

## مقدمة<sup>١</sup>

### الماكروديناميكا الاجتماعية: النمذجة الرياضية لتطور المنظومة العالمية قبل سبعينيات القرن الماضي<sup>1</sup>

أ.د. أندريه كاراطائف، د. ارتمي مالكوف، د. دارية خلطورينا

مصدر – "مجلة كلية الآداب لجامعة القاهرة"،  
مجلد ٦٨ ، سنة ٢٠٠٨ ، الجزء الثاني ، صفحات ١٤٨ – ١٨١ .

إنّ المجتمع البشري عبارة عن منظومة معقّدة غير متوازنة تتغيّر وتتطور باستمرار، حيث تدفع تعقيدات وتناقضات التطور الاجتماعي الباحثين إلى الاستنتاج المنطقي التالي: إنّ أي تبسيط أو تقليل أو تجاهل تعديدية العوامل الاجتماعية يؤدي حتماً إلى تكاثر الأخطاء وعدم فهم العمليات المبحوثة. وقد استقرّ الرأي على أنّ اكتشاف القوانين العلمية العامة مستحيل في مجال دراسات التطور الاجتماعي مسيطراً سيطرةً شاملةً على المجموعة الأكاديمية وخاصة بين اللذين يتخصّصون في الإنسانيّات ويواجهون بشكل مباشر في بحثهم كل تعقيدات وتركيبات العمليات الاجتماعية. فطريقة بحث المجتمع البشري كمنظومة بالغة التعقيد هي أن نعرّف بمستويات مختلفة من التجريد ومقاييس الزمن. فالمهمة الأساسية للتحليل العلمي هي إيجاد القوى الرئيسية التي تؤثر على أنظمة معينة لاكتشاف القوانين العلمية المبدئية عن طريق التجرد من التفاصيل وانحرافات القواعد. طبعاً المجتمع البشري عبارة عن منظومة بالغة التعقيد بالفعل. فهل يمكننا وصفها بقوانين علمية بسيطة؟ إنّ المنجزات الحديثة في مجال النمذجة الرياضية تمكّنا أن نجيب على هذا السؤال جواباً إيجابياً محدّداً – من الممكن وصف التطور الاجتماعي بواسطة ماكروقوانين دقيقة وبسيطة بشكل مقبول.

<sup>1</sup> نود أن نعرب عن شكرنا البالغ لـ أ.د. طارق منصور (جامعة عين شمس) والدكتورة هيام الشاعر (الجامعة الروسية للإنسانيّات) لملاحظتهما المفيدة.

## الاكتشاف الغريب لهاينتس فون فورستر

لقد نشر هاينتس فون فورستر وزملاؤه في عام 1960 في مجلة "ساينس" (*Science*) المشهورة خبراً عن اكتشافهم العجيب (von Foerster, Mora, and Amiot 1960). فأوضحوا أنّ ديناميكا عدد سكان العالم ( $N$ ) بين سنة 1م وسنة 1958م يمكن وصفها رياضياً بصورة بالغة الدقة بواسطة معادلة بسيطة للغاية، وهي ما يلي:<sup>2</sup>

$$N_t = C/(t_0 - t) \quad (1)$$

وهنا  $N_t$  ترمز إلى عدد سكان العالم في لحظة  $t$ ، و  $C$  و  $t_0$  هما ثابتان (*constants*)، و  $t_0$  تعادل الحد الزمني المطلق ("النقطة المفردة" [*singularity*]) الذي كان عدد سكان العالم سيصبح عنده لا متناهيّاً لو استمرّ النموّ السكاني بعد سنة 1958م على نفس المنوال مثلما في الفترة فيما بين سنة 1م وسنة 1958م.

وقد قدّر فون فورستر وزملاؤه الثابت  $t_0$  تقديراً تالياً: 2026.87 ويعادل ذلك العدد اليوم الثالث عشر من شهر نوفمبر سنة 2026م ومكّنهم ذلك أن يعطوا لمقالته عنواناً مشهوراً - "يوم الحساب: الجمعة، 13 نوفمبر، سنة 2026م" (*Doomsday: Friday, 13 November, A.D. 2026*).

والجدير بالذكر أنّ التمثيل الخطي لهذه المعادلة عبارة عن قطع زائد، ولذلك يسمّى قانون النموّ الموصوف بهذه المعادلة بقانون "القطع الزائد". لنتذكّر أنّ معادلة القطع الزائد هي ما يلي:

$$y = k/x \quad (2)$$

وفيما يلي التمثيل الخطي لهذه المعادلة (إذا افترضنا أنّ الثابت  $k$  يساوي 5، مثلاً) (الشكل رقم 1):

<sup>2</sup>بالفعل، المعادلة المقترحة بفون فورستر وزملائه عبارة عمّا يلي:

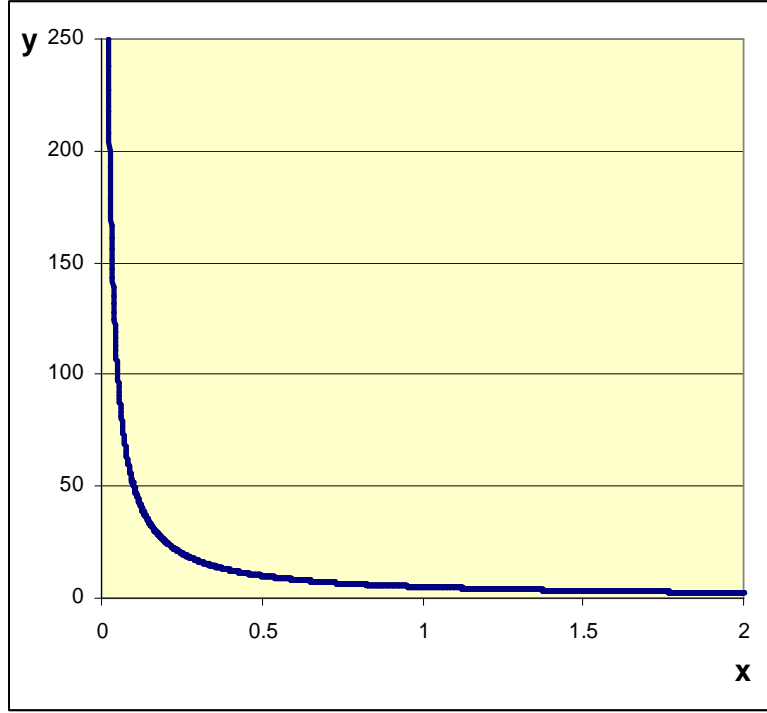
$$N_t = C/(t_0 - t)^{0.99}.$$

ولكن فون هورنر وكابيتسا أثبتا أنّ هذه المعادلة يمكن تسجيلها بصورة مبسّطة كما يلي:

$$N_t = \frac{C}{t_0 - t}$$

(von Hoerner 1975; Kapitza 1992, 1999).

الشكل رقم 1. منحنى القطع الزائد المشكّل بالمعادلة  $y = \frac{5}{x}$

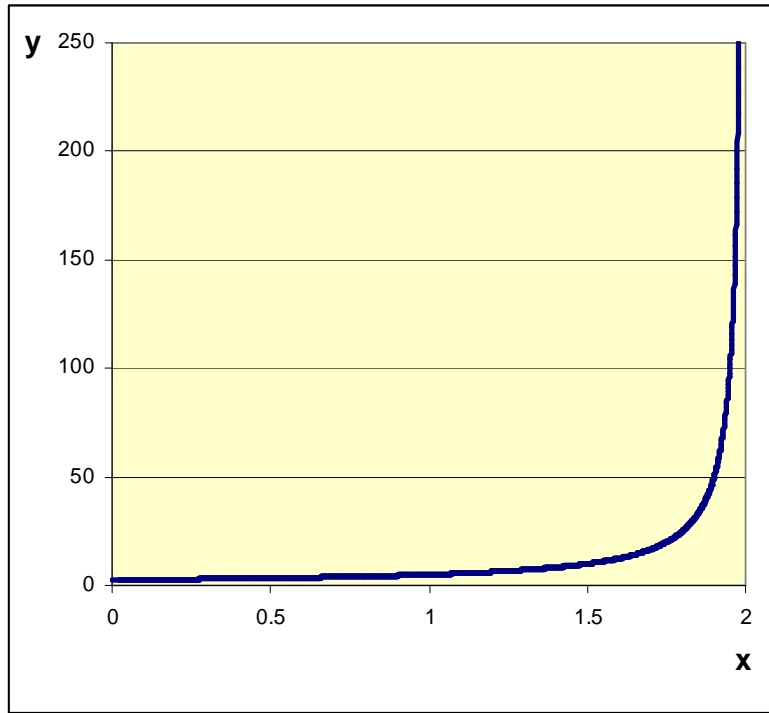


وكذلك من الممكن تسجيل معادلة القطع الزائد بالطريقة التالية:

$$y = k / (x_0 - x) \quad (3)$$

وإذا افترضنا أن  $x_0$  تساوي 2 (وإذا كانت  $k$  لا تزال تساوي 5)، ستشكّل هذه المعادلة المنحنى التالي (الشكل رقم 2 ( 2 :

الشكل رقم 2. منحنى القطع الزائد المشكّل بالمعادلة  $y = \frac{5}{2-x}$



ومن الواضح أنّ المنحنى المشكّل بالمعادلة رقم (3) بالشكل رقم 2 عبارة عن صورة المرآة الدقيقة لمنحنى القطع الزائد المشكّل بالمعادلة رقم (2) بالشكل رقم 1. والآن لنؤوّل المحور السيني كمحور الزمن ولنؤوّل المحور الصادي كمحور عدد سكان العالم (المعدود بالملايين)، لنستبدل  $x_0$  بـ 2027 (وذلك للتعبير عن عدد فون فورستر، 87. 2026، بعدد صحيح)، وسنجد معادلة فون فورستر بهذه الثوابت تأخذ الشكل التالي :

$$N_t = 215000 / (2027 - t). \quad (4)$$

بالفعل، تقترح معادلة فون فورستر شيئاً غريباً للغاية، حيث "تقول" لنا هذه المعادلة إنّنا إذا أردنا أن نعرف عدد سكان العالم (المعدود بالملايين) في سنة معيّنة، نستطيع ذلك بواسطة عملية رياضية بسيطة للغاية، فيجب علينا أن نطرح هذه السنة من 2027 وأن نقسّم 215000 على الفرق. وطبعاً لأوّل نظرة يبدو الألوغوريثم مثل هذا غير محتمل إطلاقاً. ولكن لنختبره. لنبدأ بسنة 1970م. لإحصاء عدد سكان العالم في هذه السنة بواسطة معادلة فون فورستر أولاً نطرح 1970 من 2027 ونجد الناتج 57. والآن العملية الوحيدة الباقية هي أن نقسّم 215000 على الناتج الذي قد حصلنا عليه (وهو 57) وبالتالي سنستطيع أن نحصل على تقدير عدد سكان العالم في عام 1970م:

$$215000 \div 57 = 3771.9$$

وفقاً لمعلوماتية مكتب التعداد بالولايات المتحدة (U.S. Bureau of the Census 2006) كان عدد سكان العالم في سنة 1970م 3708.1 مليون نسمة. ولكن من المستحيل أن يدلي أي خبير من خبراء هذا المكتب أن عدد سكان العالم كان هذه السنة 3708.1 نسمة بالضبط. فعلاً النتيجة المتحصّل عليها تقع بدقة داخل الهوامش المحيدة (*error margins*) للتقديرات التجريبية.

