.

لا يؤثر ذوبان هذه الشرائح في مستوى سطح البحر، إذ إنه مثل مكعب الثلج المغمور في كوب من الماء، لا يزيد من مستوى المياه وهو يذوب لأنه بحجمه الخاص يكون قد أزاح كمية من المياه تساويه وهو يعوم. وتجدر الإشارة إلى أن الجليد البحري في القطب الشمالي قد **فقد في قرن واحد نسبة 15 % من مساحته و 40 % من سماكته**. في المقابل، يتكون **الغطاء الجليدي القاري** من الجليد المتراكم على اليابسة (غرينلاند والقارة القطبية الجنوبية بشكل أساسي)، بحيث تصل **سماكته إلى عدة كيلومترات**. هذا الغطاء يحبس إذا **كميات ضخمة من المياه** قد ترفع نظرياً مستوى البحر إلى **عشرات الأمتار** إذا ما أفرج عنها. لكن يبدو أنه منذ خمس سنوات، وفي أماكن متفرقة، تنزلق كتل ضخمة وعملاقة من الجليد وبسرعة متزايدة باتجاه البحر، **وهي ظاهرة لا تزال غير مفهومة جيداً**، إذ قد تكون تقلبات دورية **طبيعية**. ولكن إن ثبتت صحة هذه الوقائع، أو حتى إذا تسارعت كما يتوقع بعض العلماء، فقد **يرتفع** منسوب البحار إلى عدة **أمتار** خلال القرن الحادي والعشرين ما قد يسبب أضرارا كارثية، الشكل (9).



الشكل (9): ارتفاع مستويات البحار والمحيطات.

انتهت المحاضرة ... بالتوفيق للجميع