

\*Fatiha el-Hassani | فتيحة الحساني

## مخاطر تكنولوجيا "المتناهي في الصغر" في المستقبل مراجعة كتاب "هل ينبغي لنا أن نخاف من "النانو"؟"

**The Risks of Nanotechnology for the Future**  
A Reading of *Faut-il avoir peur des nanos?*

**المؤلف:** فرانسولين مارانو Francelyne Marano

**الكتاب:** هل ينبغي لنا أن نخاف من "النانو"؟

**العنوان الأصلي:** Faut-il avoir peur des nanos?

**الناشر:** Buchet Chastel

**سنة النشر:** 2016

**عدد الصفحات:** 128 صفحة

منذ بداية الألفية الثالثة، بدأت أهمية "العلوم النانوية" (Nanosciences) و"التكنولوجيا النانوية" (Nanotechnologies) تبرز كثيراً؛ بوصفها إحدى المخرجات الرئيسة لنُظم الابتكار الوطنية والشركات المبتكرة في اقتصاد جديد قائم على المعرفة، وعلى الأصول غير الملموسة، حتى أنها أضحت أحد مقاييس المقارنة بين البلدان من حيث اندماجها في هذا النمط الاقتصادي الناشئ. لذا، يجري صرف استثمارات مهمة فيها. وفي المقابل، نادراً ما يجري تعريفها تعريفاً دقيقاً، والخوض في رهاناتها الحقيقية ومخاطرها الحالية والمستقبلية. ومن ثم، تأتي أهمية هذا الكتاب الذي يتناول المخاطر المحيطة بـ "النانو" التي أصبح لها وجود ملموس في حياتنا اليومية، والتي من الأكد أن استخداماتها ورهاناتها ومخاطرها ستزداد في المستقبل ازيداً كبيراً.

إنّ هذه الجوانب الخفية لـ "تكنولوجيا النانو" هي تحديداً ما تتناوله فرانسولين مارانو في هذا الكتاب، بصفتها خبيرةً في مجال الصحة العامة ومخاطر الآثار البيئية والصحية "النانوية" على الصحة والبيئة<sup>(1)</sup>. وقبل الخوض في صميم هذه المخاطر والرهانات المرتبطة بـ "النانو" من منظور الكاتبة، من المهم أن نبدأ بتعريف هذه التكنولوجيا على نحوٍ مركزٍ نسبياً.

"الصغر المتناهي" هي العبارة المفتاحية لفهم تكنولوجيا النانو. و"المواد النانوية" (Nanomaterials) مصنوعة من جزيئات متناهية في الصغر. فجزء النانو المتناهي في الصغر هو عنصرٌ يراوح حجمه بين نانومتر واحد و100 نانومتر. والنانومتر هو جزءٌ من مليار المتر (أي إنه أصغر مليار مرة من المتر، و50 مرة أقل من سمك شعرة الإنسان). وتسمى التقنيات المستخدمة لمعالجة هذه العناصر المتناهية في الصغر "تكنولوجيا النانو" (Nanotechnologies)، وتنتج منها "المواد النانوية". وتنقسم "الجسيمات النانوية" (Nanoparticles) إلى قسمين: الجسيمات النانوية "الطبيعية"، من قبيل الجسيمات التي تصدر عن الانفجارات البركانية، أو التي تنشأ تلقائياً في الغلاف الجوي، والجسيمات النانوية "المصنعة" التي يجري إنتاجها صناعياً؛ من أجل تطبيقات مختلفة. وقد كان ينبغي انتظار عام 1981، مع اختراع "مجهر المسح النفقي"<sup>(2)</sup> الذي ينقل "ذروة" (Tip) على سطح المادة، ويخلق تياراً كهربائياً بين الذروة والذرة؛ لكي يمكن تمثيل هذا السطح وتنظيمه<sup>(3)</sup>.

1 فرانسولين مارانو أستاذة فخريّة في علم الأحياء وعلم السموم في جامعة باريس - ديدرو. عضو المجلس الأعلى للصحة العامة، ورئيسة الجمعية الفرنسية للصحة والبيئة.

2 جرى اختراع "مجهر المسح النفقي" (Scanning tunneling microscope) على يد باحثين من شركة "آي بي إم" (IBM)؛ هما جيرد بينغ وهانريخ روهريير. وقد حازا جائزة نوبل للفيزياء عن هذا الاختراع في عام 1986.

