منشورات المجلس الأعلى للغة العربية

الثورة التكنولوجية العالمية

توجهات تكنولوجيا النانو والمواد والأحياء وتضافرها مع تكنولوجيا المعلومات بحلول 2015

تأليف
فيليبس س أنطون ريتشارد سلبرغت جيمس شنايدر

ترجمة
الطاهر بوساحية

2006

الثورة التكنولوجية العالمية

توجهات تكنولوجيا النانو والمواد والأحياء وتضافرها مع تكنولوجيا المعلومات بحلول 2015

تأليف

فيليبس س. أنطون، ريتشارد سلبرغلت، جيمس شنايدر ترجمة

الطاهر بوساحية

المجلس الأعلى للغة

كل الحقوق محفوظة

الإيداع القانوني، 2006 - 3553
ردمك، 5 - 14 - 9947-821

المحتويات

توطئة 7

ملخص 9

أولا: ثورة الأشياء الحية 10

ثانيا: مسائل في التكنولوجيا الحيوية 12

ثالثا: ثورة المواد والأجهزة والتصنيع 14

1. المواد الذكية 14

2. التصنيع الذكي 15

3. أشباه الموصلات المصنعة نانويا 15

4. الأنظمة الدقيقة المدمجة 15

رابعا: أوراق تكنولوجية غير متوقعة 16

1. حواسيب جديدة ذات نطاق نانوي 17

2. التصنيع الجزيئي 17

3. التجميع الذاتي 18

خامسا: التوجهات العليا والانعكاسات 18

الانشغالات والضغوط 20

سادسا: نتائج 21

الفصل الأول: مقدمة 27

أولا: الثورة التكنولوجية 29

ثانيا: المقاربة 30

الفصل الثاني: التوجهات التكنولوجية 33
أولا: علم الجينوم 33
1. الخرطنة الوراثية وتحليل الحمض النووي 33
2. الاستنساخ 36
3. الكائنات المعدَّلة وراثيا 38
4. مسائل وانعكاسات أوسع 41
ثانيا: العلاج وتطوير الأدوية 45
1. التكنولوجيا 45
2. مسائل وانعكاسات أوسع 46
ثالثا: الهندسة الطبية 48
1. الأنسجة العضوية والأعضاء 48
2. المواد الاصطناعية والأعضاء والالكترونيات الحيوية 50
3. المحاكاة البيولوجية والبيولوجيا التطبيقية 52
4. التكنولوجيا الحيوية للتشخيص والجراحة 53
5. مسائل وانعكاسات أوسع 54
رابعا: عملية هندسة المواد 56
1. المفهوم/تصميم المواد 57
2. اختيار المواد وإعدادها وتصنيعها 58
3. المعالجة والخصائص والأداء 58
4. المنتوج/التطبيق 62
خامسا: المواد الذكية 64
1. التكنولوجيا 64

2. مسائل وانعكاسات أوسع 65
سادسا: التجميع الذاتي 67
1. التكنولوجيا 67
2. مسائل وانعكاسات أوسع 68
سابعا: النمذجة السريعة 68
1. التكنولوجيا 68
2. مسائل وانعكاسات أوسع 69
ثامنا: البنايات 69
تاسعا: النقل 70
عاشرا: أنظمة الطاقة 71
حادي عشر: المواد الجديدة 73
ثاني عشر: المواد النانوية 74
ثالث عشر: تكنولوجيا النانو 76
1. أجهزة الحساب المصنَّعة نانويا 76
2. الأجهزة الجزيئية الحيوية والالكترونيات الجزيئية 79
3. مسائل وانعكاسات أوسع 80
رابع عشر: الأنظمة الدقيقة المدمجة والأنظمة الإلكتروميكانيكية الدقيقة 81
1. أنظمة ذكية على رقاقات (ودمج المكونات البصرية والالكترونية) 83
2. تكنولوجيا المقاييس والقياسات النانوية/الدقيقة 83
3. مسائل وانعكاسات أوسع 84
خامس عشر: التصنيع الجزيئي والروبوتات النانوية 86
1. التكنولوجيا 86

توطئة

تمت رعايةُ هذا العمل من مجلس الاستخبارات القومي ليشكّل منشورَه "التوجُّهات العالمية 2015"، وهو عبارة عن تقرير يلي وثيقتَه "التوجُّهات العالمية 2010" الصادرة عام 1996 والتي تبيِّن العواملَ الرئيسية التي بدا أنها على مَشارِف تحديد العالم بحلول 2010.

لقد اعتقد مجلسُ الاستخبارات القومي أن عدة تكنولوجيات (بما في ذلك تكنولوجيا المعلوماتُ والتكنولوجيا الحيوية وتكنولوجيا النانو (بمعناها الواسع) وتكنولوجيا المواد) القدرةَ على إحداث تأثيرات عالمية كبيرة ومهيمنة بحلول 2015. والناتجُ المقدَّمُ في هذا التقريرِ يتكوَّن من استشرافٍ لتوُّجهات التكنولوجيا العالمية في التكنولوجيا الحيوية وتكنولوجيا النانو وتكنولوجيا المواد وانعكاساتها على تكنولوجيا المعلومات وعلى العالم في 2015. وقد كان القصدُ منه أن يكون مساعِدا لجمهورٍ واسعٍ بما في ذلك واضعي السياسة ومحلّلي الاستخبارات والجمهور الواسع. وتدعيمُ التنبؤ والتحليلُ بشأن تكنولوجيا المعلومات تم تمويله وإيراده منفصلا (راجع Hundley et al., 2000، و Anderson et al, 2000 ... [212,213]).

وتم القيامُ بهذا المشروع في مركز السياسةِ التكنولوجية واكتسابِها التابع لمعهد "راند" للبحث والدفاع القومي. وهذا الأخيرُ مركزٌ للبحث والتطوير مموَّل على المستوى الاتحادي ويرعاهُ مكتبُ وزير الدفاع وهيئةُ الأركان المشتركة ووكالاتُ الدفاع والقيادات الموحَّدة.

ويقدِّم مجلس الاستخبارات القومي نظرةً استراتيجية متوسطةَ المدى وبعيدتَه، وتقديراتٍ استخباراتية لمدير المخابرات المركزية وصانعي السياسة الرئيسيين في متابعتهم المصالحَ المتحوِّلة وأولوياتِ السياسة الخارجية.

ئەمرۆ ئا مە ئىمچا ئاز. ھۆ .2015 ۋە ياما. ۋەي تەلەيلا. ليچاجۆ. ۋە تەلەيلا ۋاجتەسىرا ۋېسلاڤە ئەسلېسا ۋېتەي ۋىلا ۋە ئا ۋېسا ۋاھەۋ ۋەلەسە ئەلەسا ۋېتەي ئىلا ۋە ئا ۋېسا ۋاھەۋ

ملخص

ستشهدُ الحياة في 2015 ثـــورةً بتزايـــد تـــأثيرِ التكنولوجيـــا متعـــدِّدة التخصُّصات، وذلك في الحياة بكل أبعادها: الاجتماعية والاقتصادية والسياسية والشخصية. فستسمحُ لنا التكنولوجيا الحيوية بتشـــخيصِ الكائنـــات الحيـــة وفهمِها والعمل معها وتحسينِها والتحكُّمِ فيها (بما في ذلك نحن). وسيستمرُّ تَوفُّر ثورةِ تكنولوجيا المعلومات وفائدتُها في التأثير بعمقٍ في العالم في كلّ هذه الأبعاد، وستُغيِّر الموادُّ الذكية والتصنيعُ الذكي وتكنولوجيا النانو الطريقةَ التي يَتمُّ بهـــا إنتاجُ الأجهزة في وقت تقومُ فيه بزيادةِ قدراتِها. وهذه التكنولوجيـــات يمكـــن أيضا أن تَصحبَها "أوراقٌ غير متوقَّعة" في 2015 إذا ما تم في الوقت المناسب رفعُ الحواجز التي تعترِض تطوُّرها.

ويمكن أن تكون النتائجُ مدهشة، إذ يمكنُ أن تنطوي الآثارُ على تحسيناتٍ كبيرةٍ في نوعية المعيشة ومدى الحياة، وعلى معدَّلاتٍ مرتفعةٍ في رقـــم أعمـــال الصناعة، والتكوينِ مدى الحياة للعامل، واستمرارِ العولمة، وإعادةِ توزيع الثروة، والمزجِ الثقافي أو الغزو، مع إمكانيةِ حدوثِ توتُّر ونزاعٍ متزايدين وتحـــوُّلاتٍ في السلطة من الدول والأُمم إلى المنظَّمات غير الحكومية والأفراد، ومـــزيجٍ مـــن الآثار البيئية، وتحسيناتٍ في نوعية الحياة مع ما يُصاحبها من رفـــاه وتقلُّـــصٍ في التوتر وإمكانيةِ تحسين النسل والاستنساخِ البشريين.

وسيتوقَّف التحقيقُ الفعلي لهذه الإمكانيات على عددٍ من العوامل، مـــن

بينها القَبولُ المحلي للتحوُّل التكنولوجي، ومستوياتُ الاستثمار في التكنولوجيا، والبنيةُ التحتية، ومحفّزاتُ السوق ومحدداتُها، والطفراتُ التكنولوجية. وبما أن هذه العواملَ تختلفُ عبر العالم فإن تنفيذَ التكنولوجيا وآثارَها سيختلفُ أيضا، سيما في البلدان النامية. ومع ذلك فإن الثورةَ والتوجهاتِ الشاملةَ ستستمرُّ في كثير بقاع من العالم المتطور.

إن الوتيرةَ السريعةَ للتطور التكنولوجي والطفراتِ تجعَلُ الاستشرافَ صعبا، ولكن الثورة التكنولوجية تبدو على قدْر كبير من الأهميةِ عالميا وممكنةً جدا.

وقد تمت في هذا التقرير مناقشةُ التوجُّهات المتفاعلةِ في التكنولوجيا الحيوية وتكنولوجيا المواد وتكنولوجيا النانو إلى جانب تَيسيراتها بتكنولوجيا المعلومات. ويمكن أن يجِدَ المرءُ بحثا وتغطيةً إضافيين خاصَّين بتكنولوجيا المعلومات في (Hundley et al., 2000 [212]، و... [213] Anderson et al, 2000).[1]

أولا: ثورة الأشياء الحية

ستبدأ التكنولوجيا الحيويةُ بإحداث ثورةٍ في الحياة نفسِها بحلول 2015. فالمرضُ وسوءُ التغذية وإنتاجُ الغذاء والتلوثُ والأمل في الحياة ونوعيةُ المعيشة والجريمةُ والأمن أمورٌ سيَتمُّ حلُّها أو تحسينُها أو زيادتُها بصورة كبيرة. ويمكن ملاحظةُ بعضِ التطورات مثل تسارعِ نموِّ النباتات والحيوانات التي يُهندسُها

1 – الأرقام الواردة بين حاضنتين تشير إلى موقع المرجع في القائمة.

البشر، وبصورة ما حتى البشر، مع ما يُصاحب ذلك من تغيرّات في النظام البيئي. والبحثُ جارٍ أيضا لخلق كائناتٍ جديدة تعيش بذاتها.

ويبدو ما سيأتي أكثرَ الآثار والمسائلِ أهمية:

- **زيادةٌ في كَمّ الحياة البشرية وكيْفِها**. يمكن أن يكون هناك تسارعٌ كبير بحلول 2015 يَتَّخذُ شَكلَ توسُّعٍ في معدّلات الحياة البشرية إلى جانب تحسينات هامةٍ في نوعيةِ معيشة البشر. فقد يَستمرُّ التحكُّمُ أفضلَ في الأمراض، والأدويةُ حسب الطلب، والعلاجُ الوراثي، وتخفيفُ السنّ وقلب اتجاهه، وأدويةُ الذاكرة والجراحة الترقيعية، وزرعُ الأعضاء الالكترونية الحيوية، ونقلُ الأعضاء الحيوانية، والعديدُ من التطورات الأخرى، في زيادةِ معدَّل حياة الإنسان وتحسينِ نوعية المعيشة، بل إن بعضَ هذه التطورات يمكنُها حتى تحسينُ الأداءِ البشري بما يتجاوزُ المستوياتِ الحالية (مثلا، بواسطة مجسَّات اصطناعية). ونتوقعُ أن يسبق العالَمُ المتطورُ العالَمَ النامي في جني هذه المنافع كما فعل في الماضي.

- **تحسينُ النسل والاستنساخ**. بحلول 2015 قد تكون لنا القدرةُ على استخدام تقنياتِ الهندسة الوراثية "لتحسين" الأنواع البشرية واستنساخِ البشر. وستكون هذه تطوراتٍ مثيرةً للجدل، بل من بين أكثرها إثارةً للجدل في تاريخ البشرية كلّه. وليس من الواضح فيما إذا كانت الجهودُ واسعةُ النطاق ستنطلقُ بحلول 2015، فقد لا يكون الاستنساخُ البشري ممكنا تقنيا في تلك السنة. غير أنه من المحتمل أن نَرى على الأقل بعضَ المحاولات الضيِّقة مثل العلاجِ الجيني للأمراض الوراثية والاستنساخِ على يدِ بعض المجرِّبين المارقين. وسيَبْلغ الجدلُ أوجّه بحلول 2015 (إن لم يكن عما قريب).

وهكذا فإن الثورةَ الحيوية لن تكون خُلْوا من المشكلات والتغييراتِ غير المتوَقَّعة للوُجهة. فقد أخذت نقاشاتٌ واحتجاجاتٌ تتعلقُ بالأخلاق والدين والحياةِ الخاصة والبيئةِ تبرُز أصلا في مجالاتٍ من قبيل الأغذيةِ المعدَّلة وراثيا والاستنساخِ والخرطنة الوراثية. ومن المفروض ألا تُوقف هذه القضايا هذه الثورةَ، ولكنها ستُعَدِّل مسارَها في السنوات الخمس عشرة القادمة بما أن الشعوبَ بدأت تُدرك القُوى الجديدةَ التي سَمَحت بها التكنولوجيا الحيوية.

والثورةُ الحيوية لا تتوقَّف بصورة كبيرة على التوجُّهات التكنولوجية في العلوم والتكنولوجيا الحيوية فحسب بل أيضا على التوجُّهات في النُّظم الالكتروميكانيكية الدقيقة والاستشعار والمواد والتصوير وتكنولوحيا المعلومات. والوتيرةُ السريعةُ لتطوُّر التكنولوجيا وطفراتُها تَجعَل التوقَّعَ صعبا، ولكن التطوراتِ آخذةٌ في التسارع في الخرطنة الوراثية والاستنساخِ والتعديلِ الوراثي والهندسةِ الطبية وعلاجِ الأمراض وتطوير الأدوية.

ثانيا: مسائل في التكنولوجيا الحيوية

رغم هذه الإمكانياتِ فإننا نتوقَّع استمرارَ الجدل في مسائل من قبيل:

- تحسينِ النسل.
- الاستنساخِ البشري، ومن بينها انشغالاتٌ بشأن الأخلاق، والأخطاءِ، والمشكلاتِ الطبية الناجمة، وملكِية المورثات والتكاثرِ البشري؛
- براءاتِ المورثات وإمكانيةِ وجود حقوقٍ مُفرِطة تتعلق بمِلْكية السلاسل المورّثية أو حمايات غير كافية للملكية الفكرية لتشجيع الاستثمارات؛

- السلامةِ والأخلاقِ في الكائنات المعدَّلة وراثيا؛
- استخدامِ الخلايا الجذعية (التي يعد الجنين البشري حاليا مَصـــدَرها الرئيسي) لهندسة النسيج؛
- الانشغالاتِ بشأن حقوقِ الحيوانات التي يُثيرُها نقل الأعضاء مـــن الحيوانات إلى جانب خطر أمراض ما بين الأنواع؛
- خصوصيةِ الصور الوراثية (مثلا، قواعدُ بياناتٍ لدى الشرطة علـــى المستوى الوطني تتعلق بصور الحمضِ النووي، ورفضُ التوظيفِ أو التأمينِ القائمِ على الاستعدادات الوراثية)؛
- خطرِ الكوارث البيئية من الكائنات المعدَّلة وراثيا (ربما يـــتمُّ تحقيـــقُ توازنها بزيادة المعرفة والتحكُّم في وظائف التعديل مقارنة بآليات العمل التقليدية أكثر)؛
- زيادةِ خطَر الأسلحة البيولوجية المهندَسة (ربما يتم تحقيـــقُ التـــوازن معها بزيادةِ القُدرة على هندَسة إجراءات مضادة وحمايات).

ومع ذلك ستستمرُّ التطوراتُ الطبيةُ (مـــع التحســـينات الأخـــرى في الصحة) في زيادة معدَّل الحياة البشرية في البلدان التي تُطبَّق فيها. ومن شأن هذه التطورات أن تُطيلَ إنتاجيةَ الفردِ كما أنها ستزيدُ من حـــدَّة المشـــكلات مثـــل التحوُّلات في عمر السكان، والدعمِ المالي للمتقاعدين، وزيادةِ تكاليف الرعاية الصحية للأفراد.

ثالثا: ثورة المواد والأجهزة والتصنيع

ستؤدِّي تكنولوجيا الموادِّ إلى منتجاتٍ ومكوِّناتٍ وأنظمـــة أصـــغرَ وأذكـــى، ومتعددةِ الوظائف، ومتوافقةٍ مع البيئة، وأكثر قدرةً على البقاء، وحســـبَ الطلـــب. وهذه المنتَجاتُ لن تُساهِم في ثورتيِ المعلومات والأحياء المتنـــاميتَيْن فحســـب، بـــل ستكون لها آثارٌ إضافيةٌ على التصنيع والإسناد وأنماط الحياة الشخصية.

1. المواد الذكية

سيتمُّ أكثرَ فأكثر استخدامُ موادَّ مختلفةٍ عديدةٍ ذات قُـــدُرات استشـــعارٍ وتشغيلٍ للجمعِ بين هذه القُدرات استجابةً للشروط البيئية. وتشملُ التطبيقاتُ التي يمكن توقُّعها:

- ثيابا تَستجيبُ للطقس تتَّصـــل بأنظمـــةِ المعلومـــات، وتـــتحكمُ في الإشارات الحيوية، وتُقدِّم الأدويةَ، وتحمي الجروح؛
- أنظمةً للأمن وتحديدِ الهوية الشخصية؛
- وبناياتٍ وعرباتٍ تتكيَّف مع الطقس بصورة آلية.

و يمكن أيضا أن تَسمحَ زياداتُ أداء الموادِّ في مجـــال مصـــادر الطاقـــة والاستشعار والتشغيل بفئاتٍ جديدةٍ وأكثرَ تقدُّما من الروبوتـــات والعربـــاتِ الموجَّهة عن بعد، ربما تكون قائمةً على نماذجَ حيوية.

2. التصنيع الذكي

وفَّرت النمذجةُ السريعة، مع المجسَّات المُضمَّنة، وسيلةً لتصميمٍ وتطـــويرٍ سريعين لمكوِّناتٍ وأنظمةٍ معقَّدة. وإلى جانب طرائق التصنيع والتجهيـــزِ المرنـــة يمكنُ أن يَسمح هذا الأمرُ بالانتقال إلى أنظمةِ التصنيع الذكية الـــتي ستُيسِّـــر، بحلول 2015، تطورَ مؤسساتٍ تجارية عالمية بمكوناتٍ يتم تعيينُها وتصنيعُها بصورة أسرعَ عبر العالم.

3. أشباه الموصلات المصنَّعة نانويا

ستستمرُّ تطوراتُ العتاد نحو أشباه موصلاتٍ أصغرَ وأسرعَ وأرخـــصَ، وهي التطورات التي أذكت تكنولوجيا المعلومات بصورة كبيرة، بحلول 2015 بما أن طول بوابة الصمَّام أخذ يتقلَّص بصورة كبيرة، 20-35 نانومتر. وسيزيدُ هـــذا التوجُّهُ من تَوفُّر حواسيبَ رخيصةٍ ويسمحُ بتطوير مجسَّـــات مُضـــمَّنة في كـــلّ مكان، وأنظمةٍ حوسبية في المنتجات الاستهلاكية والأواني والمحيط.

وبحلول 2015، يمكنُ أن تبدأ موادُّ النانو مثل "نقاط الكمّ" شبهِ الموصـــلة في إحداث ثورةٍ في الوسم الكيميائي والسماحِ بالمعالجة السريعة من أجـــل اكتشـــاف الدواء، واختباراتِ الدم، والتركيبِ الوراثي، والتطبيقاتِ الحيوية الأخرى.

4. الأنظمة الدقيقة المدمجة:

سيتِمُّ في السنوات الخمسِ إلى العشرِ القادمة إدراجُ المكوِّناتِ الكيميائيـــة والسائلةِ والبصريةِ والميكانيكية والحيويةِ مع المنطق الحوسبي في تصاميمَ لرقاقـــاتٍ

2. التصنيع الذكي

وفَّرت النمذجةُ السريعة، مع المجسَّات المُضمَّنة، وسيلةً لتصميمٍ وتطـــويرٍ سريعين لمكوِّناتٍ وأنظمةٍ معقَّدة. وإلى جانب طرائق التصنيع والتجهيـــزِ المرنـــة يمكنُ أن يَسمح هذا الأمرُ بالانتقال إلى أنظمةِ التصنيع الذكية الـــتي ستُيسِّـــر، بحلول 2015، تطورَ مؤسساتٍ تجارية عالمية بمكوناتٍ يتم تعيينُها وتصنيعُها بصورة أسرعَ عبر العالم.

3. أشباه الموصلات المصنَّعة نانويا

ستستمرُّ تطوراتُ العتاد نحو أشباه موصلاتٍ أصغرَ وأسرعَ وأرخـــصَ، وهي التطورات التي أذكت تكنولوجيا المعلومات بصورة كبيرة، بحلول 2015 بما أن طول بوابة الصمَّام أخذ يتقلَّص بصورة كبيرة، 20-35 نانومتر. وسيزيدُ هـــذا التوجُّهُ من تَوفُّر حواسيبَ رخيصةٍ ويسمحُ بتطوير مجسَّـــات مُضـــمَّنة في كـــلّ مكان، وأنظمةٍ حوسبية في المنتجات الاستهلاكية والأواني والمحيط.

وبحلول 2015، يمكنُ أن تبدأ موادُّ النانو مثل "نقاط الكمّ" شبهِ الموصـــلة في إحداث ثورةٍ في الوسم الكيميائي والسماحِ بالمعالجة السريعة من أجـــل اكتشـــاف الدواء، واختباراتِ الدم، والتركيبِ الوراثي، والتطبيقاتِ الحيوية الأخرى.

4. الأنظمة الدقيقة المدمجة:

سيتِمُّ في السنوات الخمسِ إلى العشرِ القادمة إدراجُ المكوِّناتِ الكيميائيـــة والسائلةِ والبصريةِ والميكانيكية والحيويةِ مع المنطق الحوسبي في تصاميمَ لرقاقـــاتٍ

ذات طابع تجاري. وتُعدُّ تكنولوجياتُ المقاييس والقياسات من بين أكثر المجالات المبشِّرة بتطُّورات وتأثيرات مُمَكِّنة على المدى القريب. ومن شأن البحث والإنتاجِ في مجال التكنولوجيا الحيوية، والتركيبِ الكيميائي والمجسَّات أن يتمَّ تحسينُها جميعا بشكلٍ كبير بهذه التطورات بحلول 2015، حتى أنه سيتمُّ بناءُ أنظمةٍ بأكملها (مثل الأقمار الصناعية وتجهيزات المخابر العاملة بصورة آلية) بمكوِّناتٍ مُدمَجة ذات نطاقٍ مجهري، وذلك بعُشْر تكلُفة الأنظمة الكبيرة الحالية، وهو ما يُحدِث ثورةً في الاستشعار ومعالجةِ المعلومات في تطبيقاتٍ متنوعةٍ مدنية وعسكرية. ويمكن أن تسمح التطوراتُ أيضا بانتشار بعضِ قُدراتِ المعالجة الحالية المتحكَّم فيها (مثل فصل النظير النووي).

رابعا: أوراق تكنولوجية غير متوقعة

رغم أن التكنولوجيات الموصوفةَ أعلاه تبدو مبشِّرة أكثرَ بآثار عالميةٍ هامة إلا أن هذه التنبؤاتِ يكتنفُها غموضٌ كبير. وبمرورِ الوقت يمكنُ أن تحجب التطوراتُ أو الآثارُ التكنولوجية غيرُ المتوقَّعة هذه التوجُّهات. أما التوجُّهاتُ الأخرى التي ليس من شأنها أن تكونَ لها آثار كبيرة بحلول 2015 يمكنها أن تصبحَ هامةً قبل ذلك إذا ما تم تحقيقَ طفرات. وتناولُ هذه "الأوراق غير المتوقعة" يُساعِد في استكمال نظرةٍ عن مستقبلٍ قد تَحدُث فيه مجموعاتٌ من النتائج المبتغاة والممْكِنة.

1. حواسيب جديدة ذات نطاق نانوي

في السنوات التي تَعقُب 2015 ستتمُّ مواجهةُ صعوباتٍ جمةٍ في تقنيات تصنيع أشباه الموصلات التقليدية. ويُعد تحويل قاعدةِ الحوسبة إلى أجهزةٍ تستفيدُ من تأثيرات الكمّ العديدة أحدَ الحلول الممْكنةِ على المدى الطويل للتغلُّب على العقبات القادمةِ أمام القوة الحوسبية الزائدة. وثمةَ طريقةٌ أخرى تُعرَف بالالكترونيات الجزيئية قد تَستخدِم محوِّلاتٍ منطقيةً تُجمَع كيميائيا يَتمُّ تنظيمُها في أعداد كبيرة لتشكيل حاسوب. وتُعدُّ هذه المفاهيمُ جذَّابة بسبب العدد الهائل للأجهزة المشابهة وذاتِ الطاقة القليلة التي يمكن تطويرُها، ولكن لا يُتوقَّع أن تكون لها آثار كبيرةٌ بحلول 2015. وسيتقدَّم البحثُ في نماذج الحسابِ البديلةِ هذه وغيرِها في السنوات الخمس عشرة القادمة.