والآن لنحسب عدد سكان العالم في سنة 1900م بواسطة نفس المعادلة. ومن الواضح أنه لذلك الغرض يجب علينا أن نقسم 215000 مليون على 127 وناتج هذا التقسيم 1693 مليون وهذا العدد موجود في حدود التقديرات التجريبية المعروفة (أي بين 1600 و1710 مليون نسمة).<sup>3</sup>

لنكرّر هذه العملية بالنسبة لسنة 1800م:

$$2027 - 1800 = 227$$

$$215000 \div 227 = 947.1 \text{ (million)}$$

فحسب التقديرات التجريبية كان عدد سكان العالم يساوي فعلاً ما بين 900 و980 مليون نسمة.<sup>4</sup> ولنكرّر الآن نفس العملية الحسابية بالنسبة لسنة 1700م:

$$2027 - 1700 = 327$$

$$215000 \div 327 = 657.5 \text{ (million)}$$

ومن جديد نجد الناتج داخل هوامش التقديرات التجريبية المعروفة (بين 600 و679 مليون).<sup>5</sup> فلنكرّر هذا الألوغريثم مرة أخرى، بالنسبة لسنة 1400م:

$$2027 - 1400 = 627$$

$$215000 \div 627 = 343 \text{ (million)}$$

وكالمعتاد نجد الناتج داخل الهوامش المحيدة للتقديرات التجريبية.<sup>6</sup> والصورة العامة للتناسق (*correlation*) بين المنحنى المتحصّل عليه بمعادلة فون فورستر والصف الأكبر تفصيلاً من التقديرات التجريبية هي ما يلي (الشكل رقم 3):

<sup>3</sup> Thomlinson 1975; Durand 1977; McEvedy and Jones 1978; Biraben 1980; 2003Modelski ; 1995 Haub

UN Population Division 2006; U.S. Bureau of the Census 2006. Thomlinson 1975; McEvedy and Jones 1978; Biraben 1980; Modelski <sup>4</sup>

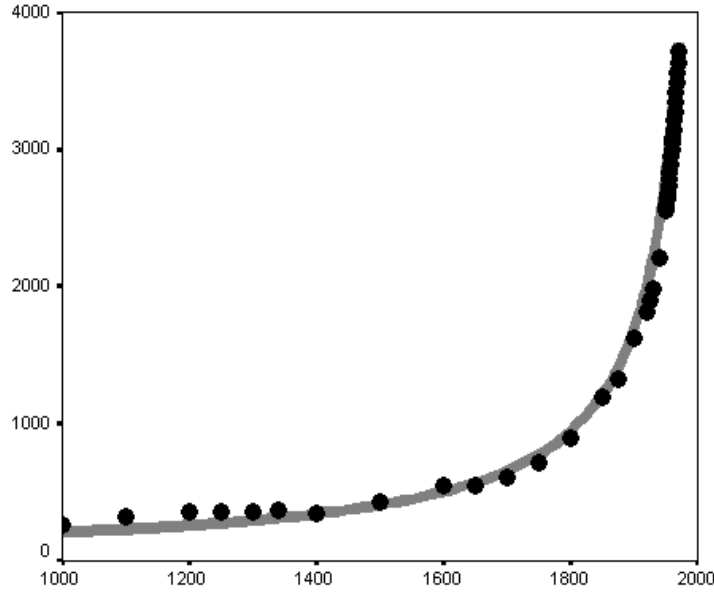
2006sus nBureau of the Ce. S.U; 2006UN Population Division ; 2003

Thomlinson 1975; McEvedy and Jones 1978; Biraben 1980; Maddison <sup>5</sup>

.2006of the Census Bureau . S.U; 2003Modelski ; 2001

<sup>6</sup> 350 مليون نسمة (McEvedy and Jones 1978)، 374 مليون نسمة (Biraben 1980).

**الشكل رقم 3.** التناسق بين التقديرات التجريبية لعدد سكان العالم (المعدود بالملايين، للفترة ما بين سنة 1000م وسنة 1970م) والمنحنى المشكل بمعادلة فون فورستر



**الملاحظات:**

المحور السيني - السنوات (الميلادية)؛

المحور الصادي - عدد سكان العالم (بملايين النسمة)؛

تعاقد الدوائر السوداء للتقديرات التجريبية لعدد سكان العالم لماك أويدي وجونس (McEvedy, Jones 1978) للفترة ما بين سنة 1000م وسنة 1950م وحسب مكتب تعداد السكان بالولايات المتحدة ( U.S. Bureau of the 2006 Census ) للفترة ما بين سنة 1950م وسنة 1970م. وقد تم تشكيل المنحنى الرمادي اللون بواسطة معادلة فون فورستر

(معادلة رقم (4)).

وفيما يلي المواصفات الرياضية لهذا التناسق:

$$R = 0.998$$

$$R^2 = 0.996$$

$$p = 9.4 \times 10^{-17} \approx 1 \times 10^{-16}$$

ولندكر أولئك القراء الذين لا يستخدمون الإحصاءات الرياضية في بحوثهم أنه من الممكن أن نعتبر  $R^2$

كمقدار التناسق بين الديناميكا المولدة من قبل نموذج رياضي والديناميكا الفعلية، ومن الممكن تأويل  $R^2$  كنسبة

الديناميكا الفعلية المشروحة من قبل المعادلة المعينة. ولنلاحظ أننا نستطيع تعريب 0.996 كـ 99.6 بالمئة. وهذا

معناه أن معادلة فون فورستر بوسعها ان تشرح نسبةً عجيبةً حقاً من كل الماكروديناميكا لسكان العالم في لفترة ما

بين 1000م و1970م حسب تقديرات ماك أويدي وجونس (McEvedy and Jones 1978) ومكتب تعداد السكان

7.(U.S. Bureau of the Census 2006).

والجدير بالذكر أن التقديرات التجريبية لأعداد سكان العالم في سنوات مختلفة من تاريخ البشر تنتظم تلقائياً وبصورة دقيقة جداً على طول منحنى القطع الزائد وذلك يوضح سبب تسمية النمو السكاني العالمي قبل سبعينيات القرن السابق بنمو القطع الزائد أو بالنمو "الزائدي المقطع".

لقد اكتشف فون فورستر وزملاؤه النمو الزائدي المقطع لعدد سكان العالم للفترة ما بين سنة 1م وسنة 1958 م؛ وبعد ذلك وجد باحثون آخرون أن النمو السكاني العالمي الزائدي المقطع استمرّ لعدة سنوات بعد عام 1958 م، وكذلك أن عدد سكان العالم نما نمواً زائدياً المقطع أثناء أفيات عديدة قبل الميلاد (Kapitza 1992, 1999; Emer Kr 1993). وبالفعل من الممكن الوصف الرياضي الدقيق ( $R^2 = 0.996$ ) لتقديرات عدد سكان العالم لماك أويدي وجونس

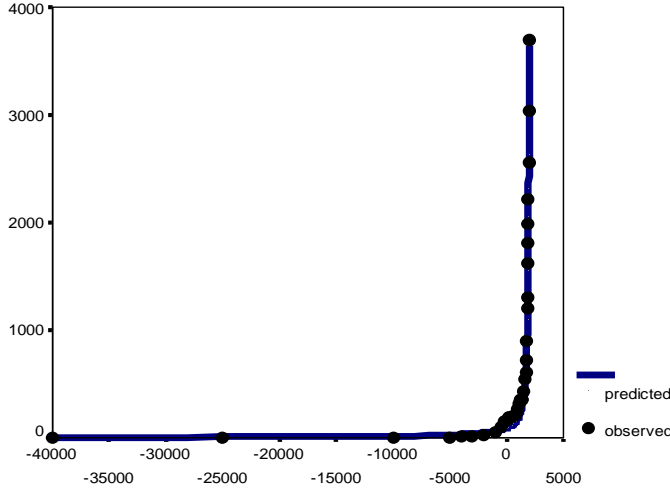
(McEvedy and Jones 1978) للفترة ما بين عام 5000 وعام 500 قبل الميلاد، ويبقى الاتفاق بين الديناميكا المولدة من قبل المعادلة الزائدية المقطع والتقديرات التجريبية عالياً جداً ( $R^2 = 0.990$ ) للفترة ما بين عام 40000 وعام 200 قبل الميلاد (Korotayev, Malkov, and Khaltourina 2006b: 150).