3 سيكون ذلك ممكناً أيضاً مع اختراع مجهر آخر في عام 1985؛ هو "مجهر القوة الذرية" (Atomic Force Microscope) الذي يكتشف الجاذبية المسلطة على ذروة الذرات.

وتجدر الإشارة إلى أن الذرات تمتلك، في المقياس النانوي، خصائص مميزة؛ ذلك أنها تتحرك، وتجذب بعضها، وتصد بعضها أيضاً، وهي تنتظم في خطوط ومكعبات وصحائف ومجالات؛ تبعاً لدرجة الحرارة والمحيط الذي توجد فيه. وفي الحصلة، مثلما ساعد تلسكوب غاليليو على فهم أفضل للنظام الشمسي، أتاح مجهر المسح النفقي اكتشاف عالم النانو وخصائصه.

إن من شأن العمل على المتناهي في الصغر إلى حدود دائماً متناهية أن يزيد خصائص المادة أو يحولها. ومن ثم، تبرز أولى الفوائد التي يمكن أن تجلبها المواد النانوية، ولا سيما على مستوى البحوث الطبية. وفي الآن نفسه، لم تفتأ هذه المواد النانوية تجذب إليها الاستثمارات الصناعية المتشوّفة إلى مصادر جديدة من أجل تحقيق الربح. لذا، أضحت المواد النانوية، من دون علمنا، جزءاً من حياتنا في العديد من مجالاتها على نحو متزايد في أغلب الأحيان؛ بما في ذلك ما هو موجود منها في النفايات التي تعود عبرها إلى الطبيعة، من جهة أن المواد النانوية تنتهي في نهاية المطاف إلى مقالب القمامة، أو المحارق، أو محطات معالجة مياه الصرف الصحي، وهو أمر يحدث من دون أن تكون مخاطرها - إلى حدود اليوم - معروفة على نحو كامل أو حتى نسبي. فوفقاً لمنظمة التعاون الاقتصادي والتنمية، تضاعف عدد المنتجات التي تحتوي جزيئات نانوية خمسة أضعاف خلال الفترة 2006-2011<sup>(4)</sup>. وتقدر السوق العالمية للمواد النانوية، في عام 2012، بنحو 11 مليون طن، بقيمة تبلغ نحو 20 مليار يورو<sup>(5)</sup>. ومنذ عام 2005، يقوم "مشروع التكنولوجيا النانوية الناشئة" (Project on Emerging Nanotechnologies) بدراسة المنتجات المسوّقة التي تحوي مواد نانوية، والتي تعرف تزايداً مستمراً. فمن 54 منتجاً شملتها الدراسة في عام 2005، جرى الانتقال إلى 1814 منتجاً في عام 2013، تنتجها 622 شركة في 32 دولة<sup>(6)</sup>. وتأتي في مقدمة الفئات التي تشملها هذه المنتجات، منتجات الصحة؛ بما فيها مواد التجميل والكريمات، وهي منتجات في اتصال مباشر مع المستهلك. ثم تأتي بعد ذلك منتجات مخصصة للبيت وللحديقة (أتاحت المواد النانوية أن تجعل بعض أنواع الزجاج ذاتية التنظيف، على سبيل المثال)، ثم المنتجات الموجهة إلى صناعة السيارات (أتاحت المواد النانوية أن تجعل المواد المستخدمة في السيارات أكثر خفة ومقاومة)، تليها المنتجات النانوية الموجودة في المواد الغذائية والمشروبات (بخاصة بعض المضافات الغذائية)، ثم المنتجات الإلكترونية ومنتجات الكمبيوتر (يكتسي التصغير Miniaturisation دوماً، في هذين المجالين، أهمية قصوى)<sup>(7)</sup>.

4 *Nanomaterials in Waste Streams: Current Knowledge on Risks and Impacts* (Paris: OECD Publishing, 2016), accessed on 26/3/2017, at: <http://bit.ly/1WHDav7>

5 Ibid.

6 Marina E. Vance et al., "Nanotechnology in the real world: Redeveloping the nanomaterial consumer products inventory?" *Beilstein Journal of Nanotechnology*, vol. 6 (2015), pp. 1769 - 1780.