2. التصنيع الجزيئي

لقد قدَّم عددٌ من بعيدي النظر مفهوما للتصنيع الجزيئي يَتمُّ فيه جمعُ الأشياء ذرةً ذرةً (أو جزيئا جزيئا) من الأسفل إلى أعلى (عوض من أعلى إلى أسفل باستخدام تقنياتِ التصنيعِ التقليدية). ورغم أن تصنيعَ الجزيئات يُبشِّر بحدوث تغيُّراتٍ عالميةٍ كبيرة (مثلا، تحوُّلات رئيسيةٌ في تكنولوجيات التصنيع مع ما يُصاحبُها من حاجاتٍ إلى إعادة تدريبِ العمال ومن فُرصٍ لنموذجٍ تَصنيعيٍّ جديد في بعض مجالات المنتوجات)، إلا أن نتائجَ التصنيعِ الجزيئي الأكثر أساسيةً فقط هي التي توجَد حاليا معزولةً في مرحلة البحث. ومن المعقول، بالتأكيد، أن يتوقَّع المرءُ إمكانيةَ تطوير قدرةٍ مُدمجة على نطاقٍ ضيق في السنواتِ الخمس عشرة القادمة، ولكن الآثارَ الواسعةَ النطاق بحلول 2015 غير مؤكَّدة.

3. التجميع الذاتي

رغم أنه من المستبْعَد أن يَحدُث التجميعُ الذاتيّ على نطاقٍ واسع في 2015 إلا أنَّ طَرائقَه (بما في ذلك استخدامُ طرائقَ حيوية) يمكنُ أن تُشكِّل في نهايةِ المطاف تحديا للطّباعة الحجريةِ القائمةِ على أشباه الموصلات والتصنيع الجزيئي من أعلى إلى أسفل.

خامسا: التوجهات العليا والانعكاسات

بأخذها معا، ستؤدّي الثورةُ في المعلومات والأحياء والموادِّ والأجهزة والتصنيعِ إلى توجُّهات واسعةِ النطاق وإلى انشغالاتٍ وتوتُّرات عبر العالم بحلول 2015.

- **تسارُع وتيرة التغير التكنولوجي.** ستزيد وتيرةُ التغير التكنولوجي المتسارعة مع "التدمير الخلاق"[1] للصناعات من أهمية التعليم والتكوين المستمرَّين. والتعلُّم عن بعد والآلياتُ البديلة الأخرى سيُساعد، ولكنَّ هذا التحوُّل سيجعلُ الأمرَ عسيرا على المجتمعات المتردِّدة في التغيير. وسيؤثِّر التكيُّف الثقافي والضرورةُ الاقتصاديةُ، والمتطلباتُ الاجتماعية، وتَوفُّر الموارد في مدى

---

1 التدمير الخلاق يمكن أن يعرف على أنه "العملية المستمرة التي تزيح بها التكنولوجيات الناشئةُ التكنولوجياتِ القديمةَ."

الاستخدام الأصلي للعبارة ورد في كتاب: (Greenspan, 1999 [10].

Joseph A. Schumpeter, *Capitalism, Socialism, and Democracy* (Harper & Brothers, New York, 1942, pp. 81-86).

اعتمادِ التكنولوجيا ووتيرتِها في كلّ صناعةٍ ومجتمعٍ في السنوات الخمس عشرة القادمة. ويمكنُ في المقابل أن تكون لوتيرةِ هذا التغير ومداه آثارٌ عميقةٌ في اقتصاد أغلب البلدان ومجتمعاتها وسياستها. وستبقى الدرجةُ التي يمكنُ للعلم والتكنولوجيا أن يَستكملا عندها هذا التغييرَ ويحققا منافعَه تَعتمدُ بصورةٍ كبيرة على إرادةِ أولئك الذين يضعونهما ويشجعونهما وينفذونهما.

• **تزايدُ الطبيعةِ متعددةِ التخصُّصات للتكنولوجيا**. الكثيرُ من هذه التوجُّهات في التكنولوجيا سمحت بها مساهماتٌ وتفاعلاتٌ متعددةُ التخصصات. وستَعتمِد التكنولوجيا الحيويةُ كثيرا على تجهيزاتِ المخابر مُوفّرةً تحاليلَ تَتمُّ في "مخابر على رقاقات" إلى جانب التَّقدُّم في المعلوماتية الحيوية. وستسمحُ الأنظمة الالكتروميكانيكية الدقيقة والموادُّ الذكية والجديدة بمجسَّات صغيرة وواسعةِ الانتشار. وقد أخذ أيضا المهندسون في التحوُّل أكثرَ فأكثر إلى بيولوجيين لِفَهْم الكيفية التي تَحُلُّ بها الكائناتُ الحيةُ مشكلاتِها في التعامل مع البيئة الطبيعية. وتَجْمع جهودُ "المحاكاة البيولوجية" بين أفضل الحلول من الطبيعة وبين مكوِّناتٍ مُهندَسةٍ اصطناعيا من أجل تطويرِ أنظمة أحسنَ من الكائنات الموجودة.

• **التنافسُ على ريادة التطور التكنولوجي**. تَتوقفُ الريادةُ والاشتراكُ في التطوُّر في كلّ مجالٍ تقني على عددٍ من العوامل، من بينها التدابيرُ الاقتصادية الإقليميةُ المستقبلية (مثلا، الاتحاد الأوروبي)، وحقوقُ الملكية الفكريةِ الدولية وحمايتُها، وطبيعةُ الشركاتِ متعدِّدةِ الجنسية المستقبلية، ودورُ الاستثمارات وكميتُها في البحث والتطوير في القطاع العام والخاص. وحاليا، ثمة تحرُّكات نحو التنافُسِ بين التحالفات الاقتصاديةِ الإقليمية (مقابل الوطنية) والزيادةِ في دعم نظامِ

حماية الملكية الفكرية عالميا، وعولمةٍ أكثر، وتقسيمٍ لمسؤولياتِ تمويل البحثِ والتطـــوير (مثلا، تمويل البحث في القطاع العام مع تمويل التطوير في القطاع الخاص).

- **عولمةٌ مستمرة**. من المفروض أن تَستمرَّ تكنولوجيا المعلومات، مـــع تأثيرها في التكنولوجيات الأخرى (مثلا التصنيع الذكي)، في الدَّفع إلى العولمة.

- **التغلغلُ الجانبي الكامن**. التكنولوجيا الأقدمُ القائمةُ ستنفُذُ بشـــكل ضعيف إلى الأسواق الجديدة والتطبيقات بحلول 2015 موفِّرة غالبا وسائلَ للعـــالم النامي لجني منافعِ التكنولوجيا (وإن كان ذلك بَعد البلدان التي تستثمر كثيرا في البنية التحتية والاكتساب المبكِّر). وقد ينطوي هذا التغلغل على ابتكارٍ لجعـــل التكنولوجيا الموجودة ملائمةً للظروف والحاجاتِ الجديـــدةِ عِـــوض تطـــويرِ تكنولوجيا جديدةٍ أصلا.

الانشغالات والضغوط

الانشغالاتُ والضغوطُ المتعلقةُ بالقضايا الآتية موجودةٌ أصلا في العديـــدِ من الدولِ اليومَ، وستزيدُ في السنوات الخمس عشرة القادمة:

- **تباينات طبقية**. بما أنَّ التكنولوجيا تأتي بالمنافع والرفاه لمستخدميها فإنها قد تَترُك آخرين خَلْفها وتؤدِّي إلى تباينات طبقيةٍ جديـــدة. ورغـــم أنهـــا ستُساعِدُ على تخفيفِ بعض الصعوبات الكبيرة (مثل نقص الغذاء ومُشـــكِلات سوء التغذيةِ في العالمِ النامي) إلا أنها ستؤدِّي إلى تباينات اقتصاديةٍ حقيقية بـــين العالم المتطوِّر وبين العالم النامي وداخلَهما معا. أما الذين لا يريدونَ الاحتفـــاظَ بفرص التجارة الجديدة وتكييفها أو غيرُ القادرين على ذلك فقد يتأخَّرون جدا.

وزيادةً على ذلك، بالنظر إلى ضُعف سوق الشعوبِ الفقيرة في البلدان النامية فإنَّ الحوافزَ الاقتصاديةَ ستكون غالبا غيرَ كافية لتَدفع إلى اكتساب موادَّ أو مهاراتٍ تكنولوجية جديدة.

- **تقلُّص الحياة الخاصة**. تشملُ العديدُ من التهديدات لحياة الأفراد الخاصَّة بناءَ قواعدِ بياناتٍ يمكنُ الوصول إليها عن طريق الإنترنت، والقدرةَ المتزايدةَ للاستشعار، واختبارَ الحمض النووي، وتحديدَ الهوية بالمورِّثات التي تُشيرُ إلى الاستعدادات للأمراض. وثمةَ بعضُ الازدواجية فيما يَتعلقُ بالحياة الخاصة بسبب المنافعِ الممكنةِ من هذه التكنولوجيات (مثلا، منتوجاتٌ وخدماتٌ حسب الشخص). وبما أن التشريعَ عادةً ما يبقى متخلّفا عن وتيرةِ التكنولوجيا فإنه يمكنُ تناولُ الحياةِ الخاصة بطريقةٍ لاحقةٍ وليست سابقة، وذلك بسدِّ الثغرات في الحماية.

- **التهديدات الثقافية**. يشعر الكثيرُ من الناس بأن استمرارَ حيوية ثقافتهم، وحتى وُجودَها الممكنَ على المدى الطويل، قد تهدِّدُه الطرائقُ الجديدةُ للحياة التي تأتي بها التكنولوجيا. وبما أنَّ منافعَ التكنولوجيا ماثلةٌ للعيان (لاسيما بالنسبة إلى الأجيال الفتية) فإنه قد يكون منعُ هذه التغيُّرات أصعب، حتى وإن كان بإمكان بعضِ التكنولوجيات المحافَظةُ على بعض مُنتَجاتِ الإنسانِ والقيم الثقافية، كما يمكنُ أن يكونَ للقيم الثقافية وقعٌ على توجيه التنظيماتِ القانونية والحمايات التي تمسُّ التطورَ التكنولوجي.

سادسا: نتائج

إلى جانب ثورتَيْ الماضي الزراعيةِ والصناعيةِ هناك ثورةٌ تكنولوجية واسعةٌ ومتعددةُ التخصُّصات تغيِّرُ العالم. فقد أخذت تكنولوجيا المعلوماتِ فعلا في إحداثِ

ثورةٍ في حَيواتِنا (لاسيما في العالم المتطور) وستستمرُّ في تلقّي المساعدةِ من الطَّفرات في تكنولوجيا الموادِّ وتكنولوجيا النانو. وستُحدثُ تكنولوجيا الأحياءِ ثورةً في الكائنات الحية، وستسمَحُ تكنولوجيا الموادِّ والنانو بتطوُّرِ أجهزةٍ جديدةٍ ذات قُدراتٍ لم تكن متوقَّعَة. وهذه التكنولوجياتُ ليس لها وقعٌ على حيواتنا فحسب، بل إنها تترابطُ بصورةٍ كبيرة جدا جاعلةً من الثورة التكنولوجية ثورةً متعددةَ التخصُّصات بصورة كبيرة وتُسرِّع التقدمَ في كل مجال.

والآثارُ الجذريةُ للتكنولوجيا الحيوية يمكنُ أن تكون الأكثرَ إثارةً للدَّهشة، إذ من المفروض أن تحسِّن الطفراتُ الجماعيةُ نوعيةَ معيشةِ الإنسان وطولَ حياته. وستكون هندَسةُ البيئة غيرَ مسبوقةٍ في دَرَجتِها من التدخُّل والتحكُّم. وقد تكونُ الآثارُ الأخرى لتوجُّه التكنولوجيا أقلَّ وضوحا للجمهور، ولكنْ بإدراكها بَعْديا قد تكونُ جذريةً تماما. وستؤدِّي التغيُّراتُ الأساسية في ما نصنعُ وكيفية ذلك إلى منتجاتٍ حَسب الطلب لم يسبق لها مثيلٌ وإلى منتجاتٍ وقُدراتٍ جديدة أساسا.

ورغم الشكِّ المتأصِّل في النظر إلى التوجُّهات المستقبلية فإنه يمكنُ توقُّعُ مجموعةٍ من الإمكانيات التكنولوجية والآثار، وستتوقفُ على عدة مُمَكِّنات وعقبات (راجع الجدول س.1).

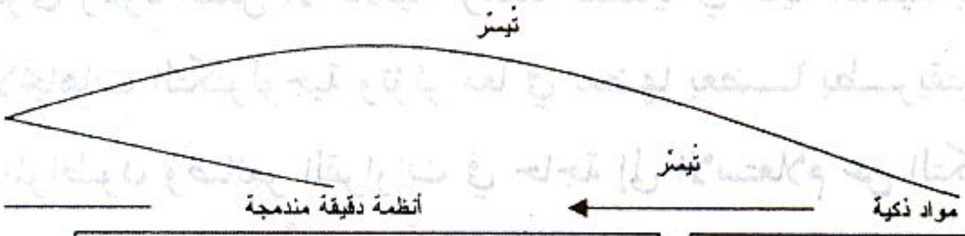
وهذه الآثارُ الجذريةُ ليست خلوا من المشكلات، إذ يجب تناولُ العديدِ من الانشغالات والقراراتِ الأخلاقية والاقتصادية والقانونيةِ والبيئية والمتعلقةِ بالسلامة، بما أنَّ شعوبَ العالم تُدرك الآثار المُمْكِنة التي قد تكونُ لهذه التوجُّهات على ثقافاتهم وحيواتهم. والقضايا الأكثر أهميةً قد تكونُ الحياة الخاصة والتباين الاقتصادي والتهديدات الثقافية (وردود الفعل) والأخلاق البيولوجية. وبوجه

خاص فإن قضايا مثلَ تحسينِ النسل والاستنساخِ البشري والتعديلِ الوراثي تُثير أقوى ردودِ الفعل الأخلاقية. وهذه القضايا في غاية التعقيد بما أنها تَدفعُ الاتجاهاتِ التكنولوجيةَ وتؤثّر معا في بعضها بعضا بطريقتين دنيا وعليا. والمواطنون وصانعو القرارات في حاجة إلى الاستعلام عن التكنولوجيا جامعين هذه التفاعلاتِ المعقَّدةَ ومحلِّلينَها من أجل الفهم الصحيح للنقاشات التي تحيطُ بالتكنولوجيا. وستمنعُ هذه الخطواتُ القراراتِ الساذجةَ وتزيدُ منافعَ التكنولوجيا إلى أقصاها بالنظر إلى القيم الشخصية، وتشخِّصُ نقاط التلاقي التي يمكن أن يكون للقرارات عندَها التأثيرُ المرغوبُ دون أن تقضي عليه مسألة لم يتمَّ تحليلها.

إن بُشرى التكنولوجيا ههنا اليومَ وستَسيرُ قُدُما، وستكون لها آثارٌ واسعة عبر العالم. ومع ذلك فإن الثورةَ التكنولوجية لن تكون مُوحَّدة في تأثيرها وستَجري بصورة مختلفة على المستوى العالمي، ويتوقَّف ذلك على القَبول والاستثمارِ وعلى مجموعةٍ متعدِّدة من القرارات الأخرى. غير أنه لن يكون هناك تراجعٌ بما أن بعضَ المجتمعات ستنتهزُ الثورة، ومن ثم ستُغيِّرُ العولمةُ البيئةَ التي يعيشُ فيها كلُّ مجتمع. لقد بلغَ العالَمُ مرحلةَ التغيير الكبير نظرا إلى أن هذه التطوراتِ تجرِي على نطاق عالمي.

الجـــــ

مدى بعض مجالات الثورة التكنولوجية وتأثيـــــــ



مستقبلات ذات نمو مرتفع

أنظمة منتشرة ممكّنة

تحكم مستمر في وظيفة الجسم

تقديم الدواء بصورة محددة الهدف وغير تدخلية

مجسات وأدوات عرض منتشرة (يمكن ارتداؤها، هيكلية).

ملاجئ تستجيب للطقس

مكونات لآليات تغير الشكل.

واقع افتراضي دون روابط.

التأثيرات

تحسن معدل الحياة

تحسن مستوى المعيشة ونوعيتها

تزايد فعالية الطاقة وتقلص الآثار على البيئة

استمرار نمو الصناعات الترفيهية

اندماج واسع ومتعدد الأغماط

مخبر للتحليل على رقاقة

مجسات منتشرة (حيوية وكيميائية وضوئية، إلخ)

أقمار صناعية دقيقة ونانوية

روبوتات نانوية

التأثيرات

تيسير تقديم الدواء، البحث الجينومي، والتحليل والتركيب الكيميائيين.

تقليصات كبيرة في تكاليف الأجهزة.

إمكانية انتشار قدرات المعالجة المتحكم فيها (مثلا: فصل النظير النووي).

ممكّنات رئيسية

الاستثمارات والالتزام

الاستثمارات والتطوير

عقبات ممكنة

التكلفة، القوة العاملة، القبول

المسائل التقنية

مستقبلات ذات نمو منخفض

استغلال محدود

تشخيص غير تدخلي

تحسن تقديم الدواء

مكونات بناء وظيفية

تحسن الاستشعار والاستطلاع

اتصال/ترفيه مدمجان

التأثيرات

تحسينات تدريجية في الرعاية الصحية، وفعالية الطاقة والبيئة.

اندماج محدود في تقاطع النموذج

مجسات ميكانيكية (مثلا، البوصلة الدوارة).

اختبارات على رقاقات.

التأثيرات

التركيز على التطوير الجاني وانتشار التكنولوجيا بدل الإبداع.

ـــــــــدول 1.3

ـــــــــراتها المتفاعلة المُمكنة بحلول 2015

تُيسّر

تُيسّر

تكنولوجيا المعلومات ← العمل على المورثات

استمرار الانفجار

علم الطاقة الضوئية: عرض الموجة، الحساب.

الترابط العالمي.

انتشار الحوسبة.

مجسات واسعة الانتشار.

منافع معلوماتية عالمية.

فوائد عالمية للمعلومات.

أشباه موصلات نانوية: أصغر وأسرع وأرخص.

ترجمة اللغات الطبيعية والوصلات.

التأثيرات

هيمنة التجارة الإلكترونية.

التدمير الخلاق في الصناعة.

استمرار العولمة.

مزيد من العمل على الجينوم

نباتات وحيوانات معدلة وراثيا من أجل الغذاء وإنتاج الدواء والمركبات العضوية

العلاج الوراثي

التأثيرات

معدل حياة أطول.

تحسن نوعية الحياة والصحة.

تحسن مردود المحاصيل ونقبّل الجفاف.

تقلصُ المبيداتِ وإزالةِ الأشجار للزراعة.

تغيرات ممكنة في النظام البيئي.

إمكانية تحسين النسل.

الاستثمارات ← الاستثمارات، والتقدم العلمي والتكنولوجي

التراجع عن العولمة والتدمير الخلاق: اضطرابات مالية عالمية ← **رفض اجتماعي وأخلاقي**

تقدم بطيء

أبطأ، ولكن مع استمرار التطور التكنولوجي للطفرات الخالية في العلم.

التأثيرات

تستمر أجزاء من العالم في تكنولوجيا المعلومات بينما تتقهقر أخرى.

استمرار توجهات التجارة الإلكترونية.

ربما وتيرة أبطأ في قَبول التكنولوجيا واستيعابها.

بطء أو توقف

تعديل محدود في الغذاء والنبات والحيوانات.

الاعتماد على الطرق التقليدية للتحكم في الأوبئة وإجراءات التعديل الوراثي.

استمرار استخدام إجراءات التعديل الوراثي التقليدية (التبويغ المتقاطع والتكاثر الانتقائي والمعالجة بالإشعاع).

التأثيرات

نقص متزايد في الغذاء والتغذية في العالم النامي.

الاعتماد على الطرق التقليدية في التحكم في الأوبئة وفي المواد الكيميائية.

2015 ماجستير تكنولوجيا المعلومات
1.3 ماجستير
تحليل وتصميم نظم المعلومات
تحليل وتصميم نظم المعلومات: تطوير تطبيقات متقدمة لإدارة سلسلة التوريد
تطوير تطبيقات الهاتف المحمول
تطوير تطبيقات الهاتف المحمول: تطوير تطبيقات متقدمة لأنظمة iOS وAndroid، بما في ذلك التكامل مع الخرائط والمستشعرات والإشعارات.
تطوير تطبيقات الويب
تطوير تطبيقات الويب: تطوير تطبيقات ويب ديناميكية باستخدام أطر عمل حديثة، بما في ذلك واجهات برمجة التطبيقات وقواعد البيانات.
تطوير تطبيقات الهاتف المحمول
تطوير تطبيقات الهاتف المحمول: تطوير تطبيقات متقدمة لأنظمة iOS وAndroid، بما في ذلك التكامل مع الخرائط والمستشعرات والإشعارات.
تطوير تطبيقات الويب
تطوير تطبيقات الويب: تطوير تطبيقات ويب ديناميكية باستخدام أطر عمل حديثة، بما في ذلك واجهات برمجة التطبيقات وقواعد البيانات.

الفصل الأول

مقدمة

يبدو أن عددا من التوجُّهات الهامة المرتبطةِ بالتكنولوجيا جاهزٌ لتكـــون لـــه آثارٌ عالمية كبيرة بحلول 2015. ويجري التأثيرُ في هـــذه التوجُّهـــاتِ بـــالتطوُّرات في التكنولوجيا الحيوية وتكنولوجيا النانو[1] وتكنولوجيا المواد وتكنولوجيا المعلومـــات. ويُقدِّم هذا التقريرُ استشرافا[2] لهذه التوجُّهات العالمية والانعكاساتِ الممْكِنـــة لعـــام 2015 في مجالات التكنولوجيا الثلاثة الأولى وبينَها، إلى جانب تقاطُعهـــا وتفاعُلِهـــا الخصب مع تكنولوجيا المعلومات. وقد تناول هذا الاستشرافُ التطوُّراتِ العلميـــةَ والتقنيةَ الممْكِنةَ والتطبيقاتِ المسموحَ بها، والعقباتِ الممكِنةَ، والانعكاساتِ العالمية. وهذه الانعكاساتُ متعددةٌ ويمكنُ أن تشملَ عوامـــلَ اجتماعيـــةً أو سياســـيةً أو اقتصاديةً أو بيئيةً أو غيرها. وفي العديد مـــن الحـــالات يبـــدو أنَّ أهميـــةَ هـــذه التكنولوجيات تتوقَّف على التضافُر الذي تُوفِّره تطوراتُها، كما أنها تتوقَّـــف علـــى التفاعُل مع ما يُسمَّى بثورةِ المعلومات. والإشارةُ إلى تطوُّراتٍ مســـتقبليةٍ محتملـــةٍ تتعلقُ بعام 2015 ما لم يُذكر خلافُ ذلك.

---

1 – تم تحديدها بصورة واسعة لتشمل الأنظمة الدقيقة والنانوية والجزيئية.

2 - ثمة عمل استشرافي يفحص توجهاتٍ ومؤشراتٍ تتعلق بتطورات مستقبلية ممكنة دون التنبـــؤ بحالـــة واحدة أو أَجَلٍ، ومن ثم فهو مختلف عن العمل الذي يضع توقعا أو سيناريو (Coates, 1985; Martin and Irvine, 1989; and Larson, 1999 [1, 2, 3])

لقد تَنبأ البعضُ بأنه في الوقت الذي هَيمَنت فيه التطوراتُ في الكيمياء والفيزياء على القرنِ العشرين فإنَّ القرنَ الحادي والعشرين ستُهيمِنُ عليه التطوراتُ في التكنولوجيا الحيوية (راجع مثلا [22] Carey et al., 1999[1]). ويبدو أننا على مشارفِ فهمِ القانونِ الوراثي للأشياء الحية وقراءتِه والتحكُّمِ فيه، وهو ما يمنحُنا تحكُّما خارقا في الكائناتِ الحيوية وعيوبِها. وتَحْمِل تطوراتٌ أخرى في الهندسةِ الطبية والعلاجِ وتطويرِ الأدوية تباشيرَ إضافيةً بمجموعةٍ واسعة من التطبيقات والتحسينات.

وعلى جبهة أخرى، توقَّعت "المبادرة القومية لتكنولوجيا النانو" للرئيس الأميركي أن "تؤدِّي المجالاتُ الناشئةُ في علم النانو وهندَسة النانو إلى فهمٍ وتحكُّمٍ لم يسبق لهما مثيلٌ في الكُتلِ الأساسية المكوِّنة لكل الأشياء الحية. ومن شأن هذه التطوُّرات أن تُغيِّر الطريقةَ التي يَتشكَّل بها كلُّ شيء تقريبا ويُصنَع، من اللقاحات إلى الحواسيب، إلى عَجلات السيارات، إلى الأشياءِ التي لم يَتمَّ تصوُّرها بعد" (المبادرة القومية لتكنولوجيا النانو، 2000 [179,178]). وتعكسُ هذه المبادرةُ تفاؤلَ العديدِ من العلماء الذين يؤمنون بأنه يمكنُ تجاوزُ العقبات التكنولوجيةِ في تكنولوجيا النانو.

وفي مجالٍ ثالثٍ يُعَدُّ علمُ وهندسةُ الموادِّ على مشارفِ توفيرِ مُدخَلات هامة لكلٍّ من هذين المجالين إلى جانب خَلقِ توجُّهاتٍ خاصة به. وعلى سبيل المثال فإنَّ مجالاتِ التخصصاتِ المتداخلة للموادِّ الحيوية (مثل Aksay and Weiner, 1998 [131]) ومواد النانو (مثل Lerner, 1999 [160]) تُحقِّق تطوراتٍ

---

1 - الأرقام الواردة بين حاضنتين تشير إلى موقع المرجع في القائمة.

مبشِّرة. وزيادة على ذلك فإن من شأن البحث متداخلِ التخصُّصات في مجال الموادِّ أن يَستمرَّ في إنتاج موادَّ بخصائصَ محسَّنة للتطبيقات العامة (مثل البناء) والمتخصصة (مثل الاستطلاع والمراقبة، أو أنظمة الطيران والفضاء). ومن شأن موادِّ القرن الحادي والعشرين[1] أن تكون أكثرَ ذكاء، ومتعددةَ الوظائف، ومتوافقةً مع مجموعةٍ واسعةٍ من البيئات.