وكذلك تتابع الصورة العامة للديناميكا السكانية العالمية في الفترة ما بين سنة 40000 قبل الميلاد وسنة 1970م النموذج الزائدي المقطع بدقة ملحوظة (الشكل رقم 4):

<sup>7</sup> والجدير بالذكر أنه بثوابت مختلفة قليلاً ( $t_0 = 2014$ ;  $C = 164890.45$ ) يبلغ الاتفاق ( $R^2$ ) بين الديناميكا المولدة من قبل معادلة فون فورستر وبين الديناميكا السكانية العالمية الفعلية للفترة ما بين سنة 1000م وسنة 1970م حسب تقديرات ماك أويدي

(McEvedy and Jones 1978) ومكتب تعداد السكان للولايات المتحدة (U.S. Bureau of the Census 2006) قيمة 0.992 أي 99.92 بالمئة، أما الفترة ما بين سنة 500 قبل الميلاد وسنة 1970م فلا يختلف لها ذلك الاتفاق كثيراً عن الحد الأقصى (1.0 أو 100 بالمئة) وهو يساوي 0.9993 (99.93 بالمئة) - وذلك بالثوابت التالية:  $C = 171042$  . 2016 =  $t_0$  . 78

**الشكل رقم 4.** التناسق بين التقديرات التجريبية لعدد سكان العالم (المعدود بالملايين، للفترة ما بين سنة 40000 قبل الميلاد وسنة 1970م) والمنحنى المشكّل بمعادلة القطع الزائد



**الملاحظات:**

المحور السيني - السنوات قبل وبعد الميلاد؛ المحور الصادي - عدد سكان العالم (بملايين النسمة)؛

$$R = 0.998, R^2 = 0.996, p < 0.0001$$

تعادل الدوائر السوداء للتقديرات التجريبية لعدد سكان العالم لماك أويدي وجونس (McEvedy and Jones 1978) ( 8 ) وكريمير (Kremer 1993) للفترة ما بين سنة 40000 قبل الميلاد وسنة 1950م ولمكتب تعداد السكان بالولايات المتحدة

(U.S. Bureau of the Census 2006) للفترة ما بين سنة 1950م وسنة 1970م. وقد تم تشكيل المنحنى

الرمادي اللون عن طريق معادلة فون فورستر التالية:

$$N_t = \frac{189648.7}{2022 - t}$$

"يوم الحساب الاقتصادي" الذي لم يحدث (8)<sup>8</sup> : يوم السبت، 2005/07/23م

والجدير بالذكر أنه لو كانت عند فون فورستر وزملائه، بالإضافة إلى المعطيات حول سكان العالم، المعطيات حول ديناميكا إنتاج الناتج العالمي الإجمالي (*world GDP*) في الفترة ما بين سنة 1م وسنة 1973م (رغم أنه في الحقيقة كانت تلك المعطيات منشورة من قبل ماديسون [Maddison 2001] في سنة 2001م فقط) لكان بوسعهم القيام بـ"التنبؤ" الآخر اللافت للنظر - والذي نصّ على أنه في اليوم السبت، 2005/07/23م، سيأتي "يوم الحساب الاقتصادي"، أي بهذا اليوم كان الناتج العالمي الإجمالي سيصبح لا متناهيًا لو استمرت بعد سنة 1973م نزعاً النمو الاقتصادي التي كانت مسيطرة على العالم في الفترة ما بين سنة 1م وسنة 1973م. وبالإضافة إلى ذلك كانوا سيكتشفون أنه في الفترة فيما بين سنة 1م وسنة 1973م نما الناتج العالمي نموًا زائدًا المقطع مربعًا.

<sup>8</sup> سنشرح أسباب عدم حدوث "يوم الحساب الاقتصادي" في مقالتنا الثانية. أنظر كذلك



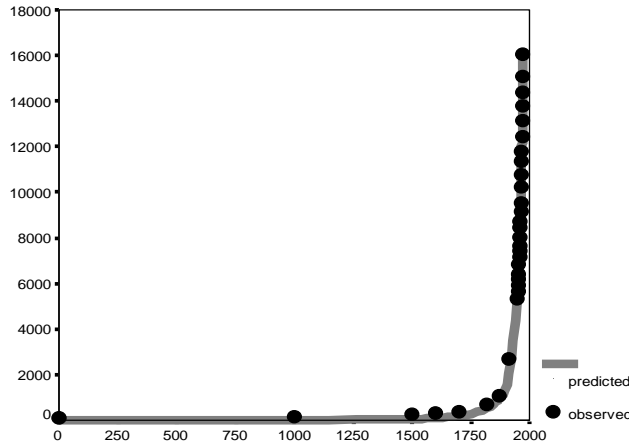
وبالفعل تصف المعادلة التالية تقديرات ماديّسون للنتاج العالمي الإجمالي في الفترة ما بين سنة 1م وسنة 1973م وصفاً رياضياً دقيقاً جداً:

$$G_t = C / (t_0 - t)^2. \quad (5)$$

وهنا  $G_t$  عبارة عن الناتج العالمي الإجمالي (بمليارات الدولارات الدولية لسنة 1990م بتساوي القدرة الشرائية [purchasing power parity, PPP]) في سنة  $t$  ،  $C = 17355487.3$  ،  $t_0 = 2005.56$  (الشكل رقم 5):

**الشكل رقم 5.** التناسق بين التقديرات التجريبية للناتج العالمي الإجمالي (المعدود بمليارات

الدولارات الدولية لسنة 1990م بتساوي القدرة الشرائية، للفترة ما بين سنة 1م وسنة 1970م) والمنحنى المشكل بمعادلة القطع الزائد المربع



الملاحظات:

المحور السيني - السنوات (الميلادية)؛

المحور الصادي - الناتج العالمي الإجمالي (بمليارات الدولارات الدولية لسنة 1990م، بتساوي القدرة الشرائية)؛

$$R = 0.9993, R^2 = 0.9986, p \ll 0.0001$$

تُعادل الدوائر السوداء للتقديرات التجريبية للناتج العالمي الإجمالي لماديّسون (Maddison 2001). أمّا المنحنى الرمادي اللون فقد تم تشكيله بواسطة معادلة القطع الزائد المربع التالية:

$$G = \frac{17749573.1}{(2006 - t)^2} \quad (5')$$

كما ذكرنا أعلاه، نستطيع أن نبليغ التناسق الأكبر إذا استخدمنا الثوابت التالية:  $C = 17355487.3$  ،  $t_0 = 2005.56$  ، فيعادل 2005.56 لليوم الثالث عشر من شهر يوليو عام 2005م، أي "يوم الحساب الاقتصادي" المذكور أعلاه، ولكن بداية من هذه النقطة سنستخدم بالنسبة للسنوات أعداداً صحيحة فقط.

والفارق الوحيد بين القطع الزائد البسيط والقطع الزائد المربع هو أنّ القطع الزائد البسيط يتم وصفه رياضياً

بواسطة معادلة (2):

$$y = \frac{k}{x} \quad (2)$$

بينما نجد داخل معادلة القطع الزائد المربع  $x^2$  بدلاً من مجرد  $x$ :

$$y = \frac{k}{x^2} \quad (6)$$

وبالطبع، من الممكن تسجيل المعادلة الزائدية المقطع المربعة بالطريقة التالية:

$$y = \frac{k}{(x_0 - x)^2} \quad (7)$$

وها هي المعادلة التي استخدمناها أعلاه للوصف الرياضي للماكروديناميكا الاقتصادية العالمية في الفترة ما بين سنة 1م وسنة 1973م. وإنّ الألوغريثم لحساب التقديرات النظرية للنتائج العالمي الإجمالي يبقى بسيطاً للغاية. فمثلاً، لكي نقوم بالتقدير النظري لقيمة الناتج العالمي الإجمالي في سنة 1906م (بمليارات الدولارات الدولية لسنة 1990م بتساوي القدرة الشرائية) بواسطة المعادلة (5') فيجب علينا أولاً أن نطرح 1906 من 2006، ولكن بعد ذلك يجب علينا أن نقسم الثابت  $C$  (17355487.3) على مربع الفرق الناتج ( $100^2 = 10000$ ) وليس على الفرق (100) فقط.

إن أولئك القراء الذين لم يقرؤوا سابقاً عن النماذج الرياضية للنموّ السكاني الزائدي المقطع قد تكون عندهم أسئلة كثيرة بعد قراءة ما سبق عرضه:

□ كيف يمكن الوصف الرياضي للماكروديناميكا الطويلة الأمد للمنظومة الاجتماعية الأكثر تعقيداً بصورة دقيقة جداً بواسطة معادلات بسيطة للغاية؟

• لماذا تلك المعادلات غريبة إلى هذا الحد؟ فحَقاً، كيف نستطيع أن نقوم بتقدير نظري دقيق جداً لعدد سكان العالم في سنة من السنين بطريقة بسيطة؟ - بطريقة طرح السنة من "سنة يوم الحساب" وبتقسيم ثابت معين على الفرق المتحصّل عليه؟

• لماذا إذا أردنا أن نعرف قيمة الناتج العالمي الإجمالي في هذه السنة، يجب علينا تربيع الفرق قبل القسمة؟

• لماذا كان النموّ السكاني العالمي الزائدي المقطع يرافقه النموّ الزائدي المقطع المربع للناتج العالمي الإجمالي؟

• هل هذه مجرد صدفة؟

• أو هل النموّ السكاني العالمي الزائدي المقطع والنموّ الزائدي المقطع المربع للناتج العالمي الإجمالي هما جانبان مرتبطان ارتباطاً وثيقاً للعملية الماكروديناميكية الوحيدة؟

في الجزء التالي من هذه المقالة سنحاول أن نقدم ملخص الأجوبة لهذه الأسئلة.

ولكن قبل بدء ذلك نودّ القول إنّ أغلبية القراء، غير العارفين بالرياضيات، لا يتمون قراءة أي كتاب كلاً ما عثروا على العبارة التالية: "معادلة تفاضلية". ولذلك نودّ ألا يخاف أولئك القراء، وأن يواصلوا القراءة، ليروا أنّ فهم بعض المعادلات التفاضلية للذين لم يدرسوا الرياضيات في الجامعة شيء غير مستحيل إطلاقاً.