7 Ibid.

يمثل هذا الانتشار الواسع للمواد النانوية اليوم تهديداً خطيراً، ولا سيما أنّ الحجم المتناهي في الصغر لهذه الجزيئات يمنح المواد المشتملة عليها خصائص مميزة (القوة، والمرونة، والالتصاق، والتوصيل... إلخ)، إضافةً إلى أنه يجعلها شديدة التفاعل مع بيئتها. فضلاً عن ذلك، تجعل هذه الخاصية المميزة المواد النانوية تتسلل إلى الكائنات الحية. وفي حالة البشر، فإنها تتسلل تحت الجلد، وتتسلل إلى الرئتين أو إلى الدم. بيد أنّ هذه المخاطر تظل غير معروفة جيداً. فوفقاً لتقرير منظمة التعاون الاقتصادي المذكور آنفاً، فإنه "ينبغي إجراء بحوث على نحو عاجل جداً؛ من أجل تقييم المخاطر المحتملة على صحة الإنسان والنظم الإيكولوجية المرتبطة بوجود كميات متزايدة من المواد النانوية المصنعة في النفايات المنزلية، وهي التي ينتهي بها المطاف مرميةً في البيئة"<sup>(8)</sup>.

ترى مارانو أنّ الأثر الصحي المعروف لبعض الجسيمات النانوية منذ أمد بعيد (جزيئات الكربون في المناجم، وجسيمات الديزل، والجزيئات المعدنية في أورايش اللحام، وجزيئات الألياف) يظل محدوداً، مقارنةً بالطفرة التي يعرفها هذا الحقل التكنولوجي؛ ولذلك فإنّ أسئلةً عديدةً تُطرح اليوم بشأن التأثيرات المحتملة للجزيئات النانوية في الحاضر وفي المستقبل. ومن هنا، تأتي أهمية هذا الكتاب الذي يخصّ، في جزء مهمّ منه، ما أصبح يُعرف بـ "علم السموم النانوي". ومن ثمّ، تطرح مارانو عدّة أسئلةٍ بشأن هذه المنتجات التي تحوي مواد نانويةً حين ينتهي عمرها وتُلقى في النفايات. فما هو مصيرها؟ هل ستحلل في بيئتنا الخارجية؟ وهل هي قابلة للتحلل في البيئة (Biodégradable)؟ أم هل لها آثار سامة في البيئة (Nanotoxique)؟ لا أحد يملك، حقاً، جواباً عن هذه الأسئلة حتى الوقت الراهن. كما أنّه لا أحد يملك الجواب عن هذه الأسئلة المتعلقة باستخدام المنتجات التي تحوي مواد نانويةً في حياتنا اليومية (مستحضرات التجميل، والمواد الغذائية... إلخ). فهل هي قادرة على اختراق الجلد البشري، أو حواجز الرئة، أو الأمعاء، أو المشيمة، أو حتى الدماغ؟

تخصّص المؤلفة في هذا الشأن فصلاً كاملاً للحديث عن المعارف الحالية المتعلقة بكلّ حاجز من هذه الحواجز البيولوجية. وتستخلص الخبرة الطبية أنّ المنتجات النانوية لئن كانت فوائدها أكيدةً من الناحية النظرية، فإنّ الموازنة بين مخاطر استخدامها ومنافعه في العديد من مجالات الحياة أبعد ما تكون عن منح تقييم كافٍ ووافٍ، وأنّ أصحاب المصالح الصناعية في هذا الشأن ليسوا حريصين، البتّة، على تشجيع البحوث التي تخص "علم السموم النانوي" (Nanotoxicologie). والأمر نفسه ينطبق على التطبيقات الطبية للمنتجات النانوية؛ إذ نجدها حاضرةً، على نحو خاصّ، في علاج السرطان، من جهة قدرتها على "تضمين" جزيئات العلاج الكيميائي لتصل بها مباشرةً إلى الورم. وفي مثل هذه الحالات، يمكن ملاحظة فائدة حقيقية؛ لأنّ الجسيمات النانوية تسمح للعلاج الكيميائي - وهو عدواني جداً - بمهاجمة

الخلايا السرطانية، والحدّ من الآثار الجانبية فحسب (الغثيان، والتعب، وفقدان الشعر... إلخ). بيد أنّ مارانو تؤكد أنّنا ما زلنا، في هذه الحالة، في مراحل جنينية في ما يتعلّق بمعرفة تأثيرات المواد النانوية في الجسم في الأمد البعيد؛ أيّ إنّه ثمة افتراض مفاده أنّها قامت بمهمتها، لكنّها بقيت في الجسم.