أولا: الثورة التكنولوجية

تعملُ التطوراتُ في تكنولوجيات الأحياء والنانو والموادِّ والمعلومات مجتمعةً للتَّمكين للأجهزةِ والأنظمة التي لها آثارٌ عالمية على الصحة والسلامة الفردية والعامة؛ والأنظمة الاقتصادية والاجتماعية والسياسية؛ والأعمالِ والتجارة. وتُتيحُ الثورةُ التكنولوجيةُ الناشئةُ مع مسار العولمةِ الجاري الذي سَمَحت به تكنولوجيا المعلومات والتحسيناتُ المستمرة في النقل (مثلا Friedman, 2000 [217])، إمكانياتٍ لزيادة معدّلَ الحياة والرفاهَ الاقتصاديَّ ونوعيةَ المعيشة من جهةٍ، ومن جهة أخرى تَزيدُ الأمرَ عسرا مع الحياة الخاصَّة والمشكِلات الأخلاقية (مثلا، البحث الطبي). وقد قِيل إنَّ الوتيرةَ المتسارعةَ للتغيُّر التكنولوجي يمكنُ أن تؤدِّي إلى توسيع الهوَّة بين الفقراء والأغنياء وبين البلدان المتطورة والنامية. غير أن زيادةَ الارتباطِ العالمي داخلَ الثورة التكنولوجية قد يُقدِّم في حدِّ ذاته وسيلةً لتعليم محسَّن وقُدراتٍ تقنيةٍ محلية يمكِنُها

---

1 – راجع على سبيل المثال، Good, 1999; Arunachalam, 2000; and ASM, 2000 [124-126]

أن تَسمحَ للأقاليم الأكثر فقرا والأقلّ تطورا في العالم بالمساهمةِ في التطورات التكنولوجية والانتفاعِ بها من خلال "الصناعات المترلية" للقرن الحادي والعشرين.

ونُضج هذه التوجُّهات يختلف، فالبعض يُؤدِّي أصلا إلى تأثيراتٍ في الاقتصاد المترلي وجَدلٍ في منتديات الجمهور الواسع؛ بينما تُبشِّر أخرى بآثارٍ هامة بحلول 2015، وهي حاليا أقلُّ نُضجا ومناقشةً في منتديات التكنولوجيا المتقدمة.

ثانيا: المقاربة

عِوض تقديم نظرةٍ طويلةٍ ومفصَّلة حاولَ هذا العملُ الاستشرافي التَّشخيصَ السريعَ للحركاتِ المبشِّرة ذاتِ الآثار الهامة الممْكنة على العالم. وقد شخّصت الدراسةُ أيضا تكنولوجياتٍ ذات "أوراق غير متوقَّعة" تبدو أقلَّ بُشرى أو ليس من شأنها أن تَنضج بحلول 2015، والتي سيكونُ لها، مع ذلك، أثرٌ هام في العالَم إذا ما تم تطويرُها وتطبيقُها بصورة ناجحة.

وتحديدُ "الأهمية العالمية" في مثل هذا العمل الاستشرافي يَتوقَّف بصورة كبيرة على المستوى الذي يَفحصُ عنده المرءُ تكنولوجيا ما أو مكوِّناتها. وقد لا تَرْقى توجُّهاتُ الأفرادِ وتطبيقاتُهم لتكُونَ هامَّة بنفسها، ولكنَّ مساهماتهم الجماعية قد تُؤدِّي، مع ذلك، إلى توجُّه هام. وحتى الإنترنت، على سبيلِ المثال، تَتكون من عددٍ كبيرٍ من التطبيقات والأنظمة والمكوِّنات، لا يَرقَى العديدُ منها

بمفردِها إلى درجةِ الأهميةِ العالمية، وإن كانت مجتمعةً تُساهِمُ في الأثر الشـــامل. وعادةً ما يأتي هؤلاءِ المساهمون المتنوِّعون من تخصُّصاتٍ تقنيةٍ مختلفة. ورغـــمَ أن هذه التوجُّهاتِ متعددةُ التخصصاتِ إلا أنها وُضِعت في مجموعاتٍ على أســـاسِ تكنولوجيا مُهيمِنةٍ أو مفهومٍ مهيمِنٍ لكل توجُّه.

لاحظوا أنَّ هناك دوما عنصرا قويا من الشـــكّ عنـــد تَوقُّـــع التقـــدُّم التكنولوجي والانعكاساتِ على المستقبل. وقد تَناولَ هذا العمـــلُ انعكاســـاتٍ يمكنُ توقُّعها تقومُ على التقدُّم والاتجاهاتِ في العلم والتكنولوجيا الحـــاليين، ولم يحاول التنبؤَ بالأحداثِ والتوقيت أو توقُّعها بدقَّة. وقد جُمعت التوجُّهاتُ مما هو موجودٌ من الشهادات والتوقُّعاتِ مُقدِّمة آراء لمجموعةٍ واسعة من الأفراد. ولمـــا كان العديدُ من هذه التوجُّهات المنشورةِ يميل إلى التفاؤلِ وبُعد النظر فقد جَرَت محاولاتٌ لتقديمِ رؤًى عميقةٍ عن التحديات التي ستواجهُها، مؤديـــةً لـــيس إلى شعورٍ بالانعكاسات المُمْكنة فقط، بل أيضا بالمسائلِ التي يمكِنُها تشكِيلُ تطوُّرِها. وكان الهدفُ هو الحصولُ على توقُّعٍ متوازنٍ للتوجُّهات والاتجاهات، وهو مـــا يُؤدِّي إلى مجموعات من الاحتمالات بدلَ مستقبلٍ واحدٍ ممكن، وذلـــك مـــن أجل إتاحة فهم غني للسبل العديدةِ الممْكِنة الـــتي يجـــري اتباعُهـــا. وتشـــملُ مجموعاتُ المستقبلاتِ الممْكِنة هذه كلا من الحدودِ القصوى المتفائلةِ والمتشائمةِ في توقُّعات التكنولوجيا، إلى جانب مجموعـــاتٍ مـــن الانعكاســـات المتفائلـــةِ والمتشائمةِ لهذه التوجُّهات. وقد تمت الإشارةُ أيضا إلى بعضِ التوجُهات المبشِّرة، والتي من المستبعدِ أن تَبلُغ، مع ذلك، أهميةً عالمية بحلول 2015.

ورغم أنَّ تَفحُّص التوجُّهات يمكنُ أن يؤدِّي إلى فَهمٍ واسعٍ للاتجاهـــات

الحالية فإنهُ لن يشمَل الطَفَراتِ التكنولوجيةَ غير المتوقَّعة. وسيكونُ أيضا للآثار الاقتصاديةِ والاجتماعية والأخلاقيةِ والسياسة المعقَّدة على التطور التكنولـــوجي تأثيرٌ كبيرٌ على ما يَحدُث فعلا في المستقبل. وعلى سبيل المثال، رغم أن العديدَ من علماءِ الحاسوبِ ومديري البرامج الحكوميةِ بعيدي النظر رأوا أن تكنولوجيا الإنترنت ممكِنة،[1] فقد كان الأمرُ مستحيلا عمليا التنبؤُ بما إذا كانت ستُصـــبحُ هامةً على مستوى عالمي أو بوتيرةِ اعتمادِها أو بأثرِهـــا الواســـعِ في الأنظمـــة الاجتماعية والسياسيةِ والاقتصادية. ومع ذلك فإن دراسةَ هذا التوجُّه يمكنُ أن تؤدِّي إلى فهم واسع للقضايا الحالية وآثارِها المســـتقبلية المحتملـــةِ ولتشـــكيل القراراتِ المتعلقةِ بالسياسات والاستثمار والقانونِ والأخلاقِ والأمن القـــومي والاستخبارات اليوم.

1- كانت تسمى فيما سبق داربانيت DARPAnet طورته وكالة مشاريع البحث المتقد في الدفاع، Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)

الفصل الثاني

التوجهات التكنولوجية

أولا: علم الجينوم

سيكونُ من شأن التكنولوجيا الحيوية، بحلول 2015، أن تستمرَّ في تحسينِ قُدرتِها وتطبيقِها على الخرطنة الوراثية والنَّسْخ والعمل على القاعدة الوراثية لكلٍّ من النباتات والكائنات الحيوانية فاسحةً الطريق لفرصٍ وانعكاساتٍ كبيرتين بالنسبة لفَهْم الكائناتِ الموجودةِ وهَندسَة كائناتٍ بخصائصَ جديدة. والبحثُ جارٍ لخلق كائنات جديدة تعيش بذاتها، تكونُ في البداية عبارة عن ميكروباتٍ بأقل قدر من الجينوم .(Cho et al., 1999; Hutchinson et al., 1999 [79, 80]).

1. الخرطنة الوراثية وتحليل الحمض النووي

سيكون من شأن آلات تحليل الحمض النووي والأنظمة القائمة على رقاقاتٍ أن تُعَجِّل بانتشار قُدُرات التحليلِ الوراثي وتحسينِ البحث في الدواء والتَّمكين لمجسَّات بيولوجية.

وسيكونُ بالإمكان استمرارُ فكِّ رموز الأطقم الوراثية للنباتات (من محاصيل الغذاء الهامة مثل الأرز والذُّرة إلى النباتات المنتجة مثل أشجار اللباب)

والحيوانات (من البكتيريا، مثل بكتيريا الأمعـــاء، إلى الحشـــرات والثـــدييات) وخرطنتها. وبالقدر الذي تُملي فيه المورِثات الوظيفةَ والسلوكَ فإنَّ هذه الخرطنة الوراثيةَ الواسعةَ يمكنُ أن تُوفّر القدرةَ على تشخيصٍ أفضلَ لمشكلات الصِّـــحة البشرية وتصميمِ أدويةٍ على المقاس للمشكلات الفردية وردودِ أفعالِ النظـــام، وللتنبؤِ أفضلَ بالاستعدادات المرَضية وتَتبُّع حركةِ المرض وتطورِها بين شـــعوب بأكملها ومجموعاتٍ عرقيةٍ وغيرها من المجموعات الجينية (Morton, 1999; Poste, 1999 [21, 23]). لاحظوا أن وجود علاقةٍ بين المورِّثاتِ والوظيفةِ أمـــرٌ مقبـــولٌ عموما، لكنَّ عواملَ أخرى مثل البيئةِ والتركيب الخارجي تلعبُ أدوارا هامة في التعديل. وسيكون الاستمرارُ في تطوير العلاج الوراثي أمرا ممكنا رغم أنها لـــن تكون ناضجةً بحلول 2015.

ويمكنُ أن يكون للخرطنة الوراثية أثرٌ كبير أيضـــا في الأمـــن وأعمـــالِ الشرطة والقانون. فالتشخيصُ بالحمض النووي يمكنُ أن يكمِّل تكنولوجيـــاتِ القياسِ الحيوي الموجودة (مثل تحديد الهوية بالشـــبكية والبصـــمات) لضـــمان التوصُّلِ إلى أنظمة آمنة (مثل الحواسيب أو المجالات الآمنة أو الأسلحة)، وتحديدِ هوية المجرمين بواسطة الحمض النووي الذي يُترك في مسرح الجريمـــة، وتحديـــدِ أصل الأشياءِ من الفنون الجميلة. وسيكونُ من شأن تحديد الهويـــة وراثيـــا أن يُصبحَ أداةً شائعةً أكثر في عملياتِ الاختطاف وتحديدِ الأبوَّة وحالات الغـــش. وقد تساعدُ المجسَّاتُ الحيوية (بعضها مُهندسة وراثيا) أيضا في الكشـــف عـــن تهديدات الحرب البيولوجية مُحَسِّنةً بذلك اختبارَ نوعيةِ الغذاء والماء، والمراقبـــةَ المستمرة للصحة، وتحاليلَ المخابرِ الطبية. وهذه القدراتُ يمكن أن تُغيِّر بصورة

جوهريةٍ الطريقةَ التي تُؤدَّى بها الخدماتُ الصحية، وذلك بالتحسينِ الكبير في تشخيصِ المرض وفَهْم الاستعداداتِ وتحسينِ قُدراتِ التحكُّم.

وقد تكونُ هذه الخرطنةُ محدودةً بصعوبات تقنيةٍ في فكِّ رموز بعض الأجزاء الوراثية وفي فهم انعكاسات الشفرة الوراثية. ويمكنُ أن تَفُكَّ تكنولوجيتُنا الحاليةُ رموزَ كلِّ السلسلة الوراثية البشريةِ تقريبا، ولكن بعض الأخطاء تبقى مُشْكِلةً ما دامت هناك حاجةٌ إلى بذل جُهودٍ جبارة لفكّ رموزِ الكميةِ القليلةِ من السلاسل الباقية.[1] والأمرُ الأكثرُ أهمية هو أنه رغم وجود علاقةٍ قويةٍ بين وظيفةِ الجهاز وتركيبه الوراثي إلا أنه لا تزال لدينا فَجوات كبيرةٌ في فهم الخطواتِ الوسيطةِ في النسخ وتحويل المادة الوراثية، وتعديلِ المتجازئات، والتنشيط، والوظيفةِ المباشرة، وتأثيرِ هذه الوظيفةِ في أنظمة أوسعَ في الكائن. ويُعدُّ علمُ وظائفِ البروتينات والمورِّثات الدفعَ التكنولوجي الكبيرَ التالي بَعد فكِّ رموزِ الشفرة الوراثية. ويمكنُ أن يَعتمِدَ التقدُّم على التطوراتِ في المعلوماتية الحيوية ومزجِ الشفرةِ الوراثية والتسلسلِ (القريب من البرمجة الهرمية في لغات الحاسوب) وتكنولوجياتِ المعلومات الأخرى ذات الصلة.

---

1 - نُشر مشروع الجينوم البشري (The Human Genome Project) و"سيليرا جينوميكس" (Celera Genomics)مشاريع عن الجينوم البشري (IHGSC, 2001; Venter et al., 2001 [61, 64]). والمشاريع قيد مزيد من الإثبات والتدقيق والتحيين لتفادي الأخطاء وانقطاع السلاسل والفجوات (لتفاصيل أكثر راجع، Pennisi, 2000, Baltimore, 2001, Aach et al., 2001, IHGSC, 2001, Galas, 2001, and Venter et al., 2001 [57, 59-61, 63, 64]). وتشمل صعوباتٌ تقنيةٌ إضافية في وضع السلسلة الجينومية سلاسلَ قصيرة ومتكررةً تعرقل التقنيات الحالية لمعالجة الحمض النووي إلى جانب عقبات ممكنة للبكتيريا تمنع النسخ الدقيق لبعض أجزاء الحمض النووي (Eisen, 2000; Carrington, 2000 [55, 56]).

ورغم التفاؤلِ الحالي فإن عددا من المشكلاتِ والعقباتِ التقنيةِ يمكنُ أن يُقلّـــل من تَقدُّم علمِ الجينوم بحلول عام 2015. و يمكن أن يُشكّل الفهمُ غير التـــام لتشـــفيرِ السلسلةِ، وتحويلِ المادة الوراثية، وتعديلُ المتجازئات، والتنشيطُ، والوظائفُ الناتجـــةُ، عقباتٍ تكنولوجيةً أمامَ تحقيقِ نجاحاتٍ هندسية واسعة. والحقوقُ الكـــبيرةُ للملكيـــة الواردةُ على امتلاكِ الشفرة الوراثية قد تُبطِئ البحثَ، وفي نهاية المطافِ فوائدَ فكّها.

وفي الطرف القصيّ الآخر قد يُقلّص عدمُ القدرةِ على ضـــمانِ بـــراءاتِ الاختراع من جهودِ التمويل التجاري ومن ثم يُبطّئ البحث والفوائد الناتجة.

وبالإضافة إلى ذلكَ فإنَّ الاستثماراتِ في التكنولوجيا الحيويةِ كانت دوريةً في الماضي. والنتيجةُ أن التطوراتِ في البحث والتطوير يمكنُ أن تَندفِع، لاســـيما في المجالات التي يكونُ فيها الوقتُ للتســـويق (ومـــن ثم الوقـــت للعـــودة إلى الاستثمار) طويلا.

2. الاستنساخ

من شأن الإنتاجِ الاصطناعي للكائناتِ المتماثلةِ وراثيا بواسطةِ الاستنســـاخِ أن يكون هاما جدا للمحاصيلِ والمواشي المهندَسَة وحيواناتِ البحث.

وقد يُصبحُ الاستنساخُ الآليةَ السائدةَ من أجل التسويق السريع للسِّمات المعالجَة هندسيا، ولاستمرار صيانة هذه السِّمات، ولإنتاج كائناتٍ مماثلة للبحث والإنتاج. ويمكن أن يستمر البحثُ في الاستنساخ البشري في أجزاء من العـــالَم غير خاضعةٍ للقانون مع نجاحٍ ممكنٍ بحلـــول 2015، ولكـــنَّ القلـــقَ الأخلاقـــيَّ والصحيَّ سيحُدُّ من الاستنساخِ البشري واسعِ النطاقِ في أجزاء العالَم الخاضعةِ

للقانون. وقد يبدأ الأفرادُ أيضا أو حتى بعضُ الدول الاستنساخَ البشريَّ أو الحيواني، ولكنْ ليس واضحا ما يمكنُ أن يستفيدوه من هذه الجهود.

والاستنساخ، لاسيما الاستنساخُ البشري، أدَّى أصلا إلى جدالٍ عبر العالم (Eiseman, 1999 [73]). وتشملُ الانشغالاتُ المسائلَ الأخلاقيةَ، واحتمالاتِ الخطأ والعيوبِ الطبية في المستَنسَخين، ومسائلَ ملكية مورِّثاتٍ وجينومات جيدة، وتحسينَ النسل. ورغمَ أن بعضَ محاولاتِ الاستنساخ البشري ممكنةٌ بحلول 2015 إلا أن القيودَ القانونيةَ والرأي العام قد تُحدُّ من مداه. غير أنه قد تحاولُ جماعاتٌ متطرفةٌ الاستنساخَ البشري مُستَبِقةً القيودَ التشريعيةَ أو قد تحاولُ الاستنساخَ في بلدانٍ لا تخضعُ للقانون. راجع على سبيل المثال برنامجَ الاستنساخِ البشري الذي أعلنته "كلون إيد" Clonaid (Weiss, 2000 [78]).

ورغمَ أن آراء الخبراءِ تختلفُ فيما يتعلقُ بالإمكانية الحاليةِ للاستنساخِ البشري، إلا أنه ستكونُ هناك على الأقلّ بعضُ العقباتِ التقنيةِ في حاجةٍ إلى حلٍّ من أجلِ الاستخدام السليم وواسع النطاق "فمحاولاتُ استنساخِ أثداءٍ من خلايا جسديةٍ فرديةٍ تعجُّ بعيوبٍ تكوينيةٍ ومخاطرَ قاتلة كثيرة" (Pennisi and Vogel, 2000; Matzke and Matzke, 2000 [75, 77]). وحتى النباتاتُ المستنسخةُ تنطوي على "عيوب تكوينية ومورفولوجية" (Matzke and Matzke, 2000 [77]). وسيكون البحثُ في حاجةٍ إلى معالجةِ هذه العيوبِ أو على الأقلّ تخفيفِ تداعياتها. ومع ذلك يَعتقدُ البعضُ أن الاستنساخَ البشري قد يُستكملُ عمَّا قريبٍ إذا ما قَبِلت المنظمةُ التي تُجري البحثَ معدَّل الخطر القاتل المرتفع للجنين (Weiss, 2000 [78]) وإمكانيةَ توليد عيوب خلقية.

3. الكائنات المعدَّلة وراثيا

إلى جانبِ خرطنةِ الشفرة الوراثية واستنساخِ النسخِ الصحيحةِ للكائناتِ والكائناتِ المجهرية يمكنُ لتكنولوجيي البيولوجيا أيضا العملُ على الشفرة الوراثية للنباتات والحيوانات، ومن شأنهم أن يواصلوا الجهودَ لهندسةِ بعضِ الخصائصِ في أشكالِ الحياة، وذلك لأسبابٍ عديدة ([17] Long, 1998). وسيكونُ بالإمكان الاستمرارُ في توسيعِ التقنياتِ التقليديةِ للعملِ على المورِّثات (مثل التبويغ المتقاطع، والتكاثر الانتقائي، والمعالجة بالإشعاعات) بالإدخالِ المباشر للمورِّثات ومَحْوِها وتَعديلِها بواسطةِ التقنيات المخبرية. وتشملُ الأهدافُ المحاصيلَ الزراعيةَ ونباتاتِ الإنتاجِ والحشرات والحيوانات.

ويمكنُ أن يتم نقلُ الخصائص المرغوبةِ بطريقة وراثيةٍ إلى الأغذيةِ المهندَسةِ وراثيا، وهو ما يمكنُ أن يُؤدِّي إلى: مذاق محسَّن؛ ولحومٍ نحيفة جدا بقليل من الشحوم "السيئة" والأملاحِ والموادِّ الكيميائية؛ ومقاومةِ الأمراض؛ ومغذياتٍ مُدْخَلة بصورة اصطناعية (ما يُسمَّى المغذّيات الصيدلانية). ويمكنُ هندَسةُ الكائناتِ المعدَّلة وراثيا لتحسين قوتها المادية ومدِّ مجال الحياة ومعدلها (مثلا، طماطم فلافر سافر Flavr-Savr™)[1]، ولتسمحَ بمبيداتِ الأعشاب، ولتنمو بسرعةٍ أكبرَ أو في بيئاتٍ غير منتِجة سابقا (مثلا، في تربة ذات مُلوحة عالية وبماء أقل أو في مُناخات باردة).

وإلى جانبِ المقاومةِ الشاملة للمرضِ فإنَّ إنتاجَ مبيداتِ الحشراتِ في الجسمِ الحي تم بيانُه أصلا (مثلا، في الذرة) ويمكنُ أن يكونَ له تأثيرٌ كبيرٌ في

---

1 – علامة فلافر سافر Flavr-Savr تملكها شركة Calgene, Inc.

إنتاج المبيداتِ وتطبيقِها وتنظيمِها ومراقبتِها، وبإطلاقٍ محدَّدِ الهدف. وبالمثـــل، فإنه يمكنُ هندسةُ الكائناتِ لإنتاج أدويةٍ أو إعطائِهـــا للـــتحكُّم في الأمـــراض البشرية. فغُددُ أثداءِ البقر يمكنُ أن تهندَسَ لإنتاجِ مكوِّناتٍ عضويةٍ صـــيدلانية وعلاجية، ويمكنُ هندَسةُ كائناتٍ أخرى لإنتاجِ العلاجـــات أو تقـــديمِ الـــدواء (مثلا، ما يسمى "وصفة الموزة"). وإذا ما قبِلتها الفئةُ المعالجَةُ فإنَّ آليات الإنتاجِ والتقديمِ المحسَّنة هذه يمكنُ أن توَسِّع الإنتاجَ العالمي وتُوفِّرَ هـــذه العلاجـــاتِ، متيحةً تناولَه السهلَ عن طريق الفم.

وبالإضافة إلى إنتاج الغذاءِ يمكنُ هندسةُ النباتاتِ لتحسينِ النموِّ أو تغييرِ تركيبتِها أو لتوليدِ منتجاتٍ جديدةٍ بصورة اصطناعية، إذ يمكنُ على سبيل المثال هَندسةُ الأشجارِ لتحقيقِ أقصى قَدْرٍ من نموِّها وتحديدِ بنيتِها حسب الطلب مـــن أجل تطبيقاتٍ خاصةٍ مثلِ منشورِ الخشبِ، أو لُباب الشجرِ الموجَّه للـــورق، أو لإنتاج الثمارِ، أو لإزاحة الفحمِ (من أجل تقليص الاحتباس الحراري العـــالمي) بينما يتمُّ تقليصُ ضياعِ المنتجاتِ الجانبية. ويمكنُ هَندســـةُ النباتـــاتِ لإنتـــاج متماثراتٍ حيويةٍ (لدائن) لتطبيقاتٍ هندسيةٍ ذات تلويثٍ أقلَّ ودون اســـتخدامِ احتياطات النفط، ويمكنُ هندسةُ نباتاتِ الوقودِ الحيوي لتقليل المكوِّنات الملوِّثـــة إلى أدنى حدٍّ بينما يتمُّ إنتاجُ المواد الإضافية التي يحتاج إليها التجهيزُ المستهلِك.

لقد كانت الهندسةُ الوراثيةُ لكائناتٍ دقيقةٍ أمرا مقبولا ومستخدَما منـــذ مدة طويلة. فقد جرى على سبيل المثالِ استخدامُ بكتيريـــا الأمعـــاءِ لإنتـــاج الأنسولين بكمياتٍ كبيرة. ويمكن أن تحدثَ هندســـةٌ لخصـــائصَ بكتيريـــةٍ في النباتات والحيوانات لمقاومة الأمراض.

ويمكنُ أن تشمل العمليات الأخرى على الحيوانات تعديلَ الحشراتِ لإدراج السلوكات المرغوبةِ أو للوَسْم (بما في ذلك وَسْم الأجسامِ المعدَّلة وراثيا)، أو للحيلولة دون أخذِ الخصائصِ الماديةِ من أجل التحكُّمِ في الأوبئةِ في بيئاتٍ بعينها لتحسينِ الزراعةِ والتحكُّم في الأمراض.

والبحثُ في تعديلِ المورِّثات البشريةِ بدأ أصلا ومن شأنه أن يستمرَّ سعيا إلى إيجادِ حلولٍ للأمراض الوراثية. ورغمَ أنَّ الصعوباتِ الأخيرةَ أَبطأت البحثَ في العلاجِ الوراثي إلا أنَّ من شأنه أن يواصلَ سَعيَه إلى إيجادِ الآليات المفيدةِ لعلاج العيوبِ الوراثية أو تصميمِ العمليات الفيزيائية مثلَ إنتاجِ البروتين المفيدِ أو آلياتِ التحكُّم في السرطان. وقد تُحسِّن التطوراتُ في الخرطنة الوراثيةِ فَهمَنا تقنياتِ المعالجةِ وانتقاءَنا إياها وتتيحُ طفراتٍ ذات فوائدَ صحيةٍ كبيرة.

وسيكونُ استنساخِ البعضِّ من البشر ممكنا بحلول 2015، ولكنَّ القيود القانونيةَ والرأيَ العام قد يَحُدُّ من مداه الفعلي. ومن الممكنِ أن يكونَ هناك تحكُّمٌ في التعديلاتِ البشرية (مثل تعديلات تحسينِ النسلِ القائمةِ على الاستنساخ) لأغراض لا علاقةَ لها بالمرض، غيرَ أنه يمكنُ أن تسمحَ التكنولوجيا بإدخالِ تعديلاتٍ جينية بواسطةِ تقنياتٍ مخبريةٍ أو آلياتٍ أخرى، وذلك بسببِ ظروفٍ وراثيةٍ (مثلا: فقر الدم المِنْجَلي).

وللكائنات المعدَّلة وراثيا أيضا تأثيرٌ كبيرٌ في المجتمع العلمي باعتبارها تكنولوجيا مُمَكِّنة. والحيوانات المهندَسَة وراثيا (حيوانات بسلاسلِ حمضٍ نووي منتقاةٍ منتزَعة من جينومها) لا تمنحُ العلماءَ أداةً أخرى لدراسة تأثير السلسلةِ المنتزَعة من الحيوان فحسب، بل إنها تسمحُ بالتحليل اللاحقِ لتَفاعُلِ تلك

الوظائفِ أو المكوِّنات بالنظام الكلي للحيوان. ورغم أن عملياتِ الهندسةِ الوراثية للحيوانات ليست دوما تامةً إلا أنها تُقدِّم أداةً هامـــة أخـــرى لتأكيـــد أو نفـــي الفرضياتِ المتعلقةِ بالكائنات المعقَّدة.