## المعادلة التفاضلية للنموّ السكاني العالمي

المهمّ أنّ معادلة فون فورستر ( $N_t = \frac{C}{t_0 - t}$ ) عبارة عن الحل التحليلي للمعادلة التفاضلية التالية

:(Korotayev, Malkov, Khaltourina 2006a: 119)

$$\frac{dN}{dt} = \frac{N^2}{C} \quad (8)$$

وطبعاً من الممكن تسجيل هذه المعادلة بالطريقة التالية:

$$\frac{dN}{dt} = aN^2 \quad (8')$$

وهنا  $a = \frac{1}{C}$ .

فما معنى تلك العبارة الرياضية،  $\frac{dN}{dt} = aN^2$ ؟ إنه في سياق هذه الدراسة يعني  $dN/dt$  السرعة المطلقة للنمو السكاني في لحظة زمنية معينة. ولذلك تعني المعادلة رقم (8) أن السرعة المطلقة في أية لحظة من الزمن تناسب مربع عدد السكان في هذه اللحظة. والمهم أن ذلك يوضّح مسألة أسباب النمو السكاني العالمي الزائدي المقطع توضيحاً ملحوظاً. والآن لتفسير النمو الزائدي المقطع يجب علينا أن نفسّر لماذا لعدة آلاف من السنين كانت السرعة المطلقة للنمو العالمي السكاني تناسب مربع عدد سكان العالم.

## نموذج مايكل كريمير الرياضي للنمو السكاني التكنولوجي العالمي

إننا متأكدون أن التقدم الأكبر في مجال تطوير نماذج رياضية تقدّم جواباً مقنعاً للسؤال حول أسباب النمو السكاني العالمي الزائدي المقطع قد حققه مايكل كريمير (Michael Kremer) وفي ما يلي سنلخص نموذجه الرياضي. يتأسس هذا النموذج على النقاط التالية:

أولاً: يبني كريمير نموذجه على مبدأ مالتوس (Malthus 1978) وهو أن "عدد السكان يحدده التكنولوجيا المستخدمة، ولذلك سرعة النمو السكاني تتناسب سرعة النمو التكنولوجي" (Kremer 1993: 681–682).<sup>9</sup> وحسب رأينا فإن هذا المبدأ معقول جداً. ففعلاً، أثناء الجزء الأكبر من التاريخ البشري كان عدد سكان العالم محدوداً بسقف قدرة الأرض الحاملة (*carrying capacity*) المحددة بالمستوى التكنولوجي الخاص بالفترة الزمنية المعنية. فمثلاً، في عصر ما قبل الزراعة ما كانت التكنولوجيات البشرية باستطاعتها أن توفر المؤونة لأكثر من عشرة ملايين نسمة، لأن كمية المادة الحيّة الطبيعية (*natural biomass*) المفيدة للبشر محدودة، وما استطاع عدد سكان العالم أن ينمو فوق ذلك المستوى إلا بعد أن بدأ الناس يطبقون وسائل مختلفة للتزويد الاصطناعي لكمية المادة الحيّة المفيدة للبشر، أي بعد الانتقال إلى الزراعة. ومع ذلك، الزراعة البدائية في استطاعتها أن توفر المؤونة الكافية لعدد محدود جداً من الناس وما استطاع عدد سكان العالم أن يواصل نموه إلا بعد تطبيق اختراعات

<sup>9</sup> والجدير بالذكر أن السرعة المطلقة للنمو السكاني تتناسب عدد السكان نفسه - لأنه مع نفس السرعة النسبية العدد الأكبر من السكان سيزيد أسرع من العدد الأقل. مثلاً، إذا كانت السرعة النسبية تساوي 3 بالمئة في سنة وإذا كان عدد السكان في بلد مليون نسمة، سيكون النمو السكاني في هذا البلد في هذه السنة يقدر بـ 30 ألف نسمة؛ وإذا كان ذلك العدد 100 مليون نسمة سيكون النمو السكاني 3 ملايين نسمة أي ستكون السرعة المطلقة أكبر بـ 100 مرة مع نفس السرعة النسبية.

تكنولوجية جديدة مختلفة (مثل أسمدة فعّالة وأنظمة ريّ ودورات زراعية متطورة وأنواع عالية الانتاج من النباتات الزراعية والحيوانات الداجنة ألخ).

وينمذج كريمير هذا المبدأ رياضياً بواسطة المعادلة التالية:

$$G = rTN^\alpha, \quad (9)$$

وهنا  $G$  ترمز إلى الناتج العالمي الإجمالي، و  $T$  عبارة عن المستوى التكنولوجي، و  $N$  ترمز إلى عدد السكّان، أما  $\alpha$  و  $r$  فهما ثابتان. فإذا كانت  $T$  ثابتةً (أي في حالة عدم وجود أي تطوّر تكنولوجي) تولّد معادلة (9) الديناميكا المالتوسية (*Malthusian dynamics*). فمثلاً، لنفترض أنّ  $\alpha$  تساوي 0.5 وأنّ  $T$  ثابتة. لنتذكّر أنّ  $N^{0.5}$  عبارة عن  $\sqrt{N}$ . وهذا معناه أنّ ازدياد عدد السكان أربع مرّات سيؤدّي إلى زيادة الناتج الإجمالي مرتين فقط (لأنّ  $\sqrt{4} = 2$ ). فهنا ينمذج كريمير رياضياً قانون ريكاردو (Ricardo 1817) لتناقص الغلة (*law of diminishing returns to labor*)، فلا يُنتج هذا القانون إلا الديناميكا المالتوسية في حالة عدم وجود النموّ التكنولوجي. وفعلاً، إذا زاد عدد السكان أربع مرّات وازداد الإنتاج مرتين فقط سيؤدّي ذلك إلى انخفاض الناتج لكل نسمة بمرّتين. وكيف سيؤثر ذلك على الديناميكا السكانية؟

يفترض كريمير أنّ "عدد السكّان يزداد إذا كان متوسط الدخل لكل نسمة أعلى من المستوى المعين ("مستوى التوازن"،  $m$ )، وينخفض إذا كان متوسط الدخل لكل نسمة أقلّ من ذلك المستوى" (Kremer 1993: 685). وهذا معناه أنّ انخفاض متوسط الدخل لكل نسمة يؤدّي إلى انخفاض سرعة النموّ السكاني، فستقترب تلك السرعة من 0 إذا اقترب متوسط الدخل لكل نسمة من  $m$ . والجدير بالذكر أنّ مثل هذه الديناميكا كانت عادية جداً في المجتمعات الزراعية، وأسباب ذلك معروفة معرفةً جيدةً - ففعلاً، إذا انخفض متوسط الدخل لكل نسمة وأصبح قريباً جداً من  $m$ ، يعني ذلك انخفاض مستوى التغذية والصحة لأغلبية السكان وسيؤدّي ذلك إلى ازدياد معدّل الوفيات وانخفاض سرعة النموّ السكاني نتيجةً لذلك.<sup>11</sup> إذاً، في حالة عدم وجود النموّ التكنولوجي لن يستطيع عدد السكان أن ينمو فوق مستوى معيّن (يصبح عنده متوسط الدخل لكل نسمة  $[g = G/N]$  مساوياً لـ  $m$ ). وهذا معناه أنه لكل مستوى معيّن من التطوّر التكنولوجي هناك "مستوى منفرد من عدد السكان" (*a unique level of population, n*) لا يستطيع عدد السكان أن ينمو فوقه مع ذلك المستوى التكنولوجي (Kremer 1993: 685). والجدير بالذكر أنّ  $n$  يمكن فهمها أيضاً كالسعة الحاملة للكرة الأرضية (*the Earth carrying capacity*)، أي العدد الأقصى من السكان الذي تستطيع الكرة الأرضية أن تحمله عند مستوى تكنولوجي معيّن.

ومع ذلك، من المعروف أنّ مستوى التطوّر التكنولوجي ليس ثابتاً، فهو عبارة عن قيمة متغيّرة. ويستخدم

كريمير افتراضه الثاني للوصف الرياضي للديناميكا التكنولوجية:

$$0 < \alpha < 1^{10}$$

Malthus 1978 [1798]; Postan 1973; Abel 1974, 1980; Artzrouni, and Komlos 1985  
Komlos and Nefedov 2002; Turchin 2003; Nefedov 2004; Korotayev, b2006tourina land Kha, Malkov

"إنّ الزيادة العاليه في السكّان يحثّ التطوّر التكنولوجي ، لأنه يزيد من عدد المخترعين المحتملين. حيث مع وجود عدد أكبر من السكّان سيكون هناك عدد أكبر من الناس الذين عندهم حسن حظّ أو براعة كافية لإنتاج أفكار تكنولوجية جديدة" ، ولذلك "سرعة النمو التكنولوجي (*the growth rate of technology*) تتناسب مع عدد السكان بالكامل" (Kremer 1993: 685).<sup>12</sup> وفي الحقيقة يستخدم كريمير هنا الافتراض الرئيسي لنظرية "النموّ التكنولوجي الباطني".<sup>13</sup> كما نعرف، كان سيمون كوزنيتس هو الأوّل الذي تقدّم بهذا الافتراض (Kuznets 1960) ، ولذلك سنسمّي مثل هذه الديناميكا بالديناميكا "الكوزنيتسية"، حيث أنّنا سنسمّي المنظومات التي تجمع الديناميكا التكنولوجية الكوزنيتسية والديناميكا السكانية المالتوسية بـ"منظومات مالتوسية كوزنيتسية". وبصورة عامّة، نجد أنّ هذا الافتراض معقول - فبالفعل، من المعقول أنه إذا ظلّت جميع العوامل الأخرى من غير تعديل، سيُنتج أثناء فترة زمنية معينة مليار نسمة من الاختراعات الأكثر بألف مرّة من التي سيخترعها مليون نسمة في نفس الفترة الزمنية.