ويزداد الكتاب أهميةً؛ بالنظر إلى أنّ البحوث في هذا المجال لا تزال تجريبيةً؛ فهي تخصّ حيوانات المختبر، ومزارع الخلايا، ولا سيما الخلايا البشرية من الأعضاء الحيوية التي تُعدّ أهدافاً محتملةً. وما نعرفه اليوم بشأن الآثار البيولوجية للجزيئات النانوية مازال مجرداً؛ وذلك لأنّ المشكلة الأساسية تكمن في أنّ أثر سموم الجزيئات النانوية لا يظهر، على المستوى المجهرى في أغلب الأحيان، بل على المستوى النانوي فحسب. ومن ثمّ، فإنّه يترتب على ذلك أن تؤكّد الصناعات التي تستخدم المنتوجات النانوية سلامتها، ولكنّ هذه السلامة تخصّ المستوى المجهرى فحسب (مقياس الميكرومتر)، ولا تخصّ المستوى النانوي (مقياس النانومتر).

إضافةً إلى أنّ المعارف الحالية لا تزال غير كافية إلى حدّ كبير لاستخلاص النتائج، تؤكّد مارانو صعوبةً أخرى تكمن في أنّ البحوث بشأن العلاقة بين الجسيمات النانوية والصحة ينبغي أن تكون متعدّدة التخصصات، وأنّ تشرك علماء المقياس والكيمايين وعلماء السموم؛ من أجل بلورة منظور معرفي شامل في ما يتعلّق بالخصائص البيولوجية النانوية، وتحديد الإستراتيجيات التنظيمية الناجعة لحماية البشر والبيئة.

وفي انتظار خلاصات علمية أكيدة، سيظلّ الجدل مستمراً بشأن تكنولوجيا النانو والمنتوجات المصنّعة التي تحوي مواد نانوية، ولا سيما أنّ بعضهم يعدّ هذه المنتوجات قريبةً من "الكائنات المعدلة وراثياً" (GMO)، من حيث قدرتها على التداخل مع الأحياء واختراقها. ومن ثمّ، تسلطّ مارانو الضوء، أيضاً، على بعض الجوانب الأخلاقية المرتبطة بالحريات الفردية، من قبيل "رفائق النانو" (Nanopuces) القادرة على تخزين البيانات؛ من خلال قياس وظائف بيولوجية أساسية للإنسان. فهل من شأن مراقبة صحتنا أن تسمح بمراقبتنا من دون علمنا؟ إنّ القبول بالنانو اجتماعياً، سواء كان من خلال خلفية تقنية أو صحية أو غيرها، ينبغي ألاّ ينتج من تقدير منفعي (جلب المصالح مقابل درء المفاسد)؛ وذلك لأنه يحمل في طياته أسئلةً خياراتٍ مجتمعية جوهرية تخصّ قدرة التطورات التكنولوجية على تغيير الإنسان في جوهره.

فهل ينبغي أن يكون موقفنا من النانو في المستقبل هو الحذر إلى حدّ الرفض جملةً وتفصيلاً؟ أو هل نسمح بتكثيرها في منتوجات مصنّعة، من دون معرفة علمية دقيقة بشأن مخاطرها التسميمية المحتملة، فضلاً عن إطار أخلاقي وقانوني ينظّم استعمالاتها؟ من المؤكّد أنّ مارانو تساعدنا، في هذا الكتاب، على فهم هذه الأسئلة وسواها بشأن التطبيقات العملية المثيرة للاهتمام المتعلقة بالنانو، أخذةً في الحسبان وضع المعارف العلمية الحالية الخاصة بتأثير الجسيمات النانوية في صحتنا.

ومن خلال إعادة إبرازها نسبية هذه المعارف، تحبذ مارانو توشي مبدأ الحيطة والحذر في مقارنة هذه الاستعمالات المتزايدة، مع إيلاء الأولوية للمنتوجات المصنّعة التي تحوي مواد نانوية أساسية؛ أي تلك المنتوجات التي من شأنها أن تساهم في علاج المرض العضال على سبيل المثال، أو في تصنيع ألواح خلايا شمسية أكثر نجاعةً، وليس تلك المنتوجات التي يمكن الاستغناء عنها بسهولة من قبيل مستحضرات التجميل المحتوية على نانو السيليكا (Nano-silica). وتصل مارانو إلى خلاصة مُجملها أنّ الحوار المجتمعي ضروريّ بشأن هذه الإشكالات؛ بمعنى أن يكون المجتمع كلّ قادرًا على الإجابة عن هذه الأسئلة التي تستدعي معيار القانون، ومعيار الأخلاق أيضًا، وليس المعيار العلمي المحض فحسب.