4. مسائل وانعكاسات أوسع

لقد سبقَ للقدرات الحالية في علم الجينوم أن أتاحت فرصا، ولكنها أدَّت إلى عدد من المشكلات. وبما أنه تمَّ فكُّ رموزُ كائناتٍ أكثرَ وتمَّ اكتشافُ الانعكاساتِ الوظيفيةِ للمورِّثات فإن من شأنِ الانشغال بحقوقِ الملكية والحياةِ الخاصة فيما يتعلقُ بالسلاسل أن يَستمر.

والقدرةُ على خرطنة الحمض النووي لفردٍ ما تثيرُ أصلا انشغالاتٍ بشأنِ الحياةِ الخاصة والمراقبةِ المفرطة. وتشمل الأمثلةُ قواعدَ بياناتِ توقيعاتِ الحمـــض النووي للاستخدام في التحريات الجنائية، والاستخدامَ الممكـــنَ للاســـتعداداتِ الصحية المستندةِ إلى المورِّثات من شركاتِ التأمينِ أو المستَخدمين لرفضِ تغطيـــةِ التأمين أو للتمييز. وقد يثيرُ الأمرُ الأخيرُ مشكلاتٍ تتعلقُ بسياسات الخرطنـــة المقبولةِ وغيرِ المقبولةِ للتأمين أو التوظيف. وتزدادُ هذه المسألةُ سوءا لأن الآلياتِ الحقيقيةَ لعلاقة الوظيفةِ بالجينوم، والتي تؤدِّي إلى العديـــدِ مـــن الاســـتعدادات المرَضيَّة، ليست مفهومةً جيدا.

ويمكنُ أيضا أن تَثورَ مشكلاتٌ إذا ما تمَّ اكتشافُ قاعدةٍ وراثيـــة قويـــةٍ لقُدرة الإنسانِ الجسدية أو المعرفية. في الجانب الإيجابي يمكنُ أن يَســـمح فَهـــمُ استعدادِ فردٍ ما لبعضِ القُدرات (أو الحدود) بتخصـــيص بـــرامجَ تعليميـــةٍ أو استدراكيةٍ تساعِدُ في تعويضِ الميول الوراثية، لاسيما في السنواتِ الأولى عندما

يكونُ من الممكن تحقيقُ أقصى قدْر من تأثيرها. وفي الجانب السلبي، يمكنُ أن تقومُ جماعاتٌ باستخدام هذه التحليلاتِ في تبرير التمييزِ ضدَّ شعوبٍ بعينها (رغم حقيقةِ الاعتقادِ حاليا، على سبيل المثال، أن اختلافات التوزيعِ العرقي للقدرة المعرفيةِ أوسعُ من متوسط الاختلافات العرقية)، مُعقّدَة بذلك التراعاتِ الاجتماعيةَ والدولية.

ورغم أن الصورَ الوراثيةَ للنباتات تم تعديلُها طيلة قرونٍ باستخدامِ تقنياتٍ تقليديةٍ إلا أنَّ الأسئلة المتعلقةَ بسلامة الأغذية المعدَّلة وراثيا أدَّت إلى انشغالاتٍ عالميةٍ في المملكة المتحدة وأوروبا مرغمةً شركاتِ التكنولوجيا الحيويةِ على القيام بحملةٍ للقولِ بسلامةِ التكنولوجيا وتطبيقاتها. وقال البعضُ إن الهندسة الوراثيةَ سليمةٌ فعلا كالتقنياتِ التركيبية التقليدية أو أسلمُ منها، مثل البذورِ المعالَجة بالإشعاعات بما أنْ هناكَ دوما معلوماتٍ لدعمٍ قويٍّ تتعلقُ بوظيفةِ السلاسلِ المُدخَلة (راجع على سبيل المثال: Somerville, 2000 [70]).

وأُرغمت الحكوماتُ على الإدلاء بدَلْوِها في المسألة، وهو ما أدى إلى بذلِ جهودٍ في التعليم، واقتراحاتٍ بوضعِ علاماتٍ على الأغذية، ومناقشاتٍ تجاريةً دولية حامية بين الولايات المتحدة وأوروبا تتعلقُ باستيراد الكائنات المعدَّلة وراثيا وبذورها. وبما أنَّ التعديلَ الوراثي أصبح أكثرَ شيوعا فقد يُصبح الأمرُ أكثرَ صعوبةً لتعليمِ الكائنات المعدَّلة وراثيا وفَصلها، وهو ما يؤدِّي إلى حتميةِ حلِّ المسألةِ المتعلقةِ بالمدى الذي ينبغي تَطبيقُ التكنولوجيا عنده وفيما إذا كانَ الاحتفاظُ بأسواقٍ منفصلةٍ في اقتصاد عالمي أمرا ممكنا. وبدأت تظهر لهذا النقاشِ تأثيراتٌ عالميةٌ على الشعوب وفي بلدان أخرى أخذت تُلاحظ النقاشاتِ الحاميةَ في المملكة المتحدة وأوروبا.

لقد شبَّه البعضُ الحركةَ المناهضةَ للتكنولوجيا الحيوية بالحركة المناهضة للطاقة النوويةِ في المدى والتكتيك رغم أنه من شأن التكلفةِ المنخفضةِ والتوفُّرِ الكبيرِ للتجهيز الجينومي الأساسي والدرايةِ أن يَسمحَ عمليا لكلِّ بلدٍ أو شركةٍ صغيرةٍ أو حتى الفرد بالمشاركة في الهندسة الوراثية (Hapgood, 2000 [40]). وهذا التوفُّر الواسعُ للتكنولوجيا والتكلفةُ المنخفضةُ للنفاذ يمكنُ أن يجعلَ التحكُّمَ في انتشار تكنولوجيا الجينوم واستخدامِها أمرا ممكِنا لأيِّ حركةٍ أو حكومة. وكأقصى حدٍّ، يمكنُ في نهاية المطاف أن تدفعَ ضغوطُ الاحتجاج الناجحةُ على شركاتِ التكنولوجيا الحيويةِ الكبرى، والتوفُّرُ الواسع للتكنولوجيا، إلى هندَسةٍ جينومية "سرية" لدى جماعاتٍ خارجَ هذه الضغوط وخارجَ المراقبة القانونيةِ التي تُساعِدُ في ضمان الاستخدامات الآمنةِ والأخلاقية. ولسخريةِ القدر أن هذا الأمرَ يمكنُ أن يُيسِّر المشكلاتِ العويصةَ التي تأمُلُ الحركةُ المناهضة للتكنولوجيا الحيوية الحيلولةَ دونها.

والاستنساخُ والتعديلُ الوراثي يؤديان أيضا إلى انشغالاتٍ تتعلقُ بالتنوع البيولوجي. فقد زاد تعميمُ المحاصيل والمواشي أصلا في تعرُّضِ إمداداتِ الغذاء للأمراضِ التي يمكنُ أن تَقضي على مجالاتٍ أوسعَ من الإنتاج. ويمكنُ أن يزيدَ التعديلُ الوراثي قُدرتَنا على هندسةِ ردودٍ على هذه المخاطر، ولكنْ يبقى أنَّ الخسائر قد يتم الشعور بها في سنة الإنتاجِ ما لم يتمَّ تطويرُ دفاعاتٍ واسعة.

وبالإضافة إلى سلامة الغذاءِ فإن القدرةَ على تعديلِ الكائنات الحيوية يحملُ إمكانيةَ هندسةِ أسلحة بيولوجيةٍ تتجاوزُ الإجراءاتِ المضادةَ الحاليةَ أو المبرمجة. ومن جهة أخرى يمكن أن يساعِد علمُ الجينوم في الدفاع في الحرب البيولوجية (مثلا بفهمٍ وتحكُّمٍ محسَّنَين للوظيفة البيولوجية في كل من العوامل المَرَضيّة

جوهريةٍ الطريقةَ التي تُؤدَّى بها الخدماتُ الصحية، وذلك بالتحسينِ الكبير في تشخيصِ المرض وفَهْم الاستعداداتِ وتحسينِ قُدراتِ التحكُّم.

وقد تكونُ هذه الخرطنةُ محدودةً بصعوبات تقنيةٍ في فكِّ رموز بعض الأجزاء الوراثية وفي فهم انعكاسات الشفرة الوراثية. ويمكنُ أن تَفُكَّ تكنولوجيتُنا الحاليةُ رموزَ كلِّ السلسلة الوراثية البشريةِ تقريبا، ولكن بعض الأخطاء تبقى مُشْكِلةً ما دامت هناك حاجةٌ إلى بذل جُهودٍ جبارة لفكّ رموزِ الكميةِ القليلةِ من السلاسل الباقية.[1] والأمرُ الأكثرُ أهمية هو أنه رغم وجود علاقةٍ قويةٍ بين وظيفةِ الجهاز وتركيبه الوراثي إلا أنه لا تزال لدينا فَجوات كبيرةٌ في فهم الخطواتِ الوسيطةِ في النسخ وتحويل المادة الوراثية، وتعديلِ المتجازئات، والتنشيط، والوظيفةِ المباشرة، وتأثيرِ هذه الوظيفةِ في أنظمة أوسعَ في الكائن. ويُعدُّ علمُ وظائفِ البروتينات والمورِّثات الدفعَ التكنولوجي الكبيرَ التالي بَعد فكِّ رموزِ الشفرة الوراثية. ويمكنُ أن يَعتمِدَ التقدُّم على التطوراتِ في المعلوماتية الحيوية ومزجِ الشفرةِ الوراثية والتسلسلِ (القريب من البرمجة الهرمية في لغات الحاسوب) وتكنولوجياتِ المعلومات الأخرى ذات الصلة.

---

1 - نُشر مشروع الجينوم البشري (The Human Genome Project) و"سيليرا جينوميكس" (Celera Genomics)مشاريع عن الجينوم البشري (IHGSC, 2001; Venter et al., 2001 [61, 64]). والمشاريع قيد مزيد من الإثبات والتدقيق والتحيين لتفادي الأخطاء وانقطاع السلاسل والفجوات (لتفاصيل أكثر راجع، Pennisi, 2000, Baltimore, 2001, Aach et al., 2001, IHGSC, 2001, Galas, 2001, and Venter et al., 2001 [57, 59-61, 63, 64]). وتشمل صعوباتٌ تقنيةٌ إضافية في وضع السلسلة الجينومية سلاسلَ قصيرة ومتكررةً تعرقل التقنيات الحالية لمعالجة الحمض النووي إلى جانب عقبات ممكنة للبكتيريا تمنع النسخ الدقيق لبعض أجزاء الحمض النووي (Eisen, 2000; Carrington, 2000 [55, 56]).

ورغم التفاؤلِ الحالي فإن عددا من المشكلاتِ والعقباتِ التقنيةِ يمكنُ أن يُقلّـــل من تَقدُّم علمِ الجينوم بحلول عام 2015. و يمكن أن يُشكّل الفهمُ غير التـــام لتشـــفيرِ السلسلةِ، وتحويلِ المادة الوراثية، وتعديلُ المتجازئات، والتنشيطُ، والوظائفُ الناتجـــةُ، عقباتٍ تكنولوجيةً أمامَ تحقيقِ نجاحاتٍ هندسية واسعة. والحقوقُ الكـــبيرةُ للملكيـــة الواردةُ على امتلاكِ الشفرة الوراثية قد تُبطِئ البحثَ، وفي نهاية المطافِ فوائدَ فكّها.

وفي الطرف القصيّ الآخر قد يُقلّص عدمُ القدرةِ على ضـــمانِ بـــراءاتِ الاختراع من جهودِ التمويل التجاري ومن ثم يُبطّئ البحث والفوائد الناتجة.

وبالإضافة إلى ذلكَ فإنَّ الاستثماراتِ في التكنولوجيا الحيويةِ كانت دوريةً في الماضي. والنتيجةُ أن التطوراتِ في البحث والتطوير يمكنُ أن تَندفِع، لاســـيما في المجالات التي يكونُ فيها الوقتُ للتســـويق (ومـــن ثم الوقـــت للعـــودة إلى الاستثمار) طويلا.

2. الاستنساخ

من شأن الإنتاجِ الاصطناعي للكائناتِ المتماثلةِ وراثيا بواسطةِ الاستنســـاخِ أن يكون هاما جدا للمحاصيلِ والمواشي المهندَسَة وحيواناتِ البحث.

وقد يُصبحُ الاستنساخُ الآليةَ السائدةَ من أجل التسويق السريع للسِّمات المعالجَة هندسيا، ولاستمرار صيانة هذه السِّمات، ولإنتاج كائناتٍ مماثلة للبحث والإنتاج. ويمكن أن يستمر البحثُ في الاستنساخ البشري في أجزاء من العـــالَم غير خاضعةٍ للقانون مع نجاحٍ ممكنٍ بحلـــول 2015، ولكـــنَّ القلـــقَ الأخلاقـــيَّ والصحيَّ سيحُدُّ من الاستنساخِ البشري واسعِ النطاقِ في أجزاء العالَم الخاضعةِ

للقانون. وقد يبدأ الأفرادُ أيضا أو حتى بعضُ الدول الاستنساخَ البشريَّ أو الحيواني، ولكنْ ليس واضحا ما يمكنُ أن يستفيدوه من هذه الجهود.

والاستنساخ، لاسيما الاستنساخُ البشري، أدَّى أصلا إلى جدالٍ عبر العالم (Eiseman, 1999 [73]). وتشملُ الانشغالاتُ المسائلَ الأخلاقيةَ، واحتمالاتِ الخطأ والعيوبِ الطبية في المستَنسَخين، ومسائلَ ملكية مورِّثاتٍ وجينومات جيدة، وتحسينَ النسل. ورغمَ أن بعضَ محاولاتِ الاستنساخ البشري ممكنةٌ بحلول 2015 إلا أن القيودَ القانونيةَ والرأي العام قد تُحدُّ من مداه. غير أنه قد تحاولُ جماعاتٌ متطرفةٌ الاستنساخَ البشري مُستَبِقةً القيودَ التشريعيةَ أو قد تحاولُ الاستنساخَ في بلدانٍ لا تخضعُ للقانون. راجع على سبيل المثال برنامجَ الاستنساخِ البشري الذي أعلنته "كلون إيد" Clonaid (Weiss, 2000 [78]).

ورغمَ أن آراء الخبراءِ تختلفُ فيما يتعلقُ بالإمكانية الحاليةِ للاستنساخِ البشري، إلا أنه ستكونُ هناك على الأقلّ بعضُ العقباتِ التقنيةِ في حاجةٍ إلى حلٍّ من أجلِ الاستخدام السليم وواسع النطاق "فمحاولاتُ استنساخِ أثداءٍ من خلايا جسديةٍ فرديةٍ تعجُّ بعيوبٍ تكوينيةٍ ومخاطرَ قاتلة كثيرة" (Pennisi and Vogel, 2000; Matzke and Matzke, 2000 [75, 77]). وحتى النباتاتُ المستنسخةُ تنطوي على "عيوب تكوينية ومورفولوجية" (Matzke and Matzke, 2000 [77]). وسيكون البحثُ في حاجةٍ إلى معالجةِ هذه العيوبِ أو على الأقلّ تخفيفِ تداعياتها. ومع ذلك يَعتقدُ البعضُ أن الاستنساخَ البشري قد يُستكملُ عمَّا قريبٍ إذا ما قَبِلت المنظمةُ التي تُجري البحثَ معدَّل الخطر القاتل المرتفع للجنين (Weiss, 2000 [78]) وإمكانيةَ توليد عيوب خلقية.

3. الكائنات المعدَّلة وراثيا

إلى جانبِ خرطنةِ الشفرة الوراثية واستنساخِ النسخِ الصحيحةِ للكائناتِ والكائناتِ المجهرية يمكنُ لتكنولوجيي البيولوجيا أيضا العملُ على الشفرة الوراثية للنباتات والحيوانات، ومن شأنهم أن يواصلوا الجهودَ لهندسةِ بعضِ الخصائصِ في أشكالِ الحياة، وذلك لأسبابٍ عديدة ([17] Long, 1998). وسيكونُ بالإمكان الاستمرارُ في توسيعِ التقنياتِ التقليديةِ للعملِ على المورِّثات (مثل التبويغ المتقاطع، والتكاثر الانتقائي، والمعالجة بالإشعاعات) بالإدخالِ المباشر للمورِّثات ومَحْوِها وتَعديلِها بواسطةِ التقنيات المخبرية. وتشملُ الأهدافُ المحاصيلَ الزراعيةَ ونباتاتِ الإنتاجِ والحشرات والحيوانات.

ويمكنُ أن يتم نقلُ الخصائص المرغوبةِ بطريقة وراثيةٍ إلى الأغذيةِ المهندَسةِ وراثيا، وهو ما يمكنُ أن يُؤدِّي إلى: مذاق محسَّن؛ ولحومٍ نحيفة جدا بقليل من الشحوم "السيئة" والأملاحِ والموادِّ الكيميائية؛ ومقاومةِ الأمراض؛ ومغذياتٍ مُدْخَلة بصورة اصطناعية (ما يُسمَّى المغذّيات الصيدلانية). ويمكنُ هندَسةُ الكائناتِ المعدَّلة وراثيا لتحسين قوتها المادية ومدِّ مجال الحياة ومعدلها (مثلا، طماطم فلافر سافر Flavr-Savr™)[1]، ولتسمحَ بمبيداتِ الأعشاب، ولتنمو بسرعةٍ أكبرَ أو في بيئاتٍ غير منتِجة سابقا (مثلا، في تربة ذات مُلوحة عالية وبماء أقل أو في مُناخات باردة).

وإلى جانبِ المقاومةِ الشاملة للمرضِ فإنَّ إنتاجَ مبيداتِ الحشراتِ في الجسمِ الحي تم بيانُه أصلا (مثلا، في الذرة) ويمكنُ أن يكونَ له تأثيرٌ كبيرٌ في

---

1 – علامة فلافر سافر Flavr-Savr تملكها شركة Calgene, Inc.

إنتاج المبيداتِ وتطبيقِها وتنظيمِها ومراقبتِها، وبإطلاقٍ محدَّدِ الهدف. وبالمثـــل، فإنه يمكنُ هندسةُ الكائناتِ لإنتاج أدويةٍ أو إعطائِهـــا للـــتحكُّم في الأمـــراض البشرية. فغُددُ أثداءِ البقر يمكنُ أن تهندَسَ لإنتاجِ مكوِّناتٍ عضويةٍ صـــيدلانية وعلاجية، ويمكنُ هندَسةُ كائناتٍ أخرى لإنتاجِ العلاجـــات أو تقـــديمِ الـــدواء (مثلا، ما يسمى "وصفة الموزة"). وإذا ما قبِلتها الفئةُ المعالجَةُ فإنَّ آليات الإنتاجِ والتقديمِ المحسَّنة هذه يمكنُ أن توَسِّع الإنتاجَ العالمي وتُوفِّرَ هـــذه العلاجـــاتِ، متيحةً تناولَه السهلَ عن طريق الفم.

وبالإضافة إلى إنتاج الغذاءِ يمكنُ هندسةُ النباتاتِ لتحسينِ النموِّ أو تغييرِ تركيبتِها أو لتوليدِ منتجاتٍ جديدةٍ بصورة اصطناعية، إذ يمكنُ على سبيل المثال هَندسةُ الأشجارِ لتحقيقِ أقصى قَدْرٍ من نموِّها وتحديدِ بنيتِها حسب الطلب مـــن أجل تطبيقاتٍ خاصةٍ مثلِ منشورِ الخشبِ، أو لُباب الشجرِ الموجَّه للـــورق، أو لإنتاج الثمارِ، أو لإزاحة الفحمِ (من أجل تقليص الاحتباس الحراري العـــالمي) بينما يتمُّ تقليصُ ضياعِ المنتجاتِ الجانبية. ويمكنُ هَندســـةُ النباتـــاتِ لإنتـــاج متماثراتٍ حيويةٍ (لدائن) لتطبيقاتٍ هندسيةٍ ذات تلويثٍ أقلَّ ودون اســـتخدامِ احتياطات النفط، ويمكنُ هندسةُ نباتاتِ الوقودِ الحيوي لتقليل المكوِّنات الملوِّثـــة إلى أدنى حدٍّ بينما يتمُّ إنتاجُ المواد الإضافية التي يحتاج إليها التجهيزُ المستهلِك.

لقد كانت الهندسةُ الوراثيةُ لكائناتٍ دقيقةٍ أمرا مقبولا ومستخدَما منـــذ مدة طويلة. فقد جرى على سبيل المثالِ استخدامُ بكتيريـــا الأمعـــاءِ لإنتـــاج الأنسولين بكمياتٍ كبيرة. ويمكن أن تحدثَ هندســـةٌ لخصـــائصَ بكتيريـــةٍ في النباتات والحيوانات لمقاومة الأمراض.

ويمكنُ أن تشمل العمليات الأخرى على الحيوانات تعديلَ الحشراتِ لإدراج السلوكات المرغوبةِ أو للوَسْم (بما في ذلك وَسْم الأجسامِ المعدَّلة وراثيا)، أو للحيلولة دون أخذِ الخصائصِ الماديةِ من أجل التحكُّمِ في الأوبئةِ في بيئاتٍ بعينها لتحسينِ الزراعةِ والتحكُّم في الأمراض.

والبحثُ في تعديلِ المورِّثات البشريةِ بدأ أصلا ومن شأنه أن يستمرَّ سعيا إلى إيجادِ حلولٍ للأمراض الوراثية. ورغمَ أنَّ الصعوباتِ الأخيرةَ أَبطأت البحثَ في العلاجِ الوراثي إلا أنَّ من شأنه أن يواصلَ سَعيَه إلى إيجادِ الآليات المفيدةِ لعلاج العيوبِ الوراثية أو تصميمِ العمليات الفيزيائية مثلَ إنتاجِ البروتين المفيدِ أو آلياتِ التحكُّم في السرطان. وقد تُحسِّن التطوراتُ في الخرطنة الوراثيةِ فَهمَنا تقنياتِ المعالجةِ وانتقاءَنا إياها وتتيحُ طفراتٍ ذات فوائدَ صحيةٍ كبيرة.

وسيكونُ استنساخِ البعضِّ من البشر ممكنا بحلول 2015، ولكنَّ القيود القانونيةَ والرأيَ العام قد يَحُدُّ من مداه الفعلي. ومن الممكنِ أن يكونَ هناك تحكُّمٌ في التعديلاتِ البشرية (مثل تعديلات تحسينِ النسلِ القائمةِ على الاستنساخ) لأغراض لا علاقةَ لها بالمرض، غيرَ أنه يمكنُ أن تسمحَ التكنولوجيا بإدخالِ تعديلاتٍ جينية بواسطةِ تقنياتٍ مخبريةٍ أو آلياتٍ أخرى، وذلك بسببِ ظروفٍ وراثيةٍ (مثلا: فقر الدم المِنْجَلي).

وللكائنات المعدَّلة وراثيا أيضا تأثيرٌ كبيرٌ في المجتمع العلمي باعتبارها تكنولوجيا مُمَكِّنة. والحيوانات المهندَسَة وراثيا (حيوانات بسلاسلِ حمضٍ نووي منتقاةٍ منتزَعة من جينومها) لا تمنحُ العلماءَ أداةً أخرى لدراسة تأثير السلسلةِ المنتزَعة من الحيوان فحسب، بل إنها تسمحُ بالتحليل اللاحقِ لتَفاعُلِ تلك

الوظائفِ أو المكوِّنات بالنظام الكلي للحيوان. ورغم أن عملياتِ الهندسةِ الوراثية للحيوانات ليست دوما تامةً إلا أنها تُقدِّم أداةً هامـــة أخـــرى لتأكيـــد أو نفـــي الفرضياتِ المتعلقةِ بالكائنات المعقَّدة.

4. مسائل وانعكاسات أوسع

لقد سبقَ للقدرات الحالية في علم الجينوم أن أتاحت فرصا، ولكنها أدَّت إلى عدد من المشكلات. وبما أنه تمَّ فكُّ رموزُ كائناتٍ أكثرَ وتمَّ اكتشافُ الانعكاساتِ الوظيفيةِ للمورِّثات فإن من شأنِ الانشغال بحقوقِ الملكية والحياةِ الخاصة فيما يتعلقُ بالسلاسل أن يَستمر.

والقدرةُ على خرطنة الحمض النووي لفردٍ ما تثيرُ أصلا انشغالاتٍ بشأنِ الحياةِ الخاصة والمراقبةِ المفرطة. وتشمل الأمثلةُ قواعدَ بياناتِ توقيعاتِ الحمـــض النووي للاستخدام في التحريات الجنائية، والاستخدامَ الممكـــنَ للاســـتعداداتِ الصحية المستندةِ إلى المورِّثات من شركاتِ التأمينِ أو المستَخدمين لرفضِ تغطيـــةِ التأمين أو للتمييز. وقد يثيرُ الأمرُ الأخيرُ مشكلاتٍ تتعلقُ بسياسات الخرطنـــة المقبولةِ وغيرِ المقبولةِ للتأمين أو التوظيف. وتزدادُ هذه المسألةُ سوءا لأن الآلياتِ الحقيقيةَ لعلاقة الوظيفةِ بالجينوم، والتي تؤدِّي إلى العديـــدِ مـــن الاســـتعدادات المرَضيَّة، ليست مفهومةً جيدا.

ويمكنُ أيضا أن تَثورَ مشكلاتٌ إذا ما تمَّ اكتشافُ قاعدةٍ وراثيـــة قويـــةٍ لقُدرة الإنسانِ الجسدية أو المعرفية. في الجانب الإيجابي يمكنُ أن يَســـمح فَهـــمُ استعدادِ فردٍ ما لبعضِ القُدرات (أو الحدود) بتخصـــيص بـــرامجَ تعليميـــةٍ أو استدراكيةٍ تساعِدُ في تعويضِ الميول الوراثية، لاسيما في السنواتِ الأولى عندما

يكونُ من الممكن تحقيقُ أقصى قدْر من تأثيرها. وفي الجانب السلبي، يمكنُ أن تقومُ جماعاتٌ باستخدام هذه التحليلاتِ في تبرير التمييزِ ضدَّ شعوبٍ بعينها (رغم حقيقةِ الاعتقادِ حاليا، على سبيل المثال، أن اختلافات التوزيعِ العرقي للقدرة المعرفيةِ أوسعُ من متوسط الاختلافات العرقية)، مُعقّدَة بذلك التراعاتِ الاجتماعيةَ والدولية.