ويُعبّر كريمير عن هذا الافتراض تعبيراً رياضياً تالياً:

$$\frac{dT}{dt} = bNT \quad (10)$$

وهكذا، تقول هذه المعادلة إنّ السرعة المطلقة للنموّ التكنولوجي ( $\frac{dT}{dt}$ ) في لحظة معينة من الوقت تتناسب مع المستوى التكنولوجي ( $T$ ) المشاهد في تلك اللحظة (فكلّما تتّسع القاعدة التكنولوجية كلّما يزداد عدد الاختراعات التي يمكن إنتاجها بتلك القاعدة)، وتتناسب كذلك مع عدد السكان ( $N$ ) (فكلّما يزداد عدد السكان كلّما يزداد عدد المخترعين المحتملين).<sup>14</sup>

في نموذج الرياضياتي المبدئي يجمع كريمير المعادلة التكنولوجية والمعادلة السكانية ويثبت أنّه لا تُنتج تفاعلها إلاّ للنموّ السكاني الزائدي المقطع.<sup>15</sup> ويقدم نموذج كريمير الرياضي شرحاً مقنعاً لماذا أثناء الجزء الأكبر من التاريخ البشري نما عدد سكّان العالم نمواً زائدي المقطع (أي كانت السرعة المطلقة للنموّ السكاني متناسبة مع مربع عدد السكان). فمثلاً، لماذا كان ازدياد عدد سكان العالم ( $N$ ) من عشرة ملايين إلى مائة مليون نسمة يؤدّي إلى زيادة السرعة المطلقة للنموّ السكاني ( $dN/dt$ ) مائة مرّة تقريباً؟ فنقدّم معادلات كريمير جواباً مقنعاً لهذا السؤال (رغم أنّ كريمير نفسه ما شرح ذلك شرحاً واضحاً). والمهمّ أنّ ازدياد عدد سكان العالم ( $N$ ) من عشرة ملايين إلى مائة مليون نسمة يعني أنّ التكنولوجيا البشرية ( $T$ ) نمت كذلك عشر مرّات تقريباً (لأنّ التكنولوجيا الجديدة قد تثبتت قدرتها أن تُوفّر المؤونة لعدد أكبر عشر مرّات من الناس بالمقارنة مع التكنولوجيا السابقة التي كانت بوسعها أن

<sup>12</sup> والجدير بالذكر أنّه هنا تعني "سرعة النموّ التكنولوجي" في الحقيقة "السرعة النسبية للنموّ التكنولوجي" (أي المستوى الذي ستنمو التكنولوجيا إليه أثناء فترة زمنية معينة بالنسبة للمستوى المشاهد في بداية تلك الفترة).

<sup>13</sup> Kuznets 1960; Grossman and Helpman 1991; Aghion and Howitt 1992, 1998; Jones ; 2002Komlos and Nefedov ; 2000, 1981, 1977Simon ; 1995, 2003 b2006, a0620Khaltourina , Malkov, Korotayev;

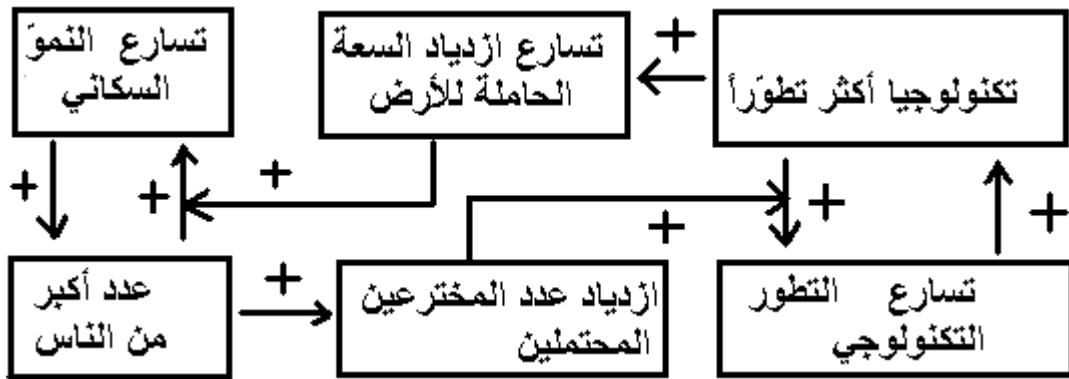
<sup>14</sup> ما اختبر كريمير هذا الافتراض اختباراً تجريبياً مباشراً بنفسه. ولكن الجدير بالذكر أنّ اختبارنا التجريبي لهذا الافتراض قد تثبت صحته (Korotayev, Malkov, Khaltourina 2006b: 141-146).

<sup>15</sup> Kremer 1993: 685-686; Podlazov 2000, 2001, 2002, 2004; Tsirel 2004;

توفّر المؤونة لعشرة ملايين نسمة فقط). ومن الناحية الثانية، يعني ازدياد عدد السكان ( $N$ ) عشرَ مرّات ازديادَ عدد المخترعين المحتملين عشرَ مرّات أيضاً ويؤدّي ذلك إلى ازدياد السرعة النسبية للنموّ التكنولوجي نفسه عشرَ مرّات. ولذلك ستزداد السرعة المطلقة للنموّ التكنولوجي ( $dT/dt$ ) مئةَ مرّة (أي عشر مرات في عشر مرات)، لأنه حسبَ معادلة (11) العدد الأكبر بعشر مرّات للناس ( $N$ ) الذين يمتلكون التكنولوجيا ( $T$ ) الأكثر تطوّراً عشرَ مرّات سيخترعون عدداً أكبر بمائة مرّة (أي عشر مرات في عشر مرات) من الاختراعات القابلة للمقارنة. وبسبب أنه في المنظومات المالتوسية يتم تحديد المستوى العامّ لعدد السكان ( $N$ ) من قبل المستوى العامّ للتطوّر التكنولوجي ( $T$ ) الذي يحدّد السعة الحاملة للأرض، يوجد عندنا أساس معقول لنتوقّع أن ازدياد السرعة المطلقة للنموّ التكنولوجي ( $dT/dt$ ) مئةَ مرّة سيؤدّي إلى ازدياد السرعة المطلقة للنموّ السكاني ( $dN/dt$ ) مئةَ مرّة تقريباً.

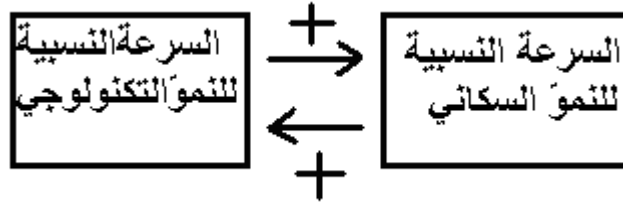
وفعلاً، يشير النموذج الرياضي لكريمير إلى أنه من الممكن تفسير النموّ السكاني العالمي الزائدي المقطع كنتيجة عمل آلة التغذية الاسترجاعية الإيجابية غير الخطية من الدرجة الثانية (*nonlinear second order positive feedback mechanism*) والتي قد تُبَيّن أن تولّد النموّ الزائدي المقطع المعروف أيضاً كـ"نظام الانفجار" (*blow-up regime*) (Kurdjumov 1999; Knjazeva, Kurdjumov) (2005). ونعني هنا آلة التغذية الاسترجاعية الإيجابية بين التطوّر التكنولوجي والنموّ السكاني والتي يمكن وصفها بالطريقة التالية: ازدياد عدد السكان ← ازدياد عدد المخترعين المحتملين ← تسارع التطوّر التكنولوجي ← تسارع ازدياد السعة الحاملة للأرض ← تسارع النموّ السكاني ← مع عدد أكبر من الناس يزيد عدد المخترعين المحتملين ← تسارع التطوّر التكنولوجي ← الخ (الشكل رقم 6):

## الشكل رقم 6. آلة التغذية الاسترجاعية الإيجابية بين التطوّر التكنولوجي والنموّ السكاني (رسم بياني مفصل)



وبالفعل، من الممكن تمثيل آلة التغذية الاسترجاعية الإيجابية هذه بالصورة المبسّطة التالية: (الشكل رقم 7):

## الشكل رقم 7. آلة التغذية الاسترجاعية الإيجابية بين التطور التكنولوجي والنمو السكاني (رسم بياني مبسط)



والجدير بالذكر أنه من غير المعقول أن نحلل العلاقة بين التطور التكنولوجي والنمو السكاني كعلاقة بسيطة بين سبب ونتيجة. ففي المنظومات المالتوسية الكوزنيتسية النمو السكاني هو سبب التطور التكنولوجي ونتيجته في نفس الوقت، وأنّ هناك علاقة ديناميكية حقاً بين النمو السكاني والتطور التكنولوجي.

### ديناميكا التطور العالمي كديناميكا تطور المنظومة العالمية

والجدير بالإشارة إلى أنّ نموذج مايكل كريمير الرياضي بوسعه أن يقدم جواباً مقنعاً للاعتراض الرئيسي ضد النماذج الزائدية المقطع للنمو العالمي السكاني. وبالفعل، لقيت النماذج الزائدية المقطع للنمو السكاني العالمي كثيراً من الاعتراضات من قبل علماء الاجتماع (فمثلاً، المقالة الأخيرة لعالم اجتماع حول هذا الموضوع عنوانها معبر جداً - "مغامرات سكانية لفيزيائي" (Shishkov 2005). ونحن متأكدون أنّ هناك أسباب ملحوظة لمثل هذه الاعتراضات وأنّ منتجي تلك النماذج أنفسهم مسؤولون إلى درجة معينة عن ظهور مثل هذه الاعتراضات. وفعلاً، تتأسس كل تلك النماذج على الافتراض أنه يمكن اعتبار سكان العالم كمنظومة متكاملة لمدة آلاف من السنين قبل 1492م. وفي 1960م وضّح فون فورستر وزملاؤه هذا الافتراض توضيحاً كافياً:

"ولكن ما قد يكون صحيحاً بالنسبة للعناصر<sup>16</sup> التي (بسبب عدم وجود الاتصالات الضرورية بينها) يجب عليها أن تلعب لعبة تنافسية نتیجته النهائي صفر تقريباً (*competitive, almost zero-sum game*)، قد يكون غير صحيح بالنسبة للعناصر<sup>17</sup> الذين عندهم منظومة الاتصالات التي تمكّنهم من تنظيم اتصالات حتى يصبح جميع العناصر مرتبطين ارتباطاً وثيقاً إلى الحد الذي يمكن عنده اعتبار كل السكان (من وجهة نظر نظرية الألعاب) كشخصية واحدة تلعب لعبة متعددة اللاعبين مع الطبيعة كلاعب آخر" (von Foerster, Mora, and Amiot 1960: 1292).

