الحظ والعصور الجليدية[1]

بقلم: نيلز برغلوند Nils Berglund [2]

ترجمة الطالبتين: أشواق بن حمادي

ريحانة جوجو

نهر ميتاغ ليفلر (Mittag-Leffler) الجليدي الواقع في جزر سفالبارد (Svalbard) بالنرويج

تشير بيانات المناخ القِدَمِيِّ (أي تلك التي تُعْنى بالمناخات القديمة)، المتحصل عليها بتحليل عيّنة لُبِّيّة جليدية، أنّ الأرض شهدت سبعة عصور جليدية رئيسية (كبرى) خلال السبعة آلاف قرن الماضية. لقد ظهرت هذه العصور بانتظام ملحوظ، وذلك كل 900 قرن تقريبًا. وأول من قدم شرحًا لهذا الانتظام هو العالم الاسكتلندي جيمس كرول James Croll[3]: يبدو أن ذلك الانتظام راجع إلى التغيرات شبه الدورية في العوامل المدارية للأرض التي تؤثر على التشميس، ومن ثمّ على المناخ. وفي هذا السياق، طوَّر الرياضياتي وعالم

---

[1] العنوان الأصلي للمقالة: HASARD ET GLACIATIONS

موقعها الالكتروني: http://www.breves-de-maths.fr/hasard-et-glaciations/

[2] أستاذ محاضر في جامعة أورليان (Orléans) الفرنسية، انظر الموقع: http://www.univ-orleans.fr/mapmo/

صفحته المهنية: https://idpoisson.fr/berglund/

حررت المقالة اعتمادا على أعماله بالتعاون مع بربرا جانتز Barbara Gentz، وهي أستاذة محاضرة في قسم الرياضيات بجامعة بيليفيلد (Bielefeld) الألمانية، انظر الموقع:

http://www.mathematik.uni-bielefeld.de/

صفحتها المهنية: https://www.math.uni-bielefeld.de/~gentz/

[3] انظر الموقع: https://fr.wikipedia.org/wiki/James_Croll

الفلك الصربي ملوتين ميلانكوفيتش Milutin Milankovic [4] هاته النظرية بين عامي 1912 و 1942، إثر إجراء عمليات حسابية مطوّلة حول تغيّرات المدار الأرضي.

إذا تمت كتابة معادلات بشكل مبسّط تعبّر عن تطوّر متوسط درجة حرارة الكرة الأرضية بناء على محصلة الطاقة، فمن الواضح أنّ تغيرات درجة الحرارة الناجمة عن أشعة الشمس ضعيفة جدًا، ولذا لا يمكنها أن تفسر الانتقالات بين المناخات المختلفة. في أوائل ثمانينيات القرن العشرين، اقترحت مجموعتان من الباحثين –وهما الإيطاليون بنزي Benzi، وسوتيرا Sutera وفولبياني Vulpiani؛ والبلجيكيان كاثرين نيكوليس Catherine Nicolis وغريغوار نيكوليس –Gregoire Nicolis بشكل مستقل إدراج تأثير متغيرات كانت مهملة وذلك بإضافة حدّ الحظ إلى حدود المعادلة. يمكن لهذا الاضطراب العشوائي، الذي ينمذج التقلبات "المناخية"، أن يتسبب في انتقالات بين الأنظمة المناخية، وهي الظاهرة المسماة بالصدى التصادفي (stochastic resonance).

إن المحاكاة التي يظهرها مقطع الفيديو بعنوان "الصدى التصادفي" "stochastic resonance"[5] أحسن معبّر عن هذه الظاهرة.

يُظهر مقطع هذا الفيديو جسيمًا ينزلق في مشهد طبيعي لوادين، وهو يخضع لاحتكاكات مع سطح الأرض أو الهواء. يمثّل الوادان النظامين المناخيين، الحار والبارد. أما المحور الأفقي فيمثّل متوسط درجة الحرارة. يتغيّر المشهد بصفة دورية، وذلك تحت تأثير تغيرات العوامل المدارية (مع مبالغة متعمدة في تلك التغيرات لأغراض المحاكاة). يزيد الاضطراب العشوائي، الذي يهزّ الجسيم، من فرص هذا الأخير في الخروج من الواد الذي لا يجد فيه عمقا كافيا. ومن ثمّ، نُشاهد انتقالات عرضية للجسيم من واد إلى الواد الآخر، أي أننا نشاهد عندئذ تغيّرات مناخية كبرى.

إن نموذج الجسيْم في المشهد الطبيعي ذي الوادين ليس واقعيا بالقدر الذي يكفي لتقديم وصف كَمّي عن العصور الجليدية. ومع ذلك فقد اتضحت الانتقالات السريعة بين الأنظمة المناخية، ومن الأهمية بمكان أن نفهم تأثير الاضطرابات العشوائية على تلك الانتقالات.

للاستزادة:

- مقال رياضيات كوكب الأرض بعنوان:
- لِمَ الجو بارد رغم ارتفاع حرارة الكوكب؟

POURQUOI GRELOTTE-T-ON ALORS QUE LA PLANÈTE SE RÉCHAUFFE ?
http://www.breves-de-maths.fr/pourquoi-grelotte-t-on-alors-que-la-planete-se-rechauffe/
"المقالة موجودة ضمن هذه المذكرة"

[4] انظر الموقع: https://en.wikipedia.org/wiki/Milutin_Milanković_

[5] رابط الفيديو: https://www.youtube.com/watch?v=HbJ_I3xbIMg&feature=emb_logo

- صفحة العرض لنيلز برغلوند Nils Berglund

http://www.univ-orleans.fr/mapmo/membres/berglund/

- مقالة من موسوعة ويكيبيديا الحرة Wikipedia بعنوان: Glaciation

https://en.wikipedia.org/wiki/Ice_age

- بضعة شروحات ومحاكاة إضافية عن الاضطراب العشوائي "la résonance stochastique"

https://idpoisson.fr/berglund/noisres.html

- مقالتان أصليتان تقدّمان آلية الاضطراب العشوائي:

R. Benzi, A. Sutera, A. Vulpiani (1981), "The mechanism of stochastic resonance" , J. Phys. A: Math. Gen., Vol. 14, pp. 453-457.
http://iopscience.iop.org/0305-4470/14/11/006/
C. Nicolis, G. Nicolis (1981), "Stochastic aspects of climatic transitions-Additive fluctuations", Tellus, Vol. 33, pp. 225-234.
http://tellusa.net/index.php/tellusa/article/view/10710

- مقالة في مجلة عن نماذج المناخ التصادفية:

N. Berglund & B. Gentz (2002), "Metastability in simple climate models : Pathwise analysis of slowly driven Langevin equations", Stoch. Dyn., Vol. 02, pp. 327.

- للاطلاع على مراجعة لنتائج رياضياتية عن الصدى التصادفي، انظر الفصل 4 من الكتاب

N. Berglund & B. Gentz (2006), "Noise-Induced Phenomena in Slow-Fast Dynamical Systems. A Sample Paths Approach", Springer, Probability and its Applications.

مصدر الصورة: Nils Berglund