ورغم أن الصورَ الوراثيةَ للنباتات تم تعديلُها طيلة قرونٍ باستخدامِ تقنياتٍ تقليديةٍ إلا أنَّ الأسئلة المتعلقةَ بسلامة الأغذية المعدَّلة وراثيا أدَّت إلى انشغالاتٍ عالميةٍ في المملكة المتحدة وأوروبا مرغمةً شركاتِ التكنولوجيا الحيويةِ على القيام بحملةٍ للقولِ بسلامةِ التكنولوجيا وتطبيقاتها. وقال البعضُ إن الهندسة الوراثيةَ سليمةٌ فعلا كالتقنياتِ التركيبية التقليدية أو أسلمُ منها، مثل البذورِ المعالَجة بالإشعاعات بما أنْ هناكَ دوما معلوماتٍ لدعمٍ قويٍّ تتعلقُ بوظيفةِ السلاسلِ المُدخَلة (راجع على سبيل المثال: Somerville, 2000 [70]).

وأُرغمت الحكوماتُ على الإدلاء بدَلْوِها في المسألة، وهو ما أدى إلى بذلِ جهودٍ في التعليم، واقتراحاتٍ بوضعِ علاماتٍ على الأغذية، ومناقشاتٍ تجاريةً دولية حامية بين الولايات المتحدة وأوروبا تتعلقُ باستيراد الكائنات المعدَّلة وراثيا وبذورها. وبما أنَّ التعديلَ الوراثي أصبح أكثرَ شيوعا فقد يُصبح الأمرُ أكثرَ صعوبةً لتعليمِ الكائنات المعدَّلة وراثيا وفَصلها، وهو ما يؤدِّي إلى حتميةِ حلِّ المسألةِ المتعلقةِ بالمدى الذي ينبغي تَطبيقُ التكنولوجيا عنده وفيما إذا كانَ الاحتفاظُ بأسواقٍ منفصلةٍ في اقتصاد عالمي أمرا ممكنا. وبدأت تظهر لهذا النقاشِ تأثيراتٌ عالميةٌ على الشعوب وفي بلدان أخرى أخذت تُلاحظ النقاشاتِ الحاميةَ في المملكة المتحدة وأوروبا.

لقد شبَّه البعضُ الحركةَ المناهضةَ للتكنولوجيا الحيوية بالحركة المناهضة للطاقة النوويةِ في المدى والتكتيك رغم أنه من شأن التكلفةِ المنخفضةِ والتوفُّرِ الكبيرِ للتجهيز الجينومي الأساسي والدرايةِ أن يَسمحَ عمليا لكلِّ بلدٍ أو شركةٍ صغيرةٍ أو حتى الفرد بالمشاركة في الهندسة الوراثية (Hapgood, 2000 [40]). وهذا التوفُّر الواسعُ للتكنولوجيا والتكلفةُ المنخفضةُ للنفاذ يمكنُ أن يجعلَ التحكُّمَ في انتشار تكنولوجيا الجينوم واستخدامِها أمرا ممكِنا لأيِّ حركةٍ أو حكومة. وكأقصى حدٍّ، يمكنُ في نهاية المطاف أن تدفعَ ضغوطُ الاحتجاج الناجحةُ على شركاتِ التكنولوجيا الحيويةِ الكبرى، والتوفُّرُ الواسع للتكنولوجيا، إلى هندَسةٍ جينومية "سرية" لدى جماعاتٍ خارجَ هذه الضغوط وخارجَ المراقبة القانونيةِ التي تُساعِدُ في ضمان الاستخدامات الآمنةِ والأخلاقية. ولسخريةِ القدر أن هذا الأمرَ يمكنُ أن يُيسِّر المشكلاتِ العويصةَ التي تأمُلُ الحركةُ المناهضة للتكنولوجيا الحيوية الحيلولةَ دونها.

والاستنساخُ والتعديلُ الوراثي يؤديان أيضا إلى انشغالاتٍ تتعلقُ بالتنوع البيولوجي. فقد زاد تعميمُ المحاصيل والمواشي أصلا في تعرُّضِ إمداداتِ الغذاء للأمراضِ التي يمكنُ أن تَقضي على مجالاتٍ أوسعَ من الإنتاج. ويمكنُ أن يزيدَ التعديلُ الوراثي قُدرتَنا على هندسةِ ردودٍ على هذه المخاطر، ولكنْ يبقى أنَّ الخسائر قد يتم الشعور بها في سنة الإنتاجِ ما لم يتمَّ تطويرُ دفاعاتٍ واسعة.

وبالإضافة إلى سلامة الغذاءِ فإن القدرةَ على تعديلِ الكائنات الحيوية يحملُ إمكانيةَ هندسةِ أسلحة بيولوجيةٍ تتجاوزُ الإجراءاتِ المضادةَ الحاليةَ أو المبرمجة. ومن جهة أخرى يمكن أن يساعِد علمُ الجينوم في الدفاع في الحرب البيولوجية (مثلا بفهمٍ وتحكُّمٍ محسَّنَين للوظيفة البيولوجية في كل من العوامل المَرَضيّة

والمجموعات المستهدفة وبينها، إلى جانب قدرةٍ محسَّنةٍ لمجسَّات بيولوجية مهندَسَة). ومن ثم يمكن أن تُؤدِّي التطوراتُ في علم الجينوم إلى سباق بين هندسةِ التهديد والإجراءاتِ المضادة. وهكذا، رغم أنَّ من شأن العمل على الوراثةِ أن يؤدِّي إلى تطوراتٍ طبية، إلا أنه من غير الواضحِ ما إذا سنَكون في وضعٍ أسلمَ مستقبلا.

وقد يَتوقَّفُ المعدَّل الذي يَحدثُ عندهُ الشعورُ بفوائدِ الكائناتِ المعدَّلة وراثيا في البلدان الأكثرَ فقرا على تكاليفِ استخدامِ الأجهزةِ الحاصلة على براءةِ الاختراعِ ومتطلبات التسويق وطَرائقه، وعلى المعدَّل الذي تُصبح عنده المحاصيلُ واسعةَ الانتشار وغيرَ قابلة للانفصال عن السلالات غير المعَدَّلة. لننظُر على سبيل المثال إلى المشكلاتِ الحاليةِ ذات الصلةِ بتطوير دواءٍ لفيروس نقصِ المناعةِ البشرية المكتسبَة وانتشارِه في البلدان الأكثر فقرا. فقد أذكَت قابليةُ الحصولِ على براءاتِ الاختراع الاستثماراتِ في البحث، ولكنَّ العديدَ من البلدان الفقيرةِ ذات الحاجةِ الماسَّة لا يمكنُها الحصولُ على آخر الأدوية ويجبُ عليها أن تنتظرَ العطايا أو نهايةَ مدة البراءة. غير أنَّ العولمةَ قد تَزيدُ الانتشارَ بما أنَّ الشركات متعددةَ الجنسية تواصلُ إنتاجَ الغذاءِ عبر العالم. وقد تُوفِّر المنافعُ من فتحِ أرضٍ غيرِ منتجةٍ سابقا للإنتاج حافزا ماليا لدفع قسطٍ إضافي من أجل الكائنات المعدَّلة وراثيا. وزيادةً على ذلك فإن تكنولوجيا الجينوم المتوفّرة بصورةٍ كبيرة جدا قد تَسمحُ للأكاديميين والمؤسساتِ الصغيرة التي لا تهدفُ إلى الربح وللبلدانِ النامية بتطويرِ كائناتٍ معدَّلة وراثيا لتخفيفِ المشكلاتِ في المناطق الفقيرة. أما الشركاتُ الكبرى للتكنولوجيا الوراثية فستُركِّزُ على الأسواق التي تتطلبُ البحثَ والتطوير اللذين يحتاجان إلى رأس مال كبير.

وأخيرا، قد تلعبُ المشكلاتُ الأخلاقيةُ دورا كبيرا في تغييرِ التأثيرِ العالمي

لتوجُّهات علم الجينوم. ويَعتقِدُ بعضُ الناس ببساطةٍ أنه من الخطـإ هندَسـةُ أو تعديلُ كائناتٍ حيّة باستخدامِ تقنياتٍ جديدة. ومن شأنِ التأثيرات الجانبية غـير المتوقَّعة (مثلا، توقُّع التهابِ المفاصل في الخنازير المعدَّلة وراثيا حاليا) أن تُـدعِّم هذا الاعتراض. وينشغلُ آخرون بالخطر الحقيقيِّ لبرامج تحسينِ النسل أو هندَسة كائناتٍ حيَّة خطيرة.

ثانيا: العلاج وتطوير الأدوية

1. التكنولوجيا

إلى جانب الهندسة الوراثية، من شأن التكنولوجيا الحيويةِ الاسـتمرارُ في تحسينِ العلاجِ للوقاية من المرضِ والإصابة ومعالجتِهما. ويمكنُ أن تُوقِفَ طرائقُ جديدةٌ قُدرةَ عاملٍ مَرَضي على الدخولِ إلى جسمٍ أو الترحالِ فيـه، وتُقـوِّي مواطنَ الضُّعف أمام العاملِ المَرَضي وتُطوِّرَ آلياتٍ جديدةً لتـوفيرِ الإجـراءات المضادةِ أو تعديلِ الردِّ المناعي المناسبِ أو زيادته للتعرفِ على العواملِ المَرَضـية الجديدة. وقد تتعارضُ هذه العلاجاتُ والتوجُّهَ الحالي لزيادةِ مقاومةِ المضـاداتِ الحيوية الموجودةِ، مقيِّدَةً بذلك إعادةَ تحديدِ الحرب على الإصابات.

وبالإضافة إلى معالجة المشكلات الفيروسـية والبكتيريـة يجـري تطـويرُ علاجاتٍ للاختلالات الكيميائية وتعديلِ الركود الكيميائي. وعلى سبيل المثـال، هناك مضاداتٍ حيوية قيد التطوير تهاجمُ الكوكايين في الجسـم قـد تُسـتَخدَم للتحكُّم في الإدمان. ويمكنُ أن يكونَ لهذه الطّرائق تأثيرٌ في تعديلِ اقتصاد التجارةِ العالمية غير الشرعية للمخدرات بينما يتمُّ تحسينُ الشروط لصالح المستخدِمين.

ومن شأن تطويرِ الدواء أن تُساعدَه عدةُ توجُّهات تكنولوجيةٍ وعوامـــلُ تَمْكِين. وقد تستمرُّ عملياتُ المحاكاةِ بالحاسوب مـــع التوجُّهـــات الآخـــذةِ في الانتشار لتكنولوجيا التصويرِ الجزيئي (مثلا، مجاهرُ تَعملُ بـــالقوة الذريـــة ذات طبقاتٍ كثيفةٍ ومجاهرُ مَسحٍ مزودة بمسابر) في تحسينِ قُدرتِنا عل تصميم جزيئاتٍ تحملُ الخصائصَ الوظيفيةَ المرغوبة وتستهدفُ أعضاء حساسةً أو مواقعَ ربطٍ أو واسماتٍ بعينها، مُتمِّمةً بذلك البحثَ التركيبي عن الدواء بالتصميمِ العقلاني له. فمثلا يمكنُ أن تُصبحَ عملياتُ محاكاةِ تفاعلاتِ الدواءِ للأنظمةِ الحيوية المستهدَفة مفيدةً أكثرَ فأكثر في فَهمِ فعاليةِ الدواءِ وسلامته. وعلى سبيل المثال فإنَّ محاكاةَ القلبِ افتراضيا التي قام بها "دنيس نوبل" (Denis Noble) ســـاهمت أصـــلا في مُوافقة "الإدارة الأميركية للغذاء والدواء" على دواءٍ للقلب بالمساعدة في فهـــمِ آلياتِ وأهميةِ تأثيرٍ لوحِظَ في الاختبـــارِ العيـــادي (Noble, 1998; Robbins-Roth, 1998; Buchanan, 1999 [109-111]). وبالنسبة إلى أنظمةٍ مفهومةٍ أفضـــلَ مثـــل القلب فإنَّ هذه المقارباتِ قد تصبحُ مكمِّلا سائدا في اختبارات الأدويةِ عياديـــا بحلول 2015، بينما من شأن أنظمةٍ أخرى معقَّدة أكثر (مثل الدماغ) أن تتطلَّـــب بحثا أكثر في وظيفةِ النظام وطبيعتِه البيولوجية.

2. مسائل وانعكاسات أوسع

تُعَد تكاليفُ البحث والتطوير في مجال الأدويةِ مرتفعةً جدا حاليـــا، بـــل ويمكنُ ألا تكونَ قابلةً للـــدعم (PricewaterhouseCoopers, 1998 [19])، وذلـــك بمعدّلات تبلغ تقريبا 600 مليون دولار لدواءٍ واحدٍ يتمُّ تسويقُه. وقد تَدفعُ هذه التكاليفُ بالصناعة الصيدلانية إلى الاســـتثمار بشـــكلٍ كـــبير في تطـــوراتِ

التكنولوجيا التي تهدفُ إلى صناعةٍ تدومُ طويلا (PricewaterhouseCoopers, 1999 [37]). وإلى جانب الخرطنةِ الوراثية قد يبدأُ تطويرُ الدواء حسبَ التركيب الوراثي، وبرامجُ المحاكاةِ الكيميائية والهندسة، وعملياتُ محاكاةِ اختبارِ الدواء، في تغييرِ التطوُّر الصيدلاني من تطبيقٍ واسعٍ للطريقةِ القائمة عل التجربةِ والخطإ إلى تطويرٍ للدواء واختبارٍ ووصفٍ حسبَ الطلب قائمٍ على فَهمٍ أعمقَ لردِّ الفئةِ الفرعيةِ على الأدوية. وقد يُنقِذُ هذا الفهمُ أيضا الأدويةَ التي تمَّ لفْظُها سابقا بسببِ ردودِ أفعالٍ عكسيةٍ لدى فئاتٍ قليلة في الاختبارات العيادية، إلى جانب تحسينِ معدَّلاتِ النجاحِ، وتقليصِ تكاليفِ الاختبارات، وفتحِ أسواق جديدة لأدويةٍ مستهدَفة بدقّة. وسيكونُ أيضا لتصميمِ أدويةٍ حسب الطلب لفئاتٍ فرعيةٍ الأثرُ العكسي وهو تقليصُ حجمِ السوق لكل دواء. وهكذا سيكونُ من شأن اقتصاد الصناعات الصحية والصيدلانية أن يتغير بصورة كبيرة إذا ما أثمرَت هذه التوجُّهات.

لاحظوا أن حمايةَ براءةِ الاختراع لا تُنَفَّذ بصورةٍ موحَّدَة عبر العالم بالنسبةِ للصناعةِ الصيدلانية.[1] والنتيجةُ أنه قد يَستمرُّ تَركيزُ بعضِ المناطقِ (مثل آسيا) على صناعةِ أدوية جنيسةٍ، ومن شأن مناطقَ أخرى (مثل الولايات المتحدة والمملكة المتحدة وأوروبا) أن تستمرَّ في اتّباعِ أدويةٍ جديدةٍ بالإضافة إلى المواد الصيدلانيةِ ذات الحدِّ البسيط.

1 - مداخلة شخصية لليلي وو Lily Wu

ثالثا: الهندسة الطبية

إن تكوين فرقٍ متعددة التخصصات يُسَرِّع التطـوُّرات والمنتجَـات في الهندسةِ الطبيةِ وتكنولوجيا الأنسجةِ العضويةِ والاصطناعية، والأعضاء والمواد.

1. الأنسجة العضوية والأعضاء

من شأنِ التطوراتِ في هندسَة الأنسجةِ والأعضاءِ وإصلاحِها أن تؤدِّي إلى قِطعِ غيارٍ عُضويةٍ واصطناعيةٍ للبشر. فالتطوُّراتُ الجديدةُ في إعادة توليدِ الأنسجةِ وإصلاحِها ستستمرُّ في تحسينِ قدرتِنا على حلّ المشكلات الصحية في أجسامنا.

وقد أدَّى مجالُ هندسةِ النسيج، الذي بالكاد يتجاوزُ عمرُه عقدا من الزمن، إلى منتجاتٍ جلديةٍ تجاريةٍ مهندَسة لمعالجة الجروح.[1] ويوجـدُ نمـوٌّ الغضروف للإصلاح والتعويض في مرحلةِ الاختبارِ العيادي،[2] وتُعَدُّ معالجةُ مرضِ القلب بواسطة نموٍّ نسيجٍ وظيفـي بحلـول 2015 هـدفا واقعيـا.[3] وستتوقَّف هذه التطوراتُ على موادٍّ سِقالةٍ متوافقـةٍ حيويـا (أو قابلـة

1- المعلومات والنقاش الذي يشكل خلفية لبعض البحث الحالي يمكن إيجادها في:
http://www.whitaker.orghttp://www.pittsburgh-tissue.net and .
يمكن العثور على وصف مُنتجات الجلد المهندسة تجاريا في:
http://www.isotis.com http://www.advancedtissue.com, http://www.integra-ls.com, http://www.genzyme.com, and http://www.organogenesis.com .

2- راجع على سبيل المثال، مواقع The Integra Life Sciences and Genzyme أعلاه.

3- اتصال شخصي مع الدكتور "بادي راتنر" Buddy Ratner مدير مركز المواد الحيوية المهندسة التابع لجامعة واشنطن (UWEB).

للامتصاص حيويا)، وتطوُّرِ أنسجةٍ ثلاثيةِ الأبعادِ في شكلِ أوردة، وأنسجةٍ وحيدةٍ متعددةِ الخلايا، وفَهمٍ لعمليةِ نمو المادة الخلويةِ على هذه السِّقالات في الجسم الحي (Bonassar and Vacanti, 1998 [130]).

وسيكونُ من شأن البحثِ والتطبيقاتِ في مجال العلاجِ بالخلية الجذعيَّة الاستمرارُ والتوسُّعُ باستخدام هذه الخلايا البشرية غير المتخصصة لدعم أو تعويضِ الدماغِ أو وظائفِ الجسم، والأعضاءِ (كالقلب والكلية والكبد والمعثكلة) والبنيات (Shamblott et al., 1998; Thomson et al., 1998; Couzin, 1999; Allen, 2000 [117-119, 122]). وبما أنَّ أغلبَ الخلايا توجَد في المراحل الأولى للجنين أو النسيج الجنيني فإنَّ نقاشا أخلاقيا يبرُز بشأن استخدامِ الخلايا الجذعيَّة للبحث والعلاج (Couzin, 1999; U.S. National Bioethics Advisory Commission, 1999; Allen, 2000 [119, 120, 122]). والبدائلُ من قبيل استخدامِ الخلايا الجذعية للكبار أو استِنزْاعِ خلايا جذعيةٍ قد تُؤدِّي في نهاية المطافِ إلى إمدادات كبيرة من الخلايا مع انشغالاتٍ أخلاقية أقل. وقد حَدّت النقاشاتُ الحاليةُ من تمويلِ الحكومة الأميركية للبحث في الخلايا الجذعية، ولكنَّ الإمكانيةَ جَذبت قَدْرا كبيرا من التمويل الخاص.

ويمكنُ تحسينُ نقلِ الأعضاءِ بين أنواع الكائنات (نقلُ أجزاء من الجسم من نوع إلى نوع مختلف) تساعدُه في ذلك محاولاتٌ من أجل التعديلِ الوراثي لنسيجِ المانحِ والمضاداتِ الحيويةِ للعضو ومكمِّلاته وبروتيناته المنظِّمة لتقليصِ اللفظِ أو التخلُّص منه. فقد يتمُّ مثلا تعديلُ قِردة البابوان أو الخنازير وراثيا

للامتصاص حيويا)، وتطوُّرِ أنسجةٍ ثلاثيةِ الأبعادِ في شكلِ أوردة، وأنسجةٍ وحيدةٍ متعددةِ الخلايا، وفَهمٍ لعمليةِ نمو المادة الخلويةِ على هذه السِّقالات في الجسم الحي (Bonassar and Vacanti, 1998 [130]).

وسيكونُ من شأن البحثِ والتطبيقاتِ في مجال العلاجِ بالخلية الجذعيَّة الاستمرارُ والتوسُّعُ باستخدام هذه الخلايا البشرية غير المتخصصة لدعم أو تعويضِ الدماغِ أو وظائفِ الجسم، والأعضاءِ (كالقلب والكلية والكبد والمعثكلة) والبنيات (Shamblott et al., 1998; Thomson et al., 1998; Couzin, 1999; Allen, 2000 [117-119, 122]). وبما أنَّ أغلبَ الخلايا توجَد في المراحل الأولى للجنين أو النسيج الجنيني فإنَّ نقاشا أخلاقيا يبرُز بشأن استخدامِ الخلايا الجذعيَّة للبحث والعلاج (Couzin, 1999; U.S. National Bioethics Advisory Commission, 1999; Allen, 2000 [119, 120, 122]). والبدائلُ من قبيل استخدامِ الخلايا الجذعية للكبار أو استِنزْاعِ خلايا جذعيةٍ قد تُؤدِّي في نهاية المطافِ إلى إمدادات كبيرة من الخلايا مع انشغالاتٍ أخلاقية أقل. وقد حَدّت النقاشاتُ الحاليةُ من تمويلِ الحكومة الأميركية للبحث في الخلايا الجذعية، ولكنَّ الإمكانيةَ جَذبت قَدْرا كبيرا من التمويل الخاص.

ويمكنُ تحسينُ نقلِ الأعضاءِ بين أنواع الكائنات (نقلُ أجزاء من الجسم من نوع إلى نوع مختلف) تساعدُه في ذلك محاولاتٌ من أجل التعديلِ الوراثي لنسيجِ المانحِ والمضاداتِ الحيويةِ للعضو ومكمِّلاته وبروتيناته المنظِّمة لتقليصِ اللفظِ أو التخلُّص منه. فقد يتمُّ مثلا تعديلُ قِردة البابوان أو الخنازير وراثيا

واستنساخُها لإنتاجِ أعضاء للنقلِ البشري رغم أنَّ حدوث نجاحٍ على نطاق واسعٍ قد لا يتحققُ بحلول 2015.

إلى جانب اللفظ، من شأن أهميةِ نقلِ الأعضاء بين الأنواعِ أن تتغيَّر بسببِ القلقِ من إمكانيةِ انتقال الأمراضِ مثل الفيروسات من الحيوانات إلى البشر نتيجةَ تقنياتِ النقل ([17] Long, 1998). وقد تؤدِّي الانشغالاتُ الأخلاقية (مثل حقوق الحيوانات) إلى جانب التسجيلِ الممكِن لبراءات الأنسجة (راجع مثلا [208] Walter, 1998) إلى قوانينَ وقيودٍ أيضا تَرِدُ على النقل بين الأنواع، وهو ما يحُدُّ من أهميتها.

2. المواد الاصطناعية والأعضاء والالكترونيات الحيوية

بالإضافة إلى البنياتِ العضويةِ، من شأن التطوراتِ أن تستمرَّ في هندسة أنسجةٍ اصطناعية وأعضاء للبشر. ويجري تطويرُ موادَّ متعددةِ الوظائف توفِّرُ كلا من البنية والوظيفةِ أو لها خصائصُ مختلفةٌ في عدَّة جوانب، وهو ما يسمحُ بتطبيقاتٍ وقُدرات جديدة. ويمكنُ على سبيل المثال أن تُستخدَمَ المتماثراتُ ذات القوقعةِ الممتصَّة للماء حول لُبٍّ طارد للماء (المحاكاة الحيوية للمذيّلات) للإطلاق التدريجي لجزيئاتِ دواءٍ طاردةٍ للماء باعتبارها حاملاتٍ لعلاجٍ جيني أو إنزيماتٍ ساكنة أو كأنسجةٍ اصطناعية. والمتماثرات المثبَّتة بواسطة التعقيمِ يمكنُ أيضا أن تُستخدَم لإعطاء الدواء.

ويجري تطويرُ موادَّ أخرى من أجل تطبيقاتٍ طبية متعددة. إذ يتمُّ مثلا تطويرُ القلويَّات مستفيدةً من السلبية الكهربائية الكبيرة للفلورين لزيادةِ نقل

الأكسجين في الجسم الحي (كبديل للدم خلال العملية الجراحية) ولإعطاء الدواء. ويجري تطويرُ هُلامى مائية ذاتِ سلوك مضخِّم مُتحَكَّم فيه لإعطاء الدواء أو كقوالبَ لربط مواد النموِّ من أجلِ هندسة الأنسجة. ويمكنُ أن تكون الموادُّ الخزفيةُ من قبيل نظّارات نشطة حيويا من ثاني أكسيد السيليكون والفوسفات والكلس (نظّارات هلامية)، وفوسفات الكالسيوم نماذجَ لنموِّ العظام وإعادةِ توليدها. ويمكن أن تُطَبَّق المتماثراتُ النشطة حيويا (مثل الببتيدات المتعددة) كمَشَابك أو إسفنجة أو رَغوة أو هُلامى مائية لتحفيز نموِّ النسيج. ويجري تطويرُ طلياتٍ وعلاجاتٍ سطحيةٍ لزيادة التوافُق البيولوجي للمواد المزروعة (مثل التغلُّب على النقص في الخلايا المبطَّنة في الأوعية الدمويةِ الاصطناعية ولتقليص التخثر). وقد تُغيِّر معوِّضاتُ الدم مخزونَ الدم وأنظمةَ الاسترداد، بينما تُحسِّن السلامةَ من الإصابات عن طريق الدم (Chang, 2000 [108]).

كما أن تقنياتِ التصنيعِ الجديدةَ وتكنولوجيا المعلومات تسمح بإنتاجِ البنياتِ الطبيةِ بحجمٍ وشكلٍ حسب الطلب، فمثلا قد يُصبح من الشائعِ تصنيعُ عظامٍ بديلة من الخزف حسب الطلب للأيدي والأقدام وأجزاء من الجمجمة المصابة، وذلك بالجمعِ بين التصوير المقطعي بالحاسوب و"النمذجة السريعة" (انظر أدناه) لقلبِ هندسة عظامٍ جديدة طبقةً طبقةً (Hench, 1999 [139]).

وإلى جانب البنياتِ والأعضاء قد تُصبحُ الجراحة الترقيعية العصبيةُ والحسية هامةً بحلول 2015. فقد تتحسَّن عملياتُ زرعِ الشبكياتِ وقوقعة الأذن، وتَجنُّبُ

الضرر الذي يلحق النخاعَ والأعصاب، وعملياتُ الاتصالِ والتنبيه الاصـــطناعية الأخرى وتصبحُ أكثر شيوعا وفي المتناول، وهو ما يَقضي على العديد مما يَحـــدُث من فقدانٍ للبصر والسَّمع. ويمكن أن يَقضي هذا أو يقلِّلَ مـــن أثـــر المعوِّقـــات الخطيرة ويغيِّرَ ردَّ المجتمع من التكيف إلى المعالجة.