ولكن، مثلاً، هل كان بين سنة 1م وسنة 1500م لسكان آسيا الوسطى، تسمانيا، هاواي، جزر النار (تييرا ديل فويغو)، صحراء كلهاري الخ (أي، فعلاً، لسكان العالم بحدّ الذات) "مواصلات ضرورية" جعلت "جميع العناصر مرتبطة ارتباطاً وثيقاً إلى الحدّ الذي يمكن عنده اعتبار كل السكان (من وجهة نظر نظرية الألعاب) كشخصية واحدة تلعب لعبة متعددة اللاعبين مع الطبيعة كلاعب آخر"؟ والجواب على هذا السؤال واضح جداً لأي شخص يعرف تاريخ العالم؛ وطبعاً هذا الجواب أكيد وبسيط جداً: "لا". وفي هذا السياق من غير الغريب أنّ أغلبية علماء الاجتماع الذين عثروا على النماذج الرياضية الزائدية المقطع للنمو السكاني العالمي فهموها كـ "مغامرات سكانية

<sup>16</sup> ويعني "العناصر" في هذا السياق "الحيوانات".

<sup>17</sup> ويعني "العناصر" في هذا السياق "الناس".

لفيزيائيين" (بالمناسبة، فعلاً، 9 من 11<sup>18</sup> مؤلفاً لتلك النماذج هم فيزيائيون) لأنّ مؤلّفي النماذج الزائدية المقطع فشلوا ان يُجيبوا على السؤال المذكور أعلاه جواباً مقنعاً. لكننا معتقدون أنّ مثل هذا الجواب ممكن، وهو على النحو التالي:

إنّ النزعة الزائدية المقطع للنموّ السكانيّ العالمي بعد سنة 10000 قبل الميلاد عبارة عن نتيجة تطوّر منظومة حقيقية ظهرت في آسيا الغربية منذ 12000 عام تقريباً متعلّقةً بالثورة الزراعية ( *Neolithic Revolution* ). مع أندريه جوندر فرانك ( *Andre Gunder Frank 1990, 1993; Frank and Gills 1994* ) نسمّي تلك المنظومة بـ"المنظومة العالمية" (*the World System*). تشير النزعة الزائدية المقطع للديناميكا السكانية العالمية بنفسها إلى أنّه كان للجزء الأكبر من سكان العالم وحدة نظامية (*systemic unity*) معيّنة، وإنّه لدينا دلائل كثيرة تدلّ على مثل هذه الوحدة النظامية. فعلاً، هناك معطيات كثيرة تدلّ إلى الانتشار المتواصل للاختراعات التكنولوجية الكبرى (النباتات الزراعية مثل القمح والشعير، والحيوانات الداجنة مثل البقر والخروف والماعز والحصان، والمعدات المهمة مثل المحراث أو العجلة، والمعادن مثل النحاس والبرونز والحديد، الخ) أثناء عدة آلاف سنة قبل الميلاد في كل الحزام الهائل من المجتمعات الممتدّة من المحيط الأطلسي إلى المحيط الهادئ (Chubarov 1991; Diamond 1999). ونتيجةً لعمليات الانتشار هذه من المستحيل أن نقول إنّ تطوّر كل مجتمع في هذا الجزء من العالم كان تطوّرًا مستقلاً بالفعل. وفي نهاية الألفية الأولى قبل الميلاد نستطيع أن نشاهد حزاماً من الحضارات ممتدّاً من المحيط الأطلسي إلى المحيط الهادئ محتويّاً على أفريقيا الشمالية وأوروبا الجنوبية وأوروبا الغربية وآسيا الغربية وآسيا الوسطى وآسيا الجنوبية وآسيا الشرقية، ولكل حضارات تلك الحزام الهائل مستوى متشابه جداً من التعقيد الثقافي (*cultural complexity*) فكلها تتّصف بالزراعة المكثّفة للحبوب، وتربية الأبقار والخراف والماعز، واستخدام المحراث وميتالورجيا الحديد ووسائل نقل ذات عجلات، وجيوش مدربة منظّمة، مسلّحة بأسلحة متشابهة جداً، وأهميّة الفرسان والدواوينية والفلسفات المتطوّرة الدارسة المسائل المتشابهة الخ (ومن الممكن مواصلة هذه القائمة على صفحات عديدة). وقبل ذلك بعدة آلاف سنة وُجد حزام آخر متكوّن من مجتمعات ذات مستوى متشابه جداً وامتدّ ذلك الحزام من البلقان إلى حدود نهر السند ( *Peregrine and Ember 2001; 8, 4. vols: 2003 Peregrine* ). والجدير بالذكر أنّه في الحالتين كليهما احتوى الحزامان على الجزء الأكبر من سكّان العالم ( *McEvedy and Jones 1978; Durand 1977* ). ونعتبر ذلك نتيجةً ملموسةً لتطوّر المنظومة العالمية القديمة. فحتاج التفسيرات البديلة إلى سيناريو إعجازي - أنّ كل تلك الحضارات ذات مستويات التعقيد الثقافي المتشابهة للغاية تطوّرت إعجازياً بصورة مستقلة في مناطق متصلة، فيما بينها لأسباب غريبة لم تظهر أية حضارة متشابهة في بقية أنحاء العالم والتي ما كانت من أجزاء المنظومة العالمية. فنجد مثل هذا السيناريو غير معقول إطلاقاً. ولذلك نميل إلى اعتبار النموّ السكانيّ العالمي الزائدي المقطع كنتيجة لتطوّر منظومة حقيقية نسمّيها بالمنظومة العالمية.

<sup>18</sup> von Foerster, Mora, Amiot 1960; von Hoerner 1975; Kapitza 1992, 1999; Cohen 1995; Kremer 1993; Podlazov 2000, 2001, 2002, 2004; Johansen, Sornette 2001; Tsirel 2004



وهناك عدة نقاط أخرى جديرة بالذكر في هذا السياق. طبعاً، لما كانت عندنا أسس كافية لنتكلم حول المنظومة العالمية الممتدة من المحيط الأطلسي إلى المحيط الهادئ حتى بالنسبة لبداية الألفية الأولى بعد الميلاد لو طبقنا "مقياس البضائع الجسيمة" (*bulk-good criterion*) المقترح بواليرستين (Wallerstein 1974, 1987, )، لأنه ما كانت أية حركة "البضائع الجسيمة" (مثلاً، كمّيات كبيرة من الحبوب أو القطن أو الحديد أو الآلات الخ) بين الصين وأوروبا على سبيل المثال في القرن الأوّل بعد الميلاد، فليس عندنا أي أساس لعدم الموافقة مع واليرستين على تسمية الحرير الصيني (الذي كان يصل إلى أوروبا في القرن الأوّل بعد الميلاد) بـ"مادّة كمالية" ولا بـ"بضاعة جسيمة". ولكنّه من الممكن أن نتكلم عن المنظومة العالمية الممتدة من المحيط الأطلسي إلى المحيط الهادئ إذا طبقنا مقياس "شبكة انتشار المعلومات" (Chase-Dunn, Hall 1997). فيوضّح النموذج الرياضي للتطور التكنولوجي السكاني أنّ وجود شبكة انتشار التكنولوجيات المغطّية مجموعة معيّنة من المجتمعات عبارة عن الشرط الكافي لتطور تلك المجموعة كمنظومة حقيقية واحدة. نعم، في الألفية الأولى قبل الميلاد ما استطاعت أية بضائع جسيمة أن تنتسّل من شاطئ المحيط الهادئ إلى شاطئ المحيط الأطلسي. لكنّ المنظومة العالمية وصلت في ذلك الوقت إلى ذلك المستوى من التكامل الذي مكّن (مثلاً) ميتالورجيا الحديد أن تنتشر في كلّ أجزاء المنظومة العالمية من المحيط الأطلسي إلى المحيط الهادئ أثناء عدّة قرون في الألفيّة الأولى قبل الميلاد.

نعم، أثناء عدة آلاف سنة قبل الاستعمار البريطاني ما أثّرت الديناميكا السكانيّة للمنظومة العالمية على الديناميكا السكانية لتسمانيا (مثلاً) التي كانت تتذبذب قرب مستوى 4000 نسمة تقريباً خلال عدّة ألفيات (Diamond 1999) وطبعاً لم تؤثر إطلاقاً الديناميكا السكانية لتسمانيا على الديناميكا السكانية للمنظومة العالمية. لكن مثل هذه الحقائق تشير إلى أنّه بعد الألفية العاشرة قبل الميلاد عكست الديناميكا السكانية العالمية الديناميكا السكانية للمنظومة العالمية قبل كل شيء. إنّ الديناميكا السكانية للمنظومة العالمية هي التي ولّدت المنحنى الزائدي المقطع للنموّ السكاني العالمي.