3. المحاكاة البيولوجية والبيولوجيا التطبيقية

تُحدثُ التقنياتُ الأخيرة مثل التصويرِ الوظيفي للدماغ والحيوانـــات المهندَسَة ثورةً في جُهدنا لفهم ذكاء الإنسانِ والحيوان وقُـــدُراتهما. ومـــن المفروضِ أن تُحقّق هذه الجهودُ بحلول 2015 خطواتٍ هامةً في تحسين فهمِنـــا للظواهر مثل الذاكرات الخاطئة، والانتباه، والتعرُّف، ومعالجة المعلومات، مع ما يترتب عن ذلك من انعكاساتٍ من أجل فهمٍ أفضلَ للنـــاس ولتصـــميمِ أنظمةٍ اصطناعية والوصل بينها مثل الروبوتات المستقلة وأنظمةِ المعلومات. وقد أدت أصلا هندسةُ أشكالِ النورونات (التي تُقيم معماريتها وتصـــميمَها على الأنظمة العصبية الحيوية) [1] إلى لوغاريتماتِ تحكُّمٍ جديـــدة، ورقاقـــاتٍ

---

1 - راجع مثلا،

The annual Neuromorphic Engineering held in Telluride, Colorado (http://zig.ini.unizh.ch/telluride2000/).

لقد أوضح مارك تيلدن (Mark Tilden) في "المخبر الوطني لاس ألاموس" Los Alamos National Laboratory (الذي تموله DARPA) أن الروبوتات التي تحدد مكان الألغام الأرضية التي لم تنفجـــر.

راجع المقال المعمق الصادر في:

Smithsonian Magazine, February 2000, pp. 96-112.

صور بعض روبوتات "تيلدن" موجودة في:

http://www.beam-online.com/Robots/Galleria_other/tilden.html.

للبصر وأنظمةٍ للعين تُركَّب على الـــرأس وروبوتـــاتٍ مســـتقلة تحـــاكِي الإحيائيات. ورغم أنه من المستبعد تطبيق أنظمةٍ تتَّسم بذكاء كبير أو قُدراتٍ مشابهة لتلك التي تملكُها كياناتٌ أسمى فإنَّ هذا التوجُّه قد يتيحُ أنظمةً بحلول 2015 يمكِنُها أن تُؤدي بقوةٍ وظائفَ مفيدةً مثل كنس غبار المنزل أو الكشفِ عن الألغام أو القيامِ ببحث بصورة مستقلة.

4. التكنولوجيا الحيوية للتشخيص والجراحة

من شأن تطوراتِ التكنولوجيا الحيويةِ والموادِّ الاستمرارُ في إنتاج طرائقَ جراحيةٍ وأنظمةٍ جذرية تُقلِّص بصورة كبيرة من البقاء في المستشفى وتكاليفـــه وتزيدُ من الفعالية. ومن شأن الأدوات الجراحيةِ الجديـــدةِ وتقنياتهـــا، والمـــوادِّ والتصميماتِ الجديدة لدعم الحويصلات والأنســـجة، الاســـتمرارُ في تقلـــيص التدخُّل الجراحي وتقديم حلولٍ جديدة للمشـــكلات الطبيـــة. وقـــد تســـتمرُّ التقنيات، من قبيلِ جراحةِ الأوعية البديلة، في إزالة أنواعٍ كاملةٍ من العمليـــات الجراحية؛ أما التقنياتُ الأخرى كثُقب نسيجِ القلب بالليزر فيُمكنُ أن تُشـــجِّع إعادةَ التوليد والشفاء. ويمكنُ للتطورات في الجراحة بالليزر أن تُدقِّق التقنيـــاتِ من جديد وتحسِّن قدرةَ الإنسان (مثل جراحة العين الموضـــعية بـــالليزر (لازيك LASIK)[1] لتعويض النظارات)، لاسيما أنَّ التكاليف تقلَّصت والتجربةَ تنتَشِر. وسيكون من شأن تقنياتِ التصويرِ الهجين أن تُحسِّن التشخيصَ وتوجِّه الجراحةَ البشرية والآليةَ وتساعدَ في الفهمِ الأساسي لوظيفةِ الجسم والـــدماغ. وأخـــيرا سيكون من شأن تكنولوجيا المعلوماتِ المساعدةِ (مثل الطب عن بعد) أن تَمُـــدَّ

1 - Laser *in situ* keratomileusis.

الرعايةَ الطبية المتخصصةَ إلى المناطق النائية وتساعدَ في الانتشار العالمي للنوعية الطبية والتطورات الجديدة.

5. مسائل وانعكاسات أوسع

بحلول 2015 يمكن أن يَتوقَّع المرء أنظمةً فعالةً لتقديم الدواءِ بصورةٍ متحكَّم فيها ومحددةَ الهدف وموضعية؛ وجراحةً ترقيعية وأنسجةً مزروعة تعيش طويلا؛ وجلدا وعظاما اصطناعيةً، وربما عضلةً قلبية أو حتى نسيجا عصبيا. ومن شأن مجموعةٍ من المشكلات الاجتماعية والسياسية والأخلاقية من قبيل تلك التي تمت مناقشتُها أعلاه أن تَصحَب هذه التطورات.

والتطوراتُ الطبية (مع التحسينات الصحِّية الأخيرة) تزيدُ أصلا من حياة الإنسان في البلدان التي تُطبَّق فيها. ومن شأن التطوراتِ الجديدة بحلول 2015 أن تواصلَ هذا التوجُّه مزيلة بذلك حدَّة المشكلاتِ من قبيل التحولاتِ في عمرِ السكان، والدعمِ المالي للمتقاعدين، وزيادةِ تكاليف الرعاية الصحية للأفراد. غير أن التطوراتِ قد لا تحسِّن معدلَ الحياة فقط، بل أيضا إنتاجيةَ هؤلاءِ الأفراد والفائدةَ منهم مُتَجاوِزةً المشكلاتِ الناجمةَ، بل وحتى التغلب عليها.

ويمكنُ أن تُفيدَ العديدُ من التقنيات الطبيةِ المتخصِّصة والمكلفة في البداية المواطنينَ الذين يُمْكنُهم الحصولُ على رعايةٍ طبيةٍ أفضلَ (لاسيما في البلدان المتطورة مثلا). ويمكنُ أن تَحدُث آثارٌ عالمية أوسع فيما بعدُ نتيجةَ تأثيراتِ التَّقاطُرِ التقليدية في الطب. ويمكنُ أن يكونَ لبعض التكنولوجيات (مثل الطب عن بعد) توجُّه عكسي حيث يمكنُ أن تَسمح التكنولوجياتُ ذاتُ التكلفةِ القليلة بفحصٍ ذي مردوديةٍ مع

متخصِّصين بغضِّ النظر عن المكان. غيرَ أنَّ النفاذَ إلى التكنولوجيا يمكنُ أن يؤثر بشكل كبير في هذه الآلية المشتّتة، وقد يضعُ طلباتٍ إضافيةً على تطورات التكنولوجيا والتعليم. أما البلدانُ التي تبقى متخلّفة من حيث البنياتُ التكنولوجية فستفُوتُها العديدُ من هذه المنافع.

وقد أثارت النقاشاتُ الفقهيةُ انشغالاتٍ أيضا بشأن تحديدِ ماهية الكائنَ البشري، بما أنه يجري تعديلُ الحيوانات لإنتاجِ أعضاء بشرية للنَّقلِ بين الأنواع لاحقا. وقد تُساعِد الخرطنةُ الوراثية في تشكيلِ هذا النقاش بما أننا نَفهمُ الاختلافاتِ الوراثيةَ بين البشر والحيوانات.[1]

يمكنُ أن تكون لتحسُّن فهمِ الذكاء البشري والوظيفةِ المعرفية تأثيراتٌ قانونيةٌ واجتماعية أوسع. ومثال ذلك قد يكونُ لفَهمِ الذاكرات الخاطئة وكيفيةِ تخليقِها تأثيرٌ في المسؤولياتِ القانونية والإدلاء بالشهادة أمام المحاكم. وقد يُساعِد فَهمُ القدراتِ الشخصية الكامنةِ ومتطلَّباتِ أداء العملِ في تحديد قُدرةِ مَنْ بإمكانهم أن يكونوا أفضلَ طيارين ومَن له قدرةٌ فائقةٌ على تحليل صورةٍ معقَّدة،[2] وأيِّ نوع من التدريب المحسَّن يمكنُه تحسين قدراتِ الناس على تلبية الحاجات الخاصة بمسارهم الوظيفي الذي اختاروه. ويمكن أن تثورُ الانشغالاتُ الأخلاقية بشأن التمييز ضد من تنقصُهم بعض المَلَكات، وهو ما يتطَلب إجراءاتٍ حذرةً تُوضَع للتوظيف والترقية.

---

1 – على سبيل المثال، التقديرات الحالية تقول إن البشر والشامبانزي يختلفون وراثيا بنسبة 1.5 بالمئة فقط (Carrington, 2000 [56]).

2 – على سبيل المثال، متى يكون للأشخاص الذين لديهم كاشفات لأربعة ألوان بدل ثلاثة تَفَوُّق طفيف، وكيف نتعرف على مثل هؤلاء؟

وأخيرا، فإن الأعضاءَ العصبية والحسّيةَ المزروعة (مع توجُّهات نحو مجسَّات واسعة الانتشار في المحيط ومَزيدٍ من توفُّر المعلومات) يمكنُ أن تُغيِّر بصورة جذرية الطريقةَ التي يَشعُر بها الناسُ ويتصورون ويتفاعلون مع البيئتين الطبيعية والاصطناعية. وفي النهاية، يمكن أن تخلُق هذه القدراتُ الجديدة أعمالا ووظائفَ جديدة للناس في هاتين البيئتين. ويتمُّ تطوير هذه الابتكاراتِ أولا للأفراد الذين لهم وظائفُ هامة جدا وتشكّلُ تحدياتٍ بوجه خاص (مثل الجنود والطيارين والمراقبين)، ولكنَّ الابتكارات قد تتطورُ أولا في مجالات أخرى (مثلا لِوظائف الترفيه أو الأعمال) بالنظر إلى التوجهات الأخيرة. ويشيرُ البحث الأولي إلى إمكانية هذه الأنسجةِ المزروعة والتفاعلات، ولكن ليس واضحا ما إذا سيكونُ البحثُ والتطوير والاستثماراتُ سريعة بما يكفي لتحقيق حتى هذه التطبيقاتِ المبكرة بحلول 2015. وقد ركزت التوجُّهات الحاليةُ على الجراحة الترقيعية الطبية حيث أَخذت النماذجُ محلَّ البحث تَظهَر أصلا، ومن ثم يبدو أنه يمكن بروز أنظمةٍ مُهمةٍ عالميا في هذا المجال أولا.

رابعا: عملية هندسة المواد

يمكن في الغالب أن تكونَ الموادُّ الجديدة دوافعَ هامةً ممكّنةً لأجهزةٍ وتطبيقاتٍ جديدة تنطوي على آثار هامة. ومع ذلك قد لا يكون بديهيا كيف تُؤثّر الموادُّ الممكّنة في التوجُّهات والتطبيقات الأكثر وضوحا. ويمكن أن يُساعد نموذجُ عمليةٍ شائعٍ من هندسة الموادِّ في بيانِ كيف يبدو من شأن الموادِّ أن تَكسِر

الحواجزَ السابقة في العملية التي تؤدِّي في نهاية المطاف إلى تطبيقاتٍ ذات منافعَ عالمية ممكنة.

وتأتي التطوراتُ في علم الموادِّ وهندستِها من البحث متعدِّدِ الاختصاصات في المواد. وهذا التطورُ يمكنُ أن يمثّله بصورة ملائمة الوصفُ البياني لعملية هندسة الموادِّ من التصوُّر إلى المنتوج/التطبيق (انظر الشكل 1.2). ويُنظر إلى هذه العملية باعتبارها طريقةً شائعة في دوائر بحث المواد. ويمكنُ إيجادُ أمور مماثلةٍ في الكتابات (انظر مثلا [123], p. 29 1989). والتوجُّهاتُ الحاليةُ في بحث الموادِّ التي يمكنُ أن تؤدِّي إلى تأثيراتٍ عالمية بحلول 2015 حسب الفئة أدناه مصنفةٌ وفقَ وصفِ العمليةِ الذي يُقدِّمه الشكل 1.2. ويُقدِّم الشكل 2.2 مثالا عن عملية التطور في مجال المتماثرات النشطة كهربائيا بالنسبة إلى أجهزة الروبوتات والعضلات الاصطناعية.

1. المفهوم/تصميم المواد

علمُ المحاكاة الحيوية عبارةٌ عن تصميمِ الأجهزةِ والموادّ وطابعِها الوظيفي من أجل محاكاة الطبيعة. وتشمل الأمثلةُ الحاليةُ تصنيفَ الموادِّ في شكل طبقاتٍ لبلوغ صلابة قوقعةِ أذنِ البحر أو محاولةِ فهمِ لماذا يُعَد خيطُ العنكبوت أقوى من الصلب.

ويَستخدِمُ تصميمُ المواد التركيبي قوةَ الحوسبة (أحيانا مع تجريب موازٍ مكثَّف) لعرض إمكانياتٍ مختلفةٍ للموادِّ لتحقيقِ أقصى حدٍّ من الخصائص من أجل تطبيقاتٍ بعينها (مثل الحفَّازات، الأدوية، المواد البصرية).

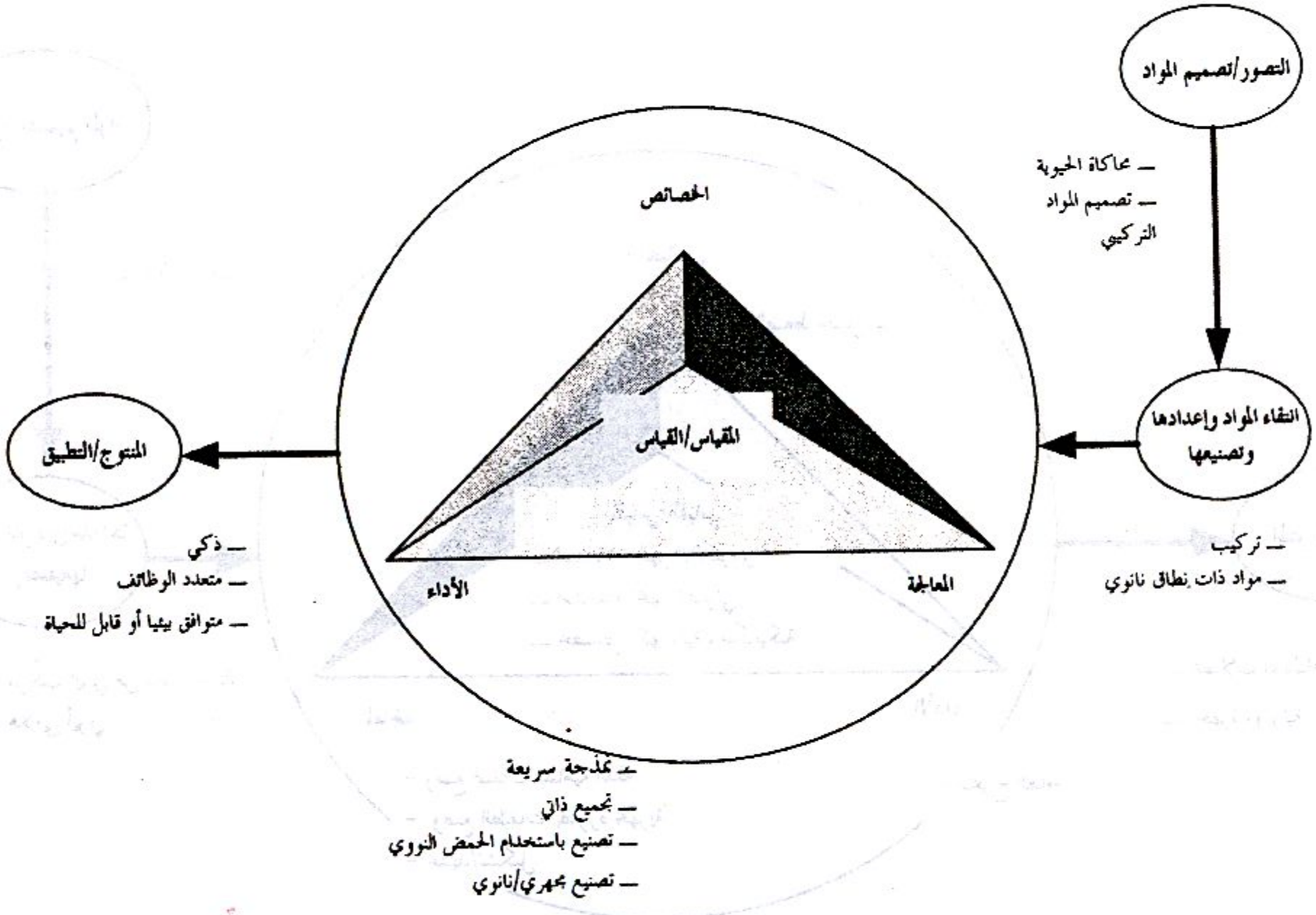
2. اختيار المواد وإعدادها وتصنيعها

المُرَكَّبات عبارةٌ عن خليطٍ من المعادن والخزف والموادِّ الكيميائية والموادِّ الحيوية التي تسمحُ بسلوك متعدِّد الوظائف. وتكمنُ إحدى الممارسات السابقةِ في تعزيز المتماثرات أو الخزف بألياف خزفيةٍ لزيادة القوة في وقت تتمُّ فيه المحافظةُ على وزنٍ خفيفٍ وتَفادي هشاشةِ الخزف ذي الوحدة الكثيفة المتراصَّة. وغالبا ما تَجمعُ الموادُّ المستخدَمةُ في الجسم بين الوظائفِ الحيوية والبنيوية (مثلا، وضع الأدوية في عبوات).

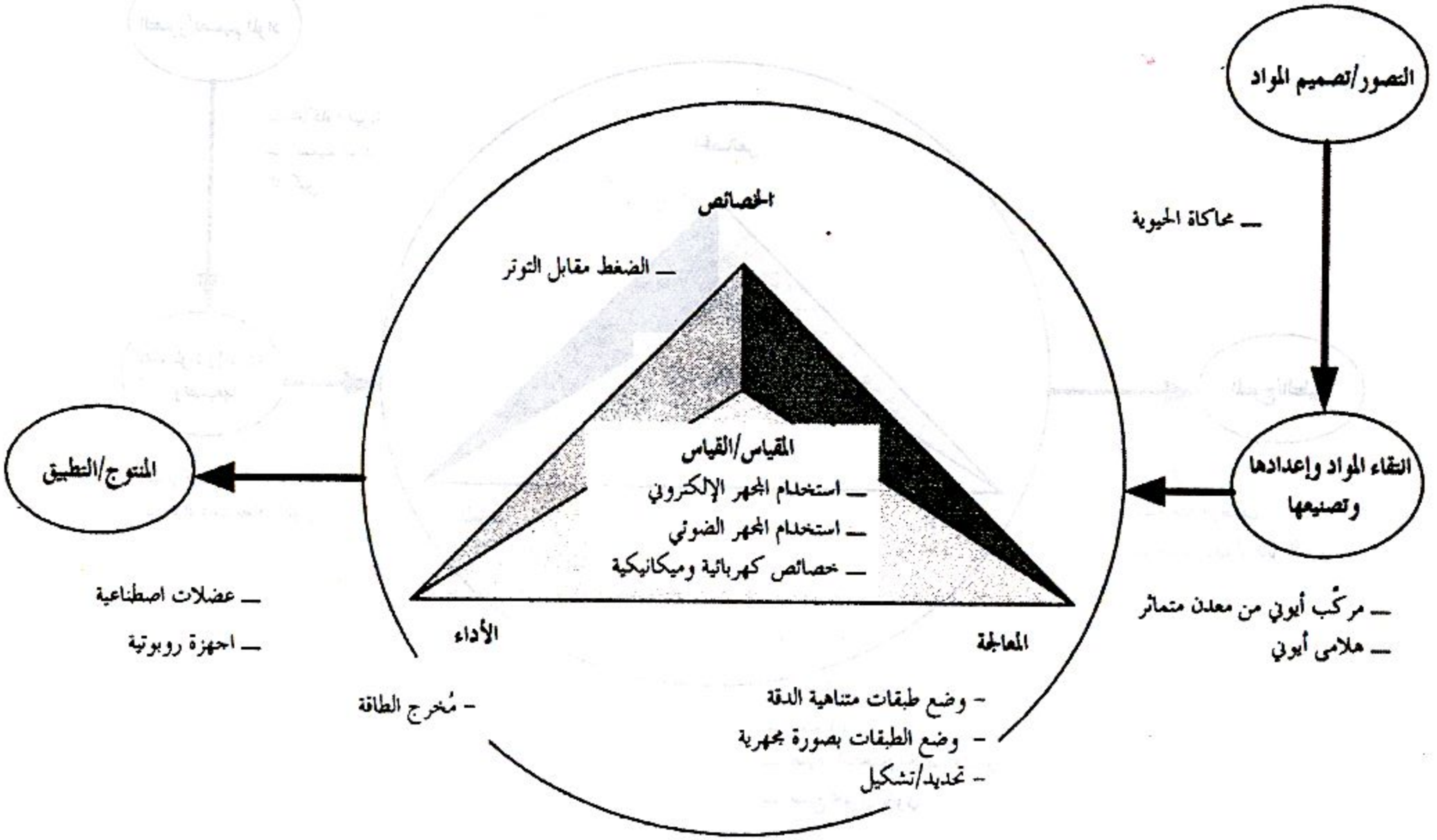
المواد ذات النطاق النانوي: بمعنى أن الموادَّ ذات الخصائصِ التي يمكنُ التحكُّم فيها في درجة دون مستوى الميكرومتر (<10 اس -6 متر) أو النانومتر (10 اس -9 متر) تُعدُّ مجالا نشيطا أكثرَ فأكثر للبحث لأن الخصائصَ في هذه الأنظمة الكبيرة عادةً ما تكون مختلفةً جدا عن المواد العادية. وتشملُ الأمثلةُ أنابيبَ نانويةً فحمية، ونقاطَ كمٍّ وجزيئاتٍ حيوية. ويمكن تحضيرُ هذه الموادِّ إما بالتطهير أو بطرائق تصنيعٍ حسب الطلب.

3. المعالجة والخصائص والأداء

ترتبطُ هذه المجالات ببعضها بعضا بصورة لا يمكنُ فكُّها، فالمعاجلةُ تحدِّد الخصائصَ التي بدَورها تحدِّدُ الأداء. وزيادةً على ذلك فإن حساسيةَ قدرةِ أنظمة القياس والمقاييس عادةً ما تكون العامل المُمَكِّن لبلوغ الحدِّ الأقصى للمعالجة، كما هي الحالُ على سبيل المثال بالنسبة إلى تكنولوجيا النانو والأنظمة الالكتروميكانيكية الدقيقة.



الشكل 1.2 العملية العامة لهندسة المواد



الشكل 2.2 - تطبيق عملية هندسة المواد على المتماثرات المنفعلة كهربائيا

النمذجة السريعة. هي القدرةُ على الجمع بين التصميمِ والتصنيع بمساعدة الحاسوب وبين طرائقِ التصنيعِ السريعة التي تسمحُ بجزءٍ من الإنتاج الرخيص (مقارنةً بتكلفةِ خطّ الإنتاج التقليدي). وتسمحُ النمذجةُ السريعة لشركةٍ ما باختيارِ عدة نماذجَ مختلفةٍ رخيصةٍ قبل ربط الاستثمارات في البنية التحتية بطريقة ما. وبتزاوج النمذجة السريعة مع التحسينات في نظام التصنيع للسماح بمرونةِ الطريقة والآلات يمكنها أن تؤدّي إلى قدرةِ تصنيعٍ ذكية. ومن وقت إلى آخر يمكنُ أن تَستخدِمَ الشركةُ قدرتَها الافتراضيةَ في التصميم ثم تعهدُ لشركة أخرى بتصنيع المنتوج، ومن ثم تتخلى لغيرها عن استثمارِ رأسِ المال والمخاطرة. وتتضافرُ هذه القدرةُ مع ثورة تكنولوجيا المعلومات، أي أنها عاملٌ آخر في عولمةِ قُدرةِ التصنيع والسماح للتنظيمات ذاتِ رأس المال بأن يكونَ لها تأثيرٌ تكنولوجي كبير. وبالنسبة إلى وزارة الدفاع فإنه بإمكانها أن تُقلّص أو تُلغي الحاجة إلى تخزينِ كمياتٍ كبيرة من قطع الغيار، ويمكنُها على سبيل المثال أن تَسمح للقوة الجوية "بالطيران قبل أن تشتري".

ويشيرُ **التجميعُ الآلي** إلى استخدام تَوَجُّهِ بعض المواد في معالجة المواد أو تصنيعِها لتنظيمِ نفسِها في صفوف مرَتَّبة. ويوفّر هذا الأمرُ وسيلةً للتوصُّل إلى موادَّ منظَّمةٍ "من أسفل إلى أعلى" مقابلَ استخدامِ طرائقِ تصنيعٍ من قبيل الطباعة الحجرية مثل تلك التي تحدُّ منها القدراتُ الحاليةُ للقياسات والمقاييس. وعلى سبيل المثال فإنه يتم وسمُ المتماثرات العضويةِ بجزيئات مصبوغة لتُشكّل طبقاتٍ يُبَاعَد بينها بشبكة في مدى طول الموجه البصرية المنظورة، والتي يمكن

تغييرُها بوسائل كيميائية. ويوفّر هذا مادة تتلألأ وتُغيِّر اللون لتُشير إلى وجـــود أنواعٍ كيميائية.

وقد يُشكّل التصنيعُ باستخدام الحمض النووي، في نهاية المطاف، الخطـــةَ الصناعية للمحاكاة البيولوجية. ويتمثلُ الأمر في "إعطاء وظيفة لكتلِ بناء صغيرةٍ غير عضوية ذات حمضٍ نووي ثم استخدامِ عمليات التعَرُّف بجزيئات متزاوجـــة مع الحمض النووي لتوجيه تجميعِ تلك الجزيئات أو كتلِ البناء في بنيات موسَّعة (Mirkin, 2000 [106]). وباستخدام هـــذه الطريقـــة بَـــيَّن "ميركين" (Mirkin) وزملاؤه طريقةَ تحليلٍ كيميائية عاليةَ الانتقاء والحساسية تقومُ علـــى الحمـــض النووي باستخدامِ دقائقَ من الذهب قطرها 13 نانومتر مع سلسلةِ حمض نـــووي مرتبطة. وهذه الطريقة تتوافقُ مع طريقة ردِّ الفعلِ المتسلسل لإنزيم التماثر شائعةِ الاستخدامِ القائمةِ على تضخيم كمية المادة المستهدَفة.

وتشملُ طرائقُ التصنيع النانوي والميكرومتري على سبيل المثال أجهـــزةً مترادفةً مجهرية ونانوية على نفس شبهِ الموصل أو المادة الحيوية. ومـــن الأهميـــة بمكان ملاحظةُ الدورِ الهام جدا الذي تلعبُه في تطوير هذه التقنيـــات بـــالتطورِ المشابه في أجهزة القياسات والمقاييس مثل مُجهِر القوة الذريـــة والعديـــدِ مـــن مَجاهر المسحِ المزوَّدة بمسابر.

4. المنتوج/التطبيق

سيكون من شأن التوجُّهات الواردةِ أعلاه أن تعملَ متضـــافرةً لتـــوفير مهندسي موادَّ قَادِرين على تصميم وإنتاج موادَّ متقدمةٍ تكون:

• **ذكية :** موادّ نشطة تجمعُ بين المجسَّات والمشغِّلات، ربما بحواسيب تسمحُ بالاستجابة للشروط البيئية والتغيُّرات الناجمة عنها (لاحظوا مع ذلك أن المحدِّدات تشمَلُ حساسيةَ المجسَّات وأداءَ المُشغِّلات وتَوفُّر مصادر القوة بالحجم المطلوب المتوافقِ مع الحجم المرغوب للنظام). وقد يكونُ المثالُ الروبوتات التي تحاكي الحشراتِ أو الطيورَ من أجل تطبيقات من قبيل استكشافِ الفضاء وتحديدِ موقعِ الموادِّ الخطيرة والتعاملِ معها، والعرباتِ الجويةِ غير المأهولة.

• **أنظمةً متعددة الوظائف:** تُعد الأنظمةُ الالكتروميكانيكية الدقيقة المتعددةُ الوظائف و"المخابرُ على رقاقات" أمثلةً ممتازة عن الأنظمةِ التي تجمعُ بين عدة وظائف. وثمة مثالٌ آخر هو نظامُ تقديمِ الدواء باستخدام هلامى مائية ممتصَّة للماء خارجيا وطارِدةٍ له داخليا. لاحظوا أيضا جلودَ الطائرة المصنَّعةِ من موادَّ ممتصة للرادار تنطوي على روابط تكنولوجيا الطيران والقدرة على تعديلِ الشكل استجابةً لتدفق الهواء.

• **متوافقةً بيئيا أو قابلة للبقاء :** سيكونُ من شأن تطويرِ موادَّ مركبةٍ والقدرةَ على تصميم موادَّ عند مستوى الذرة أن يُوفِّر فرصا لصناعة موادَّ أكثر توافقا مع البيئات التي تُستخدَم فيها. وقد تشملُ الأمثلةُ أجهزةً لأعضاء اصطناعيةٍ تعملُ كقوالبَ لنمو نسيجٍ طبيعي، وموادَّ هيكليةً تَتقوّى عند العمل (مثلا بواسطة التغيرات التي تؤدِّي إليها مرحلة الحرارة والضغط).

تغييرُها بوسائل كيميائية. ويوفّر هذا مادة تتلألأ وتُغيِّر اللون لتُشير إلى وجـــود أنواعٍ كيميائية.

وقد يُشكّل التصنيعُ باستخدام الحمض النووي، في نهاية المطاف، الخطـــةَ الصناعية للمحاكاة البيولوجية. ويتمثلُ الأمر في "إعطاء وظيفة لكتلِ بناء صغيرةٍ غير عضوية ذات حمضٍ نووي ثم استخدامِ عمليات التعَرُّف بجزيئات متزاوجـــة مع الحمض النووي لتوجيه تجميعِ تلك الجزيئات أو كتلِ البناء في بنيات موسَّعة (Mirkin, 2000 [106]). وباستخدام هـــذه الطريقـــة بَـــيَّن "ميركين" (Mirkin) وزملاؤه طريقةَ تحليلٍ كيميائية عاليةَ الانتقاء والحساسية تقومُ علـــى الحمـــض النووي باستخدامِ دقائقَ من الذهب قطرها 13 نانومتر مع سلسلةِ حمض نـــووي مرتبطة. وهذه الطريقة تتوافقُ مع طريقة ردِّ الفعلِ المتسلسل لإنزيم التماثر شائعةِ الاستخدامِ القائمةِ على تضخيم كمية المادة المستهدَفة.

وتشملُ طرائقُ التصنيع النانوي والميكرومتري على سبيل المثال أجهـــزةً مترادفةً مجهرية ونانوية على نفس شبهِ الموصل أو المادة الحيوية. ومـــن الأهميـــة بمكان ملاحظةُ الدورِ الهام جدا الذي تلعبُه في تطوير هذه التقنيـــات بـــالتطورِ المشابه في أجهزة القياسات والمقاييس مثل مُجهِر القوة الذريـــة والعديـــدِ مـــن مَجاهر المسحِ المزوَّدة بمسابر.

4. المنتوج/التطبيق

سيكون من شأن التوجُّهات الواردةِ أعلاه أن تعملَ متضـــافرةً لتـــوفير مهندسي موادَّ قَادِرين على تصميم وإنتاج موادَّ متقدمةٍ تكون:

• **ذكية :** موادّ نشطة تجمعُ بين المجسَّات والمشغِّلات، ربما بحواسيب تسمحُ بالاستجابة للشروط البيئية والتغيُّرات الناجمة عنها (لاحظوا مع ذلك أن المحدِّدات تشمَلُ حساسيةَ المجسَّات وأداءَ المُشغِّلات وتَوفُّر مصادر القوة بالحجم المطلوب المتوافقِ مع الحجم المرغوب للنظام). وقد يكونُ المثالُ الروبوتات التي تحاكي الحشراتِ أو الطيورَ من أجل تطبيقات من قبيل استكشافِ الفضاء وتحديدِ موقعِ الموادِّ الخطيرة والتعاملِ معها، والعرباتِ الجويةِ غير المأهولة.

• **أنظمةً متعددة الوظائف:** تُعد الأنظمةُ الالكتروميكانيكية الدقيقة المتعددةُ الوظائف و"المخابرُ على رقاقات" أمثلةً ممتازة عن الأنظمةِ التي تجمعُ بين عدة وظائف. وثمة مثالٌ آخر هو نظامُ تقديمِ الدواء باستخدام هلامى مائية ممتصَّة للماء خارجيا وطارِدةٍ له داخليا. لاحظوا أيضا جلودَ الطائرة المصنَّعةِ من موادَّ ممتصة للرادار تنطوي على روابط تكنولوجيا الطيران والقدرة على تعديلِ الشكل استجابةً لتدفق الهواء.

• **متوافقةً بيئيا أو قابلة للبقاء :** سيكونُ من شأن تطويرِ موادَّ مركبةٍ والقدرةَ على تصميم موادَّ عند مستوى الذرة أن يُوفِّر فرصا لصناعة موادَّ أكثر توافقا مع البيئات التي تُستخدَم فيها. وقد تشملُ الأمثلةُ أجهزةً لأعضاء اصطناعيةٍ تعملُ كقوالبَ لنمو نسيجٍ طبيعي، وموادَّ هيكليةً تَتقوّى عند العمل (مثلا بواسطة التغيرات التي تؤدِّي إليها مرحلة الحرارة والضغط).

خامسا: المواد الذكية

1. التكنولوجيا

تتضمنُ العديدُ من أنواع الموادِّ المختلفةِ التي تنطوي على قُدراتٍ للاستشعار والتشغيلِ موادَّ حديدية كهربائية (تتوتَّر استجابةً للمجال الكهربـــائي)، وســـبائكَ لتشكِيل الذاكرة (تُبدي تغيُّرا مرحليا في الشكل مدفوعا بالانتقال استجابةً لتغيّر في الحرارة)، وموادَّ مغناطيسيةً (تتوتَّر استجابة للمجال المغناطيسي). وهذه التـــأثيراتُ تعملُ أيضا بالعكس حيث إن هذه المواد، منفصلةً أو معا، يمكنُ أن تُستخدَم لتَجمَع بين الاستشعار والتشغيل استجابةً للشروط البيئية. وهي اليوم واسعةُ الاستخدامِ في تطبيقاتٍ من طابعاتِ الحبر إلى أدواتِ الأسطوانات المغناطيسية إلى الأجهزةِ المضادة للتخثُّر حاليا.

وثمة فئةٌ هامة من المواد الذكية تكمُن في المركَّبات القائمة على أكســـيد تيتانيوم زرقونات الرصاص والمواد الحديدية الكهربائية ذات الصلة التي تسمحُ بمزيد من الحساسيةِ وتُضاعف الاســـتجابة المتعـــددة للتـــردد بتـــردُّد مـــتغير (Newnham, 1997 [146]). والمثال هو "موني"، وهو محوِّل طاقـــة مـــن تيتانات زرقونات الرصاص موضوعٌ في تجويفٍ على شكلِ هلال، يُوفِّر تضخيما كـــبيرا للاستجابة. وثمة مثالٌ آخر هو استخدامُ مكوِّناتِ تيتانيوم سترونسيوم باريوم وموادَّ كهربائية غير حديدية توفِّر استجاباتٍ ذكيةً في المجال وذكيةً في التـــردد. وتشملُ التطبيقاتُ مجسَّاتٍ ومشغِّلات يمكنُها أن تُغيِّر تردُّدَها إما من أجل توفيقِ

إشارةٍ أو تشفيرِ إشارة. والمواد الحديدية الكهربائية مُستخدمةٌ أصلا باعتبارهـا عناصر ذاكرةٍ غير متقلّبة لبطاقات ذكية وكعناصرَ نشيطةٍ في زلاجات ذكية تُغيِّر الشكلَ استجابة للضغط.

وثمة فئة أخرى هامةٌ من الموادِّ هي المتماثرات الذكية (مثل الهيـولات الأيونية التي تَتشوَّه استجابةً للمجالات الكهربائية). وقد سبقَ استخدامُ هذه المتماثرات النشطةُ كهربائيا لإنتاج عضلات اصطناعية (Shahinpoor et al., 1998 [147]). والموادُّ المتوفِّرة حاليا لها قوةٌ آلية محدودة، ولكنَّ هـذا مجـالٌ لبحثٍ نشيط بتطبيقات ممكنةٍ على الروبوتات لاستكشاف الفضاء، وللقيام بعدة أنواع من الوظائف الخطيرة، وللمراقبة. والهيولات التي تتمدَّدُ وتتقلَّصُ استجابةً للتغيُّرات في الرقم الهيدروجيني أو الحرارة تُعدُّ إمكانيـة أخـرى. ويمكن أن تُستخدم هذه الهيولات لتقديم عُبوات الدواء استجابةً للتغيُّرات في التركيب الكيميائي للجسم (مثلا تقديمُ الأنسولين القـائم علـى تركيـز الغلوكوز). وثمة نوع لهذا التوجُّه لإطلاق الدواء المتحَكَّم فيه هو الموادُّ ذات الخارجِ الممتصِّ للماء والداخلِ الطاردِ له.

2. مسائل وانعكاسات أوسع

إنَّ عالَما يعُجُّ بشبكة من المجسَّات والمشغِّلات (مثلا على جـدران وأجـزاء منها، واللباسِ، والأواني والعربات، والبيئة) يُبشِّر بتحسين أدائها الأقصى وجَعْـلِ قُدرةِ الأنظمةِ والأجهزة حَسْب الطَّلب من خلال التوفُّر المباشر أكثرَ للمعلومـات والمشغِّلات. وقد تَمَّت المزاوجةُ بين استمرارِ توفُّر القُدرة على الاتصال وبين

الأجهزةِ الشخصية المعلَّمة وتصنيفِها وتحديدِ مكانها وتنسيقِ وظائفِ الدعم بما أن تحقيق الفوائدِ يمكن أن يبدأ بحلول 2015.

والتطويرُ المستمرُّ لمجسَّاتٍ صغيرة للقياس الحيوي ومُزاوجتُها بالبحث في التعرُّف على الصوت وخطِّ اليد والبصمة يمكنُ أن يوفِّر أيضا أنظمة أمنٍ شخصيةً فعالة. ويمكن أن تَستخدِمَها الشرطة/الجيش وأن تُستَخدم أيضا في التطبيقاتِ التجارية والشخصية والترفيهية. وبمزاوجة هذه الاستخدامات مع تكنولوجيات الإعلام الحالية يمكنها أن تُساعِد في حلِّ الانشغالات الأمنية والشخصية، بينما يمكنُ لتطبيقاتٍ أخرى مثلَ سلامة المسدَّس المحسَّنة (بواسطة أقفال للتعرف على هوية صاحبه) ومراقبة سرقة السيارات.

والتطبيقاتُ الأخرى الممكنةُ للمواد الذكية التي ستكون ممكنة بحلول 2015 تشمل: ألبسةً تستجيب للطقس تتصل بأنظمةِ المعلومات وتتحكَّم في الإشارات الحيوية، وتُقدِّم الأدوية، وتحمي الجروحَ بصورة آلية؛ وأجنحةً انسيابيةً تستجيبُ لتَدفُّق الهواء؛ وبناياتٍ تتكيفُ مع الطقس؛ وجسورا وطُرُقا تحسُّ بالتشققات وتُصلِحُها؛ ومطابخَ تطهي بتعليمات لاسلكية؛ وهواتفَ ومراكزَ ترفيه من الواقع الافتراضي؛ وفحوصا طبية شخصية (ربما مرتبطة مباشرة بمركز رعاية طبية). واليوم من المحتمل أن يَتوقَّف مستوى تطورِ واندماجِ هذه التكنولوجيات في الحياة اليومية على مواقف المستهلكِ أكثر منه على التطورات التقنية.

وبالإضافة إلى وظيفتَيْ المراقبةِ والتشخيص المشار إليهما تحت الموادِّ الذكية أعلاه فإن التطوراتِ في صناعة الإنسان الآلي قد تُتيحُ قُدراتٍ جديدةً

وأكثرَ حساسية للكشف عن المتفجرات والموادِّ المهربة وتدميرِها، والعملِ في البيئات الخطيرة. ويمكنُ أن تسمحَ الزياداتُ في أداء الموادِّ بالنسبة إلى كلٍّ من مصادرِ الطاقة والاستشعار والتشغيل، إلى جانب دمجِ هذه الوظائفِ مع قوة الحوسبة، بهذه التطبيقات.

ولا تخلو إمكانياتُ هذه التوجُّهاتِ من مشكلات، فالمعلوماتُ المنتشرة المتعلقةُ بالمجسَّات والنفاذُ إلى البيانات المجموعة يُثير انشغالاتٍ كبيرةً بشأن الحياة الخاصة. وسيكون أيضا من شأن وتيرة التطور أن تتوقَّف على مستوياتِ الاستثمار ودوافع السوق. وفي العديد من الحالات ستواصلُ المنافعُ الحالّة وتوفيرُ التكاليف في تطبيقاتِ الموادِّ الذكية الدفعَ إلى التطور، ولكن قد يتَوقَّف البحثُ في مجال الموادِّ الأكثر غرابة على الالتزام العمومي بالبحث والإيمان بالاستثمار في منافعَ بعيدة المدى.

سادسا: التجميع الذاتي

1. التكنولوجيا

تشمل أمثلةُ موادِّ التجميع الذاتي طبقاتٍ بلوريةً شبه غروية بثوابتِ شبيكة ذات نطاق ميزوي (50-500 نانومتر) تُشكِّل شبكيةَ للانعطاف البصري، ومن ثمَّ تُغيِّر اللون بما أن الطبقات تَتضخَّم استجابةً للحرارة أو التغيُّرات الكيمائية. وفي حالة وجود هلامى بمجموعةٍ ثانوية ملتصقة ذات قدرةٍ جزيئية على التعُّرف فإن ذلك يُعدُّ مجسًّا كيميائيا. وتُستَخدمُ نوابضُ غرويةٌ تَتجمَّع ذاتيا

لتشكيل صمَّام ثنائي مضيء (ذي نطاق نانوي) وطبقةٍ معدنية نفـــوذ (بعمليـــة إزاحةٍ يَتبعُها نَزْع المادة التحية شبه الغروية) ومحوِّلِ حاسوبٍ جزيئي.

وقد تم التوصُّل إلى التجميع الذاتي القائمِ على الحمض النووي المشارُ إليه أعلاه (Mirkin, 2000 [106]) بواسطة ألياف من حمضٍ نووي لا تَـــربِطُ تُوصَـــل بجُسَيمَات معدنيةٍ نانويةٍ وبإضافةِ عاملِ ربطٍ لتشكيل شبكةِ حمضٍ نووي. ويمكن أن يُحَوَّل هذا إلى مجسٍّ حيوي أو تقنيةٍ للطباعة الحجرية النانويـــة بالنســـبة إلى الجزيئات الحيوية.

2. مشكلات وانعكاسات أوسع

يمكن لتطوير طرائقِ التجميع الذاتي، في نهاية المطاف، أن يُشكِّل تحديا لطرائق الطباعة الحجرية النانوية وطرائق تصنيعِ الجزيئات. والنتيجةُ أنه يمكنُ تحديدُ طريقـــةِ التصنيع القادمة في وقت ما بعد 2015. وعلى سبيل المثال، هل "تتفـــوَّق" طرائـــق التجميع الذاتي على الطباعة الحجرية (التكنولوجيا المعجِزة لثورة أشباهِ الموصـــلات) في العقد أو العقدين القادمين؟

سابعا: النمذجة السريعة

1. التكنولوجيا

تُدمِجُ طريقةُ التصنيع هذه التصميمَ بمساعدةِ الحاسوب مع تقنياتِ التشكيل السريعِ لخلق نموذجٍ بسرعة (أحيانا بمجسَّات مضمَّنة) يمكن أن يُستخدَم لإظهار أو اختبارِ الجزء قبل الاستثمار في الأجهزة المطلوبةِ للإنتاج. وكانت النمـــاذجُ تُصـــنَع

أصلا من موادَّ بلاستيكيةٍ أو خزفية، ولم تكن نماذجَ وظيفية، ولكنَّ القدرةَ الآن موجودةٌ لصناعة جزءٍ وظيفي، من التيتانيوم مثلا، راجع مثلا منافسةَ العظامِ المهندَسة في القسم المتعلق بالهندسة الطبية.

2. مسائل وانعكاسات أوسع

مثلما تمت الإشارةُ إليه أعلاه فقد تم تصوُّر أنظمةِ التصنيع الذكية ليكونَ بإمكانها ربطُ المستهلك بالمنتوج عبر دورةِ حياته والتَّمكينُ لمؤسساتٍ تجارية عالمية. إذ يمكن أن تتم معالجةُ طلبٍ ما باستخدام التصميم بمساعدة الحاسوب، وسيكونُ نظامُ التصنيع مصمَّما حسب الزمن الفعلي للمنتوج المعيَّن (مثلا النموذج واللون والخيارات)، ويتم الحصولُ على المواد الأوليةِ والمكوِّنات في الوقت المناسب، ويتمُّ تسليمُ المنتوج وتتبُّعه عبر دورة حياته (بما في ذلك الصيانة والرسكلة مع تحديد هوية المستهلك). ومكوناتُ المؤسسة التجارية يمكنُ أن تُقام بصورة فعالة في أكثر الأماكن مردوديةً مع تشكيل الكلِّ في شبكة عالمية. ونمو هذا النوع من المؤسسة التجارية يمكن أن يعجِّل بعولمة التجارة.

ثامنا: البنايات

لقد بلغَ البحثُ في المواد المركَّبة وإدارةِ النفايات والرسكلة مرحلةً يمكنُ فيها اليومَ إقامةُ بنايات باستخدام موادَّ مصنَّعةٍ من كمياتٍ كبيرة من النفايات المحلية أو محتوى المواد المرسكلة (Gupta, 2000 [127]). وتجد هذه الطرائقُ عددا متزايدا من التطبيقات ذات المردودية، لا سيما في البلدان النامية، وتَشمل الأمثلةُ بُرجَي

بيترونـاس (Petronas Twin Towers) في كوالالمبور بماليزيا. فهذان البرجان يُعـدَّان أعلى البنايات على الأرض وهما مصنوعان من خرسانة مدعَّمة بدَل الصّلب. وثمـةَ مادةٌ للتسقيف تُستخدَم في الهند مصنوعةٌ من لِيف طبيعـي ونفايـاتِ الصـناعة الغذائية. وتم أيضا تطويرُ موادَّ مركَّبةٍ جاهزةٍ لبناء المنازل في الولايـات المتحـدة، وتقوم شركةٌ في هولندا بتطوير طريقةٍ للسكن بخسةٍ وواسعةِ الانتشار قَدْر الإمكان مُوجَّهة للبلدان النامية وتَستخدم التَّشكيل بواسطة الرَّش على قوقعة هوائية قابلـة للنفخ.[1]

تاسعا: النقل

ثمة توجهٌ هام في النقل يَكمن في تطوير موادَّ خفيفةٍ للسيارات تزيد فعالية الطاقة بينما تقلل الانبعاثات. والمسألة الرئيسية هنا تكمن في نسبة القوة/الوزن مقابل التكلفة. والمكوِّنات المتقدمةُ من المتمـاثرات أو المعـدن أو المصـفوفات الخزفية، والتعزيزُ بالخزف يُستخدَم أصلا في أنظمة الفضاء والطائرات. وهـذه المكوِّنات غاليةٌ جدا لتطبيقها على السيارات، ومن ثم يجـري تطـويرُ سـبائكِ الألمنيوم واستخدامها في سـيارات مثـل "هوندا إنسايت" (Honda Insight) و"أودي أ8" (Audi A8) و"أل2" (AL2) و"جي أم إي في1" (GM EV1). ورغم أن الابتكارَ في كلّ من التصميم والتصنيعِ أمر مطلوبٌ قبل أن تكون كـل هـذه البنيات من الألمنيوم الخالصِ منتشرةً فإن عنصر الألمنيوم في السيارات الفـاخرةِ

---

1 - للإطلاع على مثال عن استخدام الرَّش على قوقعة هوائية قابلة للنفخ للسكن راجع:
http://www.ims.org/project/projinfo/rubacfly.htm.

والشاحنات الخفيفةِ زادَ في السنوات الأخيرة. ويمكن أن تَسمح أنسجةُ المتماثرات والمكوِّناتُ المعزَّزة بالألياف الفحمية بإنتاج سياراتٍ تقطعُ مسافات طويلةً، ولكن الأليافَ الفحمية أغلى حاليا من الصّلب عدة مرات. ويعملُ البحث الذي تموِّلُه وزارة الطاقة في مختبر "أوك ريدج (Oak Ridge) الوطني" على تطوير أليافٍ فحمية بخسة يمكن أن يكون لها تطبيق وتأثير أوسع.

وبدفعٍ من قوانين كاليفورنيا التنظيميةِ المتعلّقة بالسيارات ذاتِ الانبعاث المتدني جدا قامت كلٌّ من "هوندا" و"طويوطا" بإدخال سياراتٍ هجينةً كهرباء/بترين. وقام مجمعُ الحكومة الأميركية والصناعةِ المسمى "الشراكة من أجل جيل جديد من السيارت" بعرضِ سيارات هجينة نموذجية تَستخدم كلا من قوة الديزل/ الكهرباء والديزل/بترين وحَدَّد عام 2008 كهدف لإنتاج سيارة. وتَستخدمُ هذه السياراتُ حاليا الموادَّ المتاحة، ولكنَّ مسائل تقليص تكلُفةِ الإنتاج التي وُصفت أعلاه هامة لتصلَ بتكاليف الإنتاج إلى مستويات تسمحُ بنفاذ كبيرٍ إلى السوق.

عاشرا: أنظمة الطاقة

إذا ما استمرَّ توفُّر النفط سيَصعُب على توجُّهات التكنولوجيا أن تكونَ قوةَ دفعٍ كبيرةً في الطاقة العالمية من الآن إلى 2015. وتتعلقُ المسائل الرئيسيةُ باستمرار واردات النفط واستخدامِ الفحم ومصادرِ الغاز الطبيعي، ومصيرِ الطاقة النووية. ومع ذلك يمكنُ أن يكونَ للتكنولوجيا تأثيرٌ كبير في بعض المجالات.

وإلى جانب الاستثماراتِ في الطاقة الشَّمسية يمكنُ أن تَسمح الاستثماراتُ الحاليةُ في تكنولوجيا البطاريات وخلايا الوقودِ باستمرار التوجُّهات في أدواتٍ وأنظمة محمولةٍ أكثر، بينما يتمُّ توسيعُ مدة التشغيل.

وقد تسمحُ التطوراتُ في علم المواد بتوزيعٍ أكثرَ لأنظمةِ الطاقة لعام 2015 وبقُدرةٍ أكبر لتخزين الطاقة، إلى جانب نظام الطاقة في مجال القيادة والسيطرة والاتصال. ويمكن أن تبدأ الأسلاكُ ذات التوصيل الخارق للحرارة المرتفعة، والمحوِّلاتُ، وأجهزةُ التخزين في زيادة قدرات نقلِ الطاقة وتوزيعِها ونوعية الطاقة في هذه الفترة.

والتطورُ المستمرُّ للطاقة المتجدِّدة يمكنُ أن يُدعَّمه الجمعُ بين موادَّ قابلةٍ للرسكلة، وخفيفةٍ، وبخسة (ربما الهندسة الوراثية لوقود الكتلة الحيوية) لتوفّرَ طاقةً ذات مردوديةٍ للبلدان النامية التي لا توجدُ فيها بنياتٌ تحتيةٌ متقدمةٌ للطاقة، إلى جانب المناطق النائية.

غير أن التغيراتِ الهامةَ في البلدان المتطورة قد تدفعُ إليها أكثرُ القُوى الاجتماعية والسياسية والتجارية الموجودة بما أن مزيج الوقود لعام 2015 سيبقى قائما بصورةٍ كبيرة على الوقود الأحفوري. وقد تُغيِّر الانشغالاتُ البيئية مثل الاحتباس الحراري العالمي والتلوث هذا الاتجاه، ولكنْ يمكن أن يَتطلب الأمرُ على المدى البعيد مشكلاتٍ اقتصاديةً (مثل ارتفاع مُطوَّل لأسعار النفط) أو في التوزيع (مثل قطع الإمدادات بالنزاعات العسكرية) حتى يتمَّ الدفعُ إلى التقدم في تطوير الطاقة المتجددة.