### ماكرونموذج رياضي مرصوص لنموّ المنظومة العالمية الاقتصادي - السكاني

لقد أعدنا (Korotayev, Malkov, Khalitourina 2006a: 34–66) على أساس نموذج كريمير نموذجاً رياضياً يصف الماكروديناميكا العالمية الاقتصادية بالإضافة إلى الماكروديناميكا العالمية السكانية قبل سبعينيات القرن الماضي:

$$G = k_1 TN^\alpha, \quad (9)$$

$$\frac{dN}{dt} = k_2 SN, \quad (11)$$

$$\frac{dT}{dt} = k_3 NT, \quad (10)$$

وهنا  $G$  ترمز إلى الناتج العالمي الإجمالي، و  $T$  عبارة عن المستوى التكنولوجي، و  $N$  ترمز إلى عدد السكان، و  $S$  عبارة عن متوسط الناتج الإجمالي الزائد لكل نسمة والذي يُنتج فوق الكمية ( $m$ ) التي تُعتبر ضروريةً ضروريةً مطلقاً لحياة السكان في منظومة مالتوسية مع نموّ الصفر (أي عندما يساوي معدّل الوفيات معدّل الولادات)<sup>19</sup>، و  $\alpha$  و  $k_1$  و  $k_2$  و  $k_3$  هي ثابتهات.<sup>20</sup>

وكذلك أثبتنا (Korotayev, Malkov, Khaltourina 2006a: 34–66) أنه من الممكن تبسيط هذا النموذج، وما يلي ماكرونموذج رياضي مرصوص لنموّ المنظومة العالمية الاقتصادية – السكانية:

$$\frac{dN}{dt} = aSN \quad (11)$$

$$\frac{dS}{dt} = bNS \quad (12)$$

حينما يمكن حساب الناتج العالمي الإجمالي ( $G$ ) ضمن هذا الماكرونموذج بواسطة المعادلة التالية:

$$G = mN + SN \quad (13)$$

والجدير بالذكر أنّ تحليلنا للنموذج الأساسي (9) - (11) - (10) تشير إلى أنه أثناء الماكرونموذج "المالتوسية - الكوزنيتسية" من التاريخ البشري (أي قبل سبعينيات القرن الماضي) كانت قيمة  $S$  (متوسط الناتج الإجمالي الزائد لكل نسمة) متناسبا تقريباً مع عدد سكان العالم، أي:

$$S = kN$$

وأكدّ تحليلنا الإحصائي للمعطيات التجريبية هذا التناسب النظري (Korotayev, Malkov, Khaltourina 2006a: 49–50). ولذلك في معادلة (11) من الممكن تبديل  $S$  بـ  $kN$  ونتيجةً لذلك نحصل على المعادلة التالية:

$$\frac{dN}{dt} = kaN^2 \quad (8)^{21}$$

وكما نذكر، الحلّ التحليلي لمثل هذه المعادلات التفاضلية عبارة عن ما يلي:

$$N_t = \frac{C}{(t_0 - t)} \quad (1)$$

وتولّد هذه المعادلة منحنى زائدي المقطع بالضبط.

<sup>19</sup> لذلك،  $S = g - m$ ، وهنا ترمز  $g$  إلى متوسط الناتج الإجمالي لكل نسمة.

<sup>20</sup>  $0 < \alpha < 1$

<sup>21</sup> وهكذا، نستلم بالطريقة التحليلية المعادلة التفاضلية التي حصل عليها فون هورنير (von Hoerner 1975) وكابيتسا

(Kapitza 1992, 1999) بالطريقة التجريبية.

وحسب نموذجنا من الممكن التقدير التقريبي لـ  $kN < S$  ، ولذلك من الممكن الوصف التقريبي للديناميكا الطويلة الأمد لـ  $S$  بواسطة المعادلة التالية:

$$S = \frac{kC}{t_0 - t} \quad (14)$$

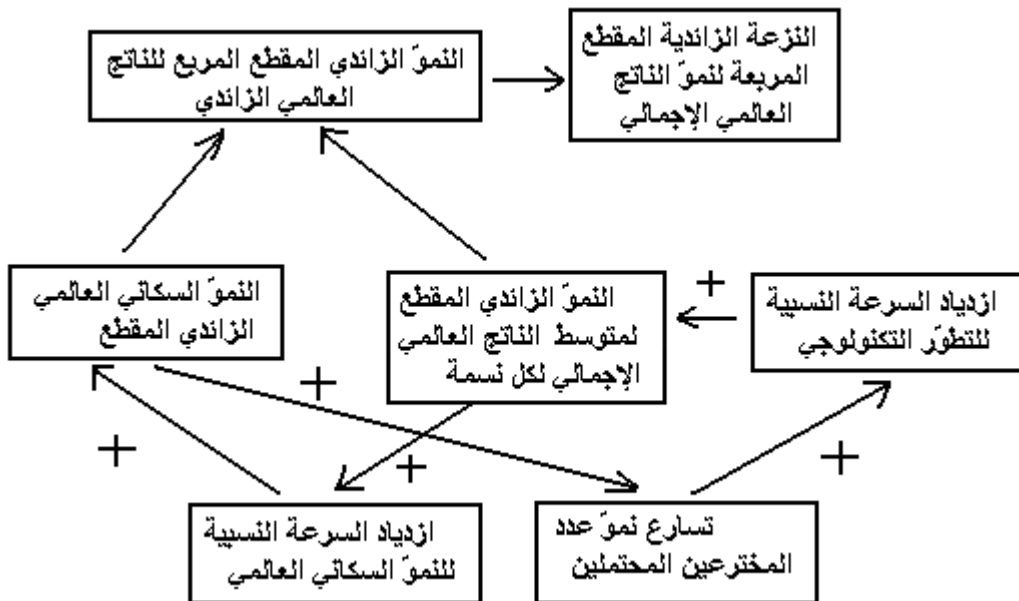
هكذا، يمكننا أن نصف رياضياً الديناميكا الطويلة الأمد للمركب الأكثر ديناميكيةً للنتائج العالمي الإجمالي،  $SN$  (النتائج العالمي الزائد)، بواسطة المعادلة التالية:

$$SN = \frac{kC^2}{(t_0 - t)^2} \cdot \quad (15)$$

وبالطبع، يشير ذلك إلى أن المعادلة الزائدية المقطع المربّعة بوسعها أن تصف الديناميكا الطويلة الأمد للنتائج العالمي الإجمالي حتى سبعينيات القرن الماضي أحسن من المعادلة الزائدية المقطع البسيطة. وكما رأينا أعلاه (الشكل رقم 5)، فعلاً تستطيع المعادلة الزائدية المقطع المربّعة أن تصف الديناميكا الطويلة الأمد للنتائج العالمي الإجمالي بصورة دقيقة للغاية.

وهكذا، حتى سبعينيات القرن الماضي كان النموّ السكاني العالمي الزائدي المقطع مرتبباً بالنموّ الزائدي المقطع المربّع للنتائج العالمي الإجمالي، كما تشير إلى ذلك المعطيات التجريبية، ونموذجنا الرياضي على حدّ سواء. والجدير بالذكر أن النموّ السكاني العالمي الزائدي المقطع والنموّ الاقتصادي العالمي الزائدي المقطع المربّع مرتببان ارتباطاً متيناً فإنهما مظهران لعملية ديناميكية واحدة محرّكة بألة التغذية الاسترجاعية غير الخطية بين التطور التكنولوجي والنموّ السكاني (الشكل رقم 8):

**الشكل رقم 8. توليد النموّ الاقتصادي الزائدي المقطع المربّع بألة التغذية الاسترجاعية الإيجابية بين التطور التكنولوجي والنموّ السكاني**



## الملاحظات الختامية

هكذا، كما رأينا أعلاه، النماذج الرياضية البسيطة للغاية بوسعها أن تفسّر حتى 99.6 – 99.86 بالمئة من الماكروديناميكا السكانية والاقتصادية<sup>22</sup> للمنظومة الاجتماعية الأكثر تعقيداً، أي المنظومة العالمية. فنستطيع أن نعتبر ذلك مظهراً واضحاً لمبدأ معروف معرفة جيدة في مجال دراسات التعقيد (*complexity studies*) – أن الميكروديناميكا المعقدة الشواشية غير القابلة للتنبؤ يمكنها أن تولد الماكروديناميكا البسيطة والمحددة تحديداً عالياً (*highly deterministic macrolevel dynamics*) (Chernavskij 2004).

إن الوصف الرياضي لديناميكا عدّة جزيئات غاز في وعاء مغلق يحتاج إلى نماذج رياضية معقدة للغاية ولا نستطيع تلك النماذج أن تتنبأ بالديناميكا الطويلة الأمد لمثل هذه المنظومات بسبب المركّب الشواشي غير القابل للإزالة الخاص بها. ولكن إذا كانت في نفس الوعاء مليارات مليارات جزيء سيمكننا أن نصف ديناميكياتها بمعادلات بسيطة جداً بوسعها أن تتنبأ بماكروديناميكا بكلّ بارامترات الأساسية بدقة عالية جداً (وذلك بسبب وجود الميكروديناميكا

[*chaotic microdynamics*] في أساس تلك الماكروديناميكا المحددة).

ويشير تحليلنا إلى أنّ مثل هذه القوانين فعّالة في العالم البشري أيضاً. فالتنبؤ بالديناميكا السكانية لعائلة منفردة سيحتاج إلى نماذج رياضية معقدة للغاية ستتنبأ في الحقيقة بجزء صغير جداً من الديناميكا الفعلية بسبب وجود مركّبات شواشية غير قابلة للإزالة (*irreducible chaotic components*). أمّا بالنسبة لمنظومات اجتماعية محتوية على أعداد كبيرة جداً من الناس (مدن، دول، حضارات) فنحتاج إلى نماذج رياضية أبسط ذات قدرة تنبئية أقوى. وفي هذا السياق من غير الغريب أن نجد أبسط قوانين تصف وتفسّر الجزء الأكبر من الماكروديناميكا بالنسبة لأكبر المنظومات الاجتماعية – العالم البشري.

وبالطبع، يفتح ذلك آفاقاً جديدة لتطوير النظرية العامّة للماكروتطور الاجتماعي. فالاتجاه المسيطر حالياً على دراسات التطور الاجتماعي يعتمد على الافتراض أنّ قوانين تطوّر المنظومات البسيطة أبسط بكثير من قوانين تطوّر المنظومات المعقدة. ويولد ذلك الافتراض نتيجة منطقية للغاية – أننا يجب علينا أن ندرس أولاً قوانين تطوّر منظومات بسيطة وأننا يجب علينا ألا نبدأ بدراسة قوانين تطوّر منظومات معقدة إلا بعد أن نفهم قوانين تطوّر المنظومات البسيطة.<sup>23</sup> إنّنا متأكدون أنّ هذا الاتجاه قد أدى بدراسة قوانين التطور الاجتماعي إلى مأزق. ومن الممكن إخراجها منه عن طريق متابعة الاتجاه المعاكس – من دراسة القوانين البسيطة لتطور المنظومات المعقدة إلى دراسة القوانين المعقدة لتطور المنظومات البسيطة.

<sup>22</sup> بالإضافة إلى الديناميكا الثقافية وديناميكا التمدن، كما سنرى في مقالتنا التالية.

<sup>23</sup> وطبعاً، هناك استثناء بارز – وهو اتجاه دراسات منظومات عالمية (*world-system approach*)، (مثلاً:

Braudel 1973; Wallerstein 1974, 1987, 2004; Frank 1990, 1993; Frank, Denmark; 2002Manning, Dunn-Chase; 1997Hall, Dunn-Chase; 1994 Gills 2005Anderson, Dunn-Chase; 2000. et al)

ولكن دراسات ممثلي هذه المدرسة الفكرية قد أنتجت نتائج علمية محدودة جداً ورأينا أنّ سببه الرئيسي هو عدم استخدامهم لطرق علمية مثبتة معتمدة على الرياضيات فبقوا على مستوى التركيبات اللفظية.

## مراجع

- Abel, W. 1974.** *Massenarmut und Hungerkrisen im vorindustriellen Europa. Versuch einer Synopsis.* Hamburg: Parey.
- Abel, W. 1980.** *Agricultural Fluctuations in Europe from the Thirteenth to the Twentieth Centuries.* New York, NY: St. Martin's.
- Aghion, P., and P. Howitt. 1992.** A Model of Growth through Creative Destruction. *Econometrica* 60: 323–52.
- Aghion, P., and P. Howitt. 1998.** *Endogenous Growth Theory.* Cambridge, MA: MIT Press.
- Artzrouni, M., and J. Komlos. 1985.** Population Growth through History and the Escape from Malthusian Trap: A Homeostatic Simulation Model. *Genus* 41: 21–39.
- Biraben, J.-N. 1980.** An Essay Concerning Mankind's Evolution. *Population* 4: 1–13.
- Braudel, F. 1973.** *Capitalism and Material Life, 1400–1800.* New York, NY: Harper and Row.
- Chase-Dunn, C., and E. N. Anderson. 2005 (Eds.).** *The Historical Evolution of World-Systems.* London: Palgrave.
- Chase-Dunn, C., and T. Hall. 1997.** *Rise and Demise: Comparing World-Systems* Boulder, CO.: Westview Press.
- Chase-Dunn, C., and S. Manning. 2002.** City systems and world-systems: Four millennia of city growth and decline *Cross-Cultural Research* 36(4): 379–398.
- Chase-Dunn, C., and T. Hall. 1997.** *Rise and Demise: Comparing World-Systems* Boulder, CO.: Westview Press.
- Chernavskij 2004 – Чернавский, Д. С. 2004.** *Синергетика и информация (динамическая теория информации).* М.: УРСС.
- Chubarov 1991 – Чубаров, В. В. 1991.** Ближневосточный локомотив: темпы развития техники и технологии в древнем мире. *Архаическое общество: узловые проблемы социологии развития /* Ред. А. В. Коротаев и В. В. Чубаров, т. 1, с. 92–135. М.: Институт истории СССР АН СССР.
- Cohen, J. E. 1995.** Population Growth and Earth's Carrying Capacity. *Science* 269(5222): 341–346.
- Denemark, R. A., J. Friedman, B. Gills, and G. Modelski. 2000 (Eds.).** *World System History: The Social Science of Long-Term Change.* London: Routledge.
- Diamond, J. 1999.** *Guns, Germs, and Steel: The Fates of Human Societies.* New York, NY: Norton.
- Durand, J. D. 1977.** Historical Estimates of World Population: An Evaluation. *Population and Development Review* 3(3): 255–96.
- Foerster, H. von, P. Mora, and L. Amiot. 1960.** Doomsday: Friday, 13 November, A.D. 2026. *Science* 132: 1291–5.
- Frank, A. G. 1990.** A Theoretical Introduction to 5,000 Years of World System History. *Review* 13(2): 155–248.
- Frank, A. G. 1993.** The Bronze Age World System and its Cycles. *Current Anthropology* 34: 383–413.
- Frank, A.G., and B. Gills. 1994 (Eds.).** *The World System: 500 or 5000 Years?* London: Routledge.
- Grossman, G., and E. Helpman. 1991.** *Innovation and Growth in the Global Economy.* Cambridge, MA: MIT Press.
- Haub, C. 1995.** How Many People have ever Lived on Earth? *Population Today* 23(2): 4–5.
- Hoerner, S. J. von. 1975.** Population Explosion and Interstellar Expansion. *Journal of the British Interplanetary Society* 28: 691–712.
- Johansen, A., and D. Sornette. 2001.** Finite-time Singularity in the Dynamics of the World Population and Economic Indices. *Physica A* 294(3–4): 465–502.
- Jones, Ch. I. 1995.** R & D-Based Models of Economic Growth. *The Journal of Political Economy* 103: 759–84.

- Jones, Ch. I. 2003.** Population and Ideas: A Theory of Endogenous Growth. *Knowledge, Information, and Expectations in Modern Macroeconomics: In Honor of Edmund S. Phelps* / Ed. by P. Aghion, R. Frydman, J. Stiglitz, and M. Woodford, pp. 498–521. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Jones, Ch. I. 2005.** The Shape of Production Functions and the Direction of Technical Change. *The Quarterly Journal of Economics* 120: 517–49.
- Kapitza 1992 – Капица, С. П. 1992.** Математическая модель роста населения мира. *Математическое моделирование* 4(6): 65–79.
- Kapitza 1999 – Капица, С. П. 1999.** *Сколько людей жило, живет и будет жить на земле.* М.: Наука.
- Knjazeva and Kurdjumov 2005 – Князева, Е. Н., и С. П. Курдюмов. 2005.** *Основания синергетики.* М.: УРСС.
- Komlos, J. and M. Artzrouni. 1990.** Mathematical Investigations of the Escape from the Malthusian Trap. *Mathematical Population Studies* 2: 269–87.
- Komlos, J., and S. Nefedov. 2002.** A Compact Macromodel of Pre-Industrial Population Growth. *Historical Methods* 35: 92–4.
- Korotayev, A., A. Malkov, and D. Khaltourina. 2006a.** *Introduction to Social Macrodynamics: Compact Macromodels of the World System Growth.* Moscow: URSS.
- Korotayev, A., A. Malkov, and D. Khaltourina. 2006b.** *Introduction to Social Macrodynamics: Secular Cycles and Millennial Trends.* Moscow: URSS.
- Kremer, M. 1993.** Population Growth and Technological Change: One Million B.C. to 1990. *The Quarterly Journal of Economics* 108: 681–716.
- Kurdjumov 1999 – Курдюмов, С. П. 1999 (Ред.).** *Режимы с обострением. Эволюция идеи: Законы коэволюции сложных структур.* М.: Наука.
- Kuznets, S. 1960.** Population Change and Aggregate Output. *Demographic and Economic Change in Developed Countries* / Ed. by G. S. Becker, pp. 324–40. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Maddison, A. 2001.** *Monitoring the World Economy: A Millennial Perspective.* Paris: OECD.
- Malthus, T. 1978 [1798].** *Population: The First Essay.* Ann Arbor, MI: University of Michigan Press.
- McEvedy, C., and R. Jones. 1978.** *Atlas of World Population History.* New York: Facts on File.
- Modelski, M. 2003.** *World Cities: –3000 to 2000.* Washington, DC: FAROS 2000.
- Nefedov, S. A. 2004.** A Model of Demographic Cycles in Traditional Societies: The Case of Ancient China. *Social Evolution & History* 3(1): 69–80.
- Peregrine, P. 2003.** Atlas of Cultural Evolution. *World Cultures* 14: 2–88.
- Peregrine, P. and M. Ember (Eds.). 2001.** *Encyclopedia of Prehistory.* 9 vols. New York, NY: Kluwer.
- Podlazov 2000 – Подлазов, А. В. 2000.** *Теоретическая демография как основа математической истории.* М.: ИПМ РАН.
- Podlazov 2001 – Подлазов, А. В. 2001.** *Основное уравнение теоретической демографии и модель глобального демографического перехода.* М.: ИПМ РАН.
- Podlazov 2002 – Подлазов, А. В. 2002.** Теоретическая демография. Модели роста народонаселения и глобального демографического перехода. *Новое в синергетике. Взгляд в третье тысячелетие* / Ред. Г. Г. Малинецкий и С. П. Курдюмов, с. 324–45. М.: Наука.
- Podlazov, A. V. 2004.** Theory of the Global Demographic Process. *Mathematical Modeling of Social and Economic Dynamics* / Ed. by M. G. Dmitriev and A. P. Petrov, pp. 269–72. Moscow: Russian State Social University, 2004.
- Postan, M. M. 1973.** *Essays on Medieval Agriculture and General Problems of the Medieval Economy.* Cambridge: Cambridge University Press.
- Shishkov 2005 – Шишков, Ю. В. 2005.** Демографические похождения физика. *Общественные науки и современность* (2): 155–164.
- Simon, J. 1977.** *The Economics of Population Growth.* Princeton: Princeton University Press.
- Simon, J. 1981.** *The Ultimate Resource.* Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Simon, J. 2000.** *The Great Breakthrough and its Cause.* Ann Arbor, MI: University of Michigan Press.

- Thomlinson, R. 1975.** *Demographic Problems: Controversy over Population Control*. 2<sup>nd</sup> ed. Encino, CA: Dickenson.
- Tsirel, S. V. 2004.** On the Possible Reasons for the Hyperexponential Growth of the Earth Population. *Mathematical Modeling of Social and Economic Dynamics* / Ed. by M. G. Dmitriev and A. P. Petrov, pp. 367–9. Moscow: Russian State Social University, 2004.
- Turchin, P. 2003.** *Historical Dynamics: Why States Rise and Fall*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- U.S. Bureau of the Census. 2006.** *World Population Information* (<http://www.census.gov/ipc/www/world.html>).
- UN Population Division. 2006.** United Nations. Department of Economic and Social Affairs. Population Division (<http://www.un.org/esa/population>).
- Wallerstein, I. 1974.** *The Modern World-System*. Vol.1. *Capitalist Agriculture and the Origin of the European World-Economy in the Sixteen Century*. New York: Academic Press.
- Wallerstein, I. 1987.** World-Systems Analysis. *Social Theory Today* / Ed. by A. Giddens and J. Turner, pp. 309–24. Cambridge: Polity Press.
- Wallerstein, I. 2004.** *World-Systems Analysis: An Introduction*. Durham, NC: Duke University Press, 2004.