حادي عشر: المواد الجديدة

قد يوفّر البحثُ في مجال المواد تحسيناتٍ في الخصائص بحلول 2015 في عدد من المجالات الإضافية مؤديا إلى تأثيراتٍ كبيرة.

ويجري بحثُ أشباهِ موصلاتٍ من كاربايد السيلكون ونيتريد الغاليوم وأشباهِ الموصلات الأخرى ذات الفجوةِ الواسعة، باعتبارها موادَّ تحملُ إلكتروناتٍ عاليةَ الطاقة.

والموادُّ المُرتَّبةُ وظيفيا (بمعنى المواد التي تتغيَّر خصائصُها تدريجيا من نهاية إلى أخرى) يمكن أن تُشكّل طبقاتٍ وسيطةً مفيدةً بين مكوِّنات متعددةٍ آليا أو كهربائيا أو حراريا.

ويجري تطويرُ أقطابٍ سالبة وأقطابٍ موجبة وكهرولات ذات قدرة أكبر وحياةٍ أطول للحصول على بطارياتٍ محسَّنة وخلايا الوقود.

ويمكن أن تَعمل اليومَ أشباهُ الموصلات ذات الحرارة المرتفعة (الخزف) المكتَشَفة عام 1986 بالنتروجين المميَّع (عوض الهليوم المميع). وقد تمَّ بناءُ أجهزة نموذجية مثل أسلاك التوصيل الكهربائية والمحوِّلات وأجهزةِ التخزين والمحركاتِ وأدوات الحدِّ من إفراط التيار. ومن المفروض أن تبدأ التطبيقاتُ الكامنة على أنظمة الخدمة الكهربائية عام 2015 (مثلا تعويضُ الأسلاك المدفونة تحت الأرض في المدن، وتعويضُ محوِّلات المحطات الفرعية الأقدم).

ويجري بحثُ الموادِّ الضوئيةِ غيرِ الخطية مثل تيار نيوبات الليثيوم المشـــبَّع بالإربيومLiNbO3 Erbium-Doped Lithium Niobate للحصول على الليزر فـــوق البنفسجي (مثلا للسَّماح بطباعةٍ حجرية أفضل). والجهـــودُ جاريـــةٌ لتقلـــيص الضرر، وزيادة فعاليةِ التحويل، وتقليصِ الاختلاف وتحديدِ حـــدّ الامتصـــاص حسب الطلب.

وهناك موادُّ صلبة من قبيل طَلَيَات من البلور النانوي والماسِ قيد التطوير لتطبيقاتٍ من قبيل محركاتِ قُرصِ الحاسوبِ وحفارِ الآبار لاستكشـــاف الغـــاز والنفط تباعا.

كما يتم تطويرُ موادَّ ذاتِ حرارة مرتفعةٍ كالمعـــادن الوســـيطة المطيليـــة ومُركَّباتِ مصفوفاتِ الخزفِ الموجَّهة للتطبيقات الفضائية وأنظمةِ تحويلٍ طاقوية وبتروكيماوية عالية الفعالية.

ثاني عشر: المواد النانوية

يجمعُ هذا المجال بين تكنولوجيا النانو وعدةِ تطبيقاتٍ لموادَّ مبنيـــةٍ علـــى النانو. وأحدُ مجالات البحث الهامة هو تَشَكُّل "نقاط كمٍّ" شبه موصلة (بمعـــنى عدةُ بلورات ذاتُ أوجه بحجمِ النانومتر)، وذلك بتلقيمِ موادَّ أصليةٍ تُســـتَخدَم تقليديا لترسيب أشباه الموصلاتِ بواسطة البخار الكيميائي في سائل ساخن من عامل نشيط ذي فاعلية سطحية. و"نقطة الكمِّ" هذه هي في الحقيقة جزيءٌ كليٌّ لأنه مطليٌّ بطبقة وحيدةٍ من عامل نشيط ذي فاعليةٍ سطحية تمنع التكتُّل، وهذه

الموادُّ تتلألأُ عندَ تردُّداتٍ (ألوان) مختلفةٍ حسب حجمِها، وهو ما يسمحُ بالتضاعف الضوئي في وضعِ العلامة الحيوية.[1]

وثمة فئةٌ أخرى هامةٌ لموادِّ النانو هي الأنابيبُ النانوية (الأخوات الأسطوانية المفتوحة لجزيئات فولّر Fullerenes).[2] وتكمن التطبيقاتُ الممكنةُ في وسائل الانبعاثِ المجالي (بحث ميتسوبيشي)، وأسلاكٍ نانويةٍ للبطاريات وتخزينِ الليثيوم أو الهيدروجين، وإدارةِ الحرارة (تسخين الأنابيب أو العزل، ويستفيدُ الأخيرُ من ثباتِ خواصِّ التوصيلِ الحراري على محور الأنبوب ومتعامد معه). والإمكانيةُ الأخرى هي استخدامُ أنابيبَ نانويةٍ (أو ألياف مصنوعة منها) كدعم للموادِّ المرَكَّبة. ومن المحتملُ أنه بسبب طبيعةِ الربط يُتوقَّعُ أن تكون الموادُّ القائمةُ على أنابيب النانو أقوى 50 إلى 100 مرة أكثرَ من الصلب بنسبةِ واحدٍ إلى ستة من الوزن إذا ما أصبحَ من الممكن تجاوزُ العقباتِ التقنيةِ الحاليةِ (Smalley, 1999; Service, 2000 [155, 161]).

---

1 - من أجل وصف التطبيقات التي تقوم بها Quantum Dot Corporation راجع، http://www.qdots.com. لاحظوا أن هذه الطريقة تتميز على الأصباغ المستَخدمة حاليا: فنقاط الكم لا تتلاشى تقريبا عند الضوء بنفس السرعة وهو ما يسمح بالتضاعف ويتلألأ عشرات الثواني النانوية بعد التلألؤ الذاتي (ومن ثم تفصل الإشارة عن الضوضاء). ومن ثم فإنها قد تسمح بالمعالجة السريعة من أجل اكتشاف الدواء واختبارات الدم وتحديد التركيب الجيني والتطبيقات الحيوية الأخرى.

2 – للإطلاع على روابط مواقع الأنابيب النانوية المعلومات العامة انظر، http://www.scf.fundp.ac.be/~vmeunier/carbon_nanotube.html.
لاحظوا أن الأستاذ "ريتشارد سمالي" (Richard Smalley) في "جامعة رايس" (Rice University) أنشأ معملا للإنتاج، انظر، (http://cnst.rice.edu/tubes/).

ويمكنُ أيضا الحصولُ على البنياتِ غير النانوية ذاتِ الخصائص الميكانيكيةِ المرغوبةِ أو غيرِها بالمعالجة. وتشملُ الأمثلةُ تعزيزَ البذور النانوية، وزيادةَ مطيليةِ المعادن ببنيةٍ دقيقة ذاتِ نطاق نانوي متعددِ المراحل، وزيادةً في تأخير الاحتراقِ للمُركَّبات النانوية البلاستيكية.

ثالث عشر: تكنولوجيا النانو

لقد تمَّ تحقيقُ الكثير في التوجُّه إلى إنتاج أدواتٍ ذاتِ قياسٍ يتناقصُ دوما. وتوقَّع العديد من الناس استمرار الأدواتِ ذات النطاق النانومتري في هذا التوجُّه حاليا إلى مستوياتٍ لم يسبق لها مثيل. ويشملُ هذا الأمر تقلُّصا في النطاق، ليس فقط في الإلكترونيات الدقيقة بل أيضا في مجالاتٍ من قبيل الأنظمة الالكتروميكانيكية الدقيقةِ والحوسبة القائمِ على التحويلِ والكَمِّ في المدى القصير. وهذه التطوراتُ قادرةٌ على تغييرِ الطريقة التي نُهندِسُ بها بيئتَنا ونَبْني الأنظمةَ ونتحكمُ فيها ونتفاعلُ في المجتمع.

1. أجهزةُ الحوسبة المصنَّعةُ نانويا

الرقاقات المصنَّعة نانويا. تدعو شركةُ تكنولوجيا تصنيع أشباه الموصلات (SEMATEC)، وهي المجموعةُ الصناعية الرائدةُ في تصنيعِ أشباه الموصلات، إلى تطوير أشباهِ موصلاتٍ نانوية في آخر خارطةِ طريقِها العالمية لتكنولوجيا أشباه الموصلات (ITRS SEMATECH, 1999 [190]). وتدعو الخارطةُ إلى صمّام بطول 35 نانومتر في 2015 بعددٍ إجمالي من الوظائف في مُعَالِجات إنتاجٍ

ويمكنُ أيضا الحصولُ على البنياتِ غير النانوية ذاتِ الخصائص الميكانيكيةِ المرغوبةِ أو غيرِها بالمعالجة. وتشملُ الأمثلةُ تعزيزَ البذور النانوية، وزيادةَ مطيليةِ المعادن ببنيةٍ دقيقة ذاتِ نطاق نانوي متعددِ المراحل، وزيادةً في تأخير الاحتراقِ للمُركَّبات النانوية البلاستيكية.

ثالث عشر: تكنولوجيا النانو

لقد تمَّ تحقيقُ الكثير في التوجُّه إلى إنتاج أدواتٍ ذاتِ قياسٍ يتناقصُ دوما. وتوقَّع العديد من الناس استمرار الأدواتِ ذات النطاق النانومتري في هذا التوجُّه حاليا إلى مستوياتٍ لم يسبق لها مثيل. ويشملُ هذا الأمر تقلُّصا في النطاق، ليس فقط في الإلكترونيات الدقيقة بل أيضا في مجالاتٍ من قبيل الأنظمة الالكتروميكانيكية الدقيقةِ والحوسبة القائمِ على التحويلِ والكَمِّ في المدى القصير. وهذه التطوراتُ قادرةٌ على تغييرِ الطريقة التي نُهندِسُ بها بيئتَنا ونَبْني الأنظمةَ ونتحكمُ فيها ونتفاعلُ في المجتمع.

1. أجهزةُ الحوسبة المصنَّعةُ نانويا

الرقاقات المصنَّعة نانويا. تدعو شركةُ تكنولوجيا تصنيع أشباه الموصلات (SEMATEC)، وهي المجموعةُ الصناعية الرائدةُ في تصنيعِ أشباه الموصلات، إلى تطوير أشباهِ موصلاتٍ نانوية في آخر خارطةِ طريقِها العالمية لتكنولوجيا أشباه الموصلات (ITRS SEMATECH, 1999 [190]). وتدعو الخارطةُ إلى صمّام بطول 35 نانومتر في 2015 بعددٍ إجمالي من الوظائف في مُعَالِجات إنتاجٍ

دقيقةٍ ذات حجم كبير يبلغُ حوالي 4.3 بليون. وبالنسبة إلى المعالجات ذاتِ الحجم الصغيرِ والأداءِ العالي فإن عدد الوظائفِ قد يكون 20 بليونا. والهدفُ هو أن تكون رقاقاتُ الذاكرةِ الموافقةُ تحملُ حوالي 64 جيغابايت. وستواصلُ أهدافُ خارطةِ الطريق هذا التوجُّهَ الكبيرَ في معالجة الطاقةِ دافعةً بذلك إلى تطوراتٍ في تكنولوجيا المعلومات. ورغم وجودِ عددٍ من التحدِّيات الهندسية (من قبيل الطباعة الحجرية، والروابط، والإدارة المعيبة) فإن العقباتِ أمام تحقيقِ هذا المستوى على الأقل من الأداءِ لا تبدو غير قابلة للتجاوز.

وبالنظر إلى النقائص غيرِ المتوقَّعة في الإنتاج الاقتصادي لهذه الرقائق (مثلا بسبب تكاليف التصنيع المرتفعة جدا أو الأعدادِ الكبيرة بصورة غير معقولة لقيود التصنيع) فإن العديدَ من البدائل تبدو ممكنة. وتُقدِّم معماريّاتُ الحاسوب التي تسمحُ بالعيوب بديلا، على غرار النمذجة على نطاق ضيِّق التي تقومُ بها "هيوليت باكارد" (Hewlett Packard) (Heath et al., 1998 [186]). وتُوفِّرُ هذه الطرائقُ البديلة مستوًى من السلامة الإضافيةِ لأهداف الأداء التي وَضَعتها خارطةُ الطريق العالميةُ لتكنولوجيا أشباه الموصلات.

ومع ذلك، سيكون من المحتمل في السنوات التي تَعقُب 2015 مواجهةُ صعوباتٍ إضافية، بعضُها قد يُشكِّل تحدياتٍ كبيرةً لتقنيات أشباه الموصلات التقليدية. وفي المقابل، يمكنُ بوجه خاص لحدودِ الدرجة التي قد تُقاس عندها الروابطُ أو "الأسلاك" بين الصمّامات أن تَحُدَّ من سرعة الحوسبة الفعليةِ للأجهزة بسبب خصائص الموادِّ وتوافُقها رغم التطورات المتزايدةِ اليوم في هذه المجالات. فتبديدُ الحرارة في رقاقاتٍ عالية الكثافة سيطرحُ أيضا مشكلةً عويصة. وهذه

المسألةُ ليست عقبةً كأداء بما أنها مسألةٌ اقتصادية، حيث يمكن أن تكون آليـاتُ تبديدِ الحرارة وتكنولوجيا التبريدِ مطلوبة، وهو ما يزيد في تكلفة النظـامِ ككـل ويؤدِّي إلى تأثير عكسي في التكلفة الحدِّية لكلِّ وظيفةٍ حوسبية لهذه الأجهزة.

الحوسبة القائمة على الكمّ والتحول. ثمَةَ حلٌّ ممكنٌ على المدى الطويـل للتغلب على العقبات التي تعترضُ القوةَ الحوسبية المتزايدةِ ويكمُنُ في الحوسـبة القائمة على أجهزةٍ تستفيدُ من تأثيرات الكمِّ العديدة. وجوهرُ الابتكار في هذا العمل يكمنُ في استخدام تأثيراتِ الكمِّ مثل استقطابِ الالكترونـات اللـولبيِّ لتحديد حالة المحوِّلات الفردية. وهذا يخالف الالكتروناتِ الدقيقةَ التقليدية أكثر التي تمنحُ خصائصَ دقيقةً لعدد كبيرٍ من الالكترونات مستفيدةً مـن خصـائصِ مواد أشباه الموصلات.

والعديدُ من مفاهيم حواسيب الكمِّ جذَّابـة بسـبب تشَـابُهِها الكـبير في الحساب، ولكن لا يُتوقَّع أن يكون لها تأثيرٌ بحلول 2015. وتختلفُ هـذه المفـاهيمُ نوعيا عن تلك المستعملةِ في الحواسيب التقليدية، ومـن ثم سـتتطلبُ معماريـاتٍ جديدةً للحاسوب. وأنواعُ الحساب (ومن ثم التطبيقات) التي يمكنُ تنفيذُها بسرعة باستخدامِ هذه الحواسيب ليست نفسها تلك التي يَحُلها أصلا الحاسوب الرقمـي الحالي. وقد قام العديدُ من العاملين في هذا المجال بحلِّ لوغاريتمات تتعلقُ بمشكلاتٍ كثيفة حوسبيا (ومن ثمة مستهلكة للوقت) بالنسبة إلى الحواسيب الرقمية الموجـودة التي يمكنُ جعلُها أكثرَ سرعة باستخدام فيزياء حواسيبِ الكمّ. وتشملُ أمثلةُ هـذه المشكلات قسمةَ أعداد كبيرة إلى عواملَ (لاسيما لتطبيقات الطباعـة الحجريـة)، والبحثَ في قواعدِ بياناتٍ كبيرة، وتوفيق النماذج، ومحاكاةَ ظواهر الجزيء والكمّ.

ويشيرُ مسحٌ أوَّلي للعمل في هذا المجال إلى أنه من المستَبعَد أن تتجاوز محوِّلاتُ الكمّ العقباتِ التقنيةَ الرئيسيةَ مثل تصحيح الخطإ، وعدمِ الاتساق، ومُدخلِ الإشارة ومُخرَجِها في السنوات الخمس عشرة القادمة. وإذا ما كانت هذه هي الحالُ فعلا، يبدو أن نظام الحوسبة القائمَ على الكمّ/التحوّل لن يكون منافسا للحواسيب الالكترونية الرقمية التقليدية إلى عام 2015.

2. الأجهزة الجزيئية الحيوية والالكترونيات الجزيئية

العديدُ من نفس التحدياتِ المتعلقة بالتصنيع والمعمارية التي تم تناولُها أعلاه فيما يتعلق بحوسبة الكمّ تنطبق أيضا على الالكترونيات الجزيئية. ويمكن أن تعمل الأجهزةُ الالكترونية الجزيئيةُ باعتبارها محوِّلات بواسطة وسائلَ كيميائيةٍ باستخدام مرَكَّباتٍ عضويةٍ اصطناعية. ويمكن تجميع هذه الأجهزةِ كيميائيا في أعداد كبيرة وتنظيمُها لتُشكِّل حاسوبا. والفائدةُ الأساسية من هذه الطريقة تكمنُ في استهلاكِ الأجهزةِ الفردية طاقةً أقل بكثير. وقد تم تصوُّر العديد من الطرائق لهذه الأجهزة، وأوضحت التجاربُ دليلا على وجودِ توجُّه نحو الآلات الفردية. واقترحت مجموعاتُ بحثٍ عديدة الربطَ بين الأنابيب النانوية الفحمية التي تُوفِّر ناقليةً عاليةً باستخدامِ خيوطٍ جزيئية مُفرَدةٍ من الفحم. ويجري تحقيقُ تَقدُّمٍ نحو زيادة الحرارة العاملةِ لهذه المحوِّلات إلى درجة حرارة غُرفةٍ تقريبا جاعلةً التراجعُ عن عمليةِ التحوُّل أمرا ممكنا ومزيدةً الكميةَ الكليةَ للتيار التي يمكنُ تحويلُها باستخدام هذه الأجهزة.

وتبقى العديدُ من المشكلات الرئيسيةِ عالقةً فيما يتعلق بالالكترونيات الجزيئية. وتكمنُ إحداها في أنه يجب أن تكون الذاكراتُ الجزيئية قادرةً على

المحافظة على حالتها، كما هو الأمرُ في الحاسوب الالكتروني الرقمي. وأيضا، بما أن عملية تصنيعِ هذه الأجهزة وتجميعِها ستُؤدِّي إلى قِطَع مَعيبة، فإن هناك حاجةً إلى تطوير معماريةِ حاسوب تَسمح بالعيوب. ويعد تصنيعُ روابطَ موثوقٍ بها بين الأجهزة باستخدام أنابيبَ نانويةٍ من الفحم (أو تكنولوجيا أخرى) تحديا إضافيا، وثمة عمل كبير يجري في كلٍّ واحد من هذين المجالين. ورغمَ أن التقدُّم في تجريبها إلى اليوم في هذا المجال كان كبيرا، إلا أن إمكانيةَ تطوير حواسيبَ جزيئيةٍ في السنوات الخمس عشرة القادمة قادرةٍ على أن تكون جاذبةً نسبيا (من وجهة نظر السعر والأداء) مقارنةً بالحواسيب الالكترونية التقليدية يبدو أمرا مستبعدا (مثلما هو الأمر مع حوسبة الكم).

3. مسائل وانعكاسات أوسع

إن فحصَ إمكانيةِ تطويرِ قُدراتٍ حوسبية مختلفة من حيثُ النوعُ ضمن قواعدَ تكنولوجيةٍ مختلفةٍ يُعَد عملا مثيرا للتحدي. فقد شَهِد تاريخُ الحوسبة في السنواتِ الخمسين الأخيرة تَحوُّلا رئيسيا في قاعدة التكنولوجيا (من الأنابيب الفارغة إلى أشباه الموصلات)، مع تحوُّلٍ مماثلٍ ليس فقط في القوة الحوسبية بل في المواقف من قيمة الحواسيب أيضا. وفسَحت أفكارُ الحواسيب باعتبارها مجرَّدَ آلاتٍ للحساب الطريقَ لاستخدامِ الحواسيب للإنتاجية الشخصية مع ظهورِ المعالجِ الدقيق. وبما أن طاقة هذه المعالجاتِ نمت بشكلٍ كبير فقد أصبح يُنظر إليها مؤخَّرا جدا على أنها أداةً لوسائطَ إعلاميةٍ جديدةٍ وللتآلف الاجتماعي.

وتداعياتُ تكنولوجيا الحوسبة المستقبليةُ سيحدِّدُها أساسا عاملان: التصميمُ والتطويرُ واعتمادُ تطبيقات جديدة، وهو ما يتطلب قوةَ حوسبة أكبر

بكثير؛ وقدرةُ التكنولوجيا على تلبية هذه المتطلبـــاتِ الجديـــدة، فالتطبيقـــات الجديدة يَصعُب توفيرُها دائما، ولكن توقُّعَ النتائجِ المحتملةِ مـــن نشـــر هـــذه التكنولوجيا فإن الأمر يعد أقلَّ صعوبة. فقد بيَّنت التجربةُ الماضية مع الحواسيب الشخصية والاتصالات أن هذه التكنولوجيا تنتشرُ بسرعة في العالم المتطور أكبر منها في العالم النامي، ومن الصعب توقُّع زيادةٍ في الحواجز السياسيةِ والعرقيـــةِ أمام تكنولوجيا الحساب وراءَ تلك التي نراها اليوم، وهذه تزول بسرعة.

أما المسألة المتبقيَّة المتعلّقة بتطوير التكنولوجيا فإن الاحتمالات الراجحـــة أكثر للسنوات الخمس عشرة القادمة تبقى الحواسيبُ الالكترونيـــة الرقميـــةُ التقليدية القائمةُ على تكنولوجيا أشباه الموصلات. وبالنظر إلى التأكيـــد شـــبه المطلق للتقدمِ المستمر في هذا المجال فإنه من الصعب تخيُّل سيناريو يمكنُ أن تُوفّر فيه تكنولوجيا منافسةٌ (حوسبة قائمة على التحوُّل والكمّ أو حواسيبُ جزيئيـــةٌ أو شيءٌ آخر) ميزةَ أداءٍ كبيرةً بسعر منافس. ولكنَّ السؤالَ على المدى الطويل، والمتملص تقليديا، في فترة ما بعد 2015 هو كمْ ستدومُ الحوسبة التقليدية القائمةُ على السيليكون؟ ومتى تصبحُ (إذا ما حدث ذلك) تكنولوجيا منافسةٌ متاحـــةً وجذابة؟ وإذا ما أصبحت تكنولوجيا حوسبةٍ بديلةٌ جذابةً بما يكفي فإنَّ الآثـــار الاقتصاديةَ لتعويض التكنولوجيا القائمة على صناعة أشباهِ الموصـــلاتِ الحاليـــة والصناعات المجاورة يجب أن تُؤخَذ بعين الاعتبار. وعلى ســـبيل المثـــال فـــإنَّ الفاعلينَ الرئيسيينَ في الصناعة قد يُواجهُهم الاختيارُ بين التخلي عن فُرصِـــهم القائمةِ في السوق لصالح هذه التكنولوجيات المستقبليةِ الجديدة، متنافسين النـــدّ للند مع فاعلين جدد، وبين مجرّد اكتسابها. والأكثرُ أهمية، بالنظر إلى الطرائـــق المعمارية المختلفةِ جدا لهذه التكنولوجيات وفئات المشكلات التي تكون ملائمةً

لها أفضل، ما هو التأثيرُ على التطبيقات المستقبلية؟ قد تصبحُ فعلا تباشيرُ تكنولوجيا النانو واقعا في فترة بعد 2015، ولكنها ستواجهُ تحدياتٍ منافسةً قبل أن تصبح أهميتها عالمية.

رابع عشر: الأنظمة الدقيقة المدمجة والأنظمة الإلكتروميكانيكية الدقيقة

تُعد الأنظمة الالكتروميكانيكية الدقيقة في حدِّ ذاتها مجالَ تطبيقٍ أقل منه تقنيةَ تصنيع أو تركيب تسمحُ بمجالات تطبيقٍ أخرى. ويَستخدم العديدُ من المؤلّفين "الأنظمة الالكتروميكانيكية الدقيقة" كمختصرٍ لتضمين عدد من مجالات التطبيقِ الخاصة. وكما هو مُستخدمٌ هنا فإن هذه الأنظمة تُعدُّ تكنولوجيا تصنيعٍ "من القمة إلى القاعدة" مفيدةً بوجه خاصٍّ لدمج الأنظمة الميكانيكية والكهربائية معا على نفس الرقاقة. وهي تُدرَج في فئة الأنظمة الدقيقة المدمجة لأن تقنياتِ هذه الأنظمة نفسها يمكنُ أن تتوسَّع في المستقبل أيضا لتساعدَ على دمج المكونات البيولوجية والكيميائية على نفس الرقاقة، مثلما تمت مناقشتُه أدناه. وهكذا فإن تقنياتِ "الأنظمة الالكتروميكانيكية الدقيقة" تُستخدمُ لصناعة بعض الأجهزة التجارية الوظيفية مثل المجسّات وآلات القياس ذات الرقاقة الواحدة. ويَستخدمُ العديدُ من الباحثين تكنولوجياتِ الأنظمة الالكتروميكانيكية الدقيقة كأدواتٍ تحليلية في مجالات أخرى من تكنولوجيا النانو من قبيل المجالاتِ التي تُناقش هنا.

1. أنظمة ذكية على رقاقات (ودمج المكونات البصرية والالكترونية)

لقد سبق أن تم بنجاح دمجُ مكوِّنات مجسّات كيميائية وبصرية الكترونية في تصميمات لرقاقات الذاكرة والمنطق في مختبرات البحث والتطوير. وبالمثل فإن دمج مكوِّن موجة الراديو في أجهزة لاسلكية يجري إنتاجُه أصلا بكميات كبيرة. وتملك بعضُ الشركات منتجات قادرةً على القيام باختبارات الحمضِ النووي الأساسية. وتتوقَّعُ خارطةُ الطريق العالميةُ لتكنولوجيا أشباه الموصلات لعام 1999 (المشار إليها أعلاه) إدخالَ مكونات لمجسٍّ كيميائي بتصميمات تجارية ومنطقية بحلول 2002، وبدمجِ مكوِّن الكتروني بصري بحلول 2004، ودمجِ أنظمة حيوية بحلول 2006. وبالنظر إلى هذه التنبؤات فإن هناك وقتا كافيا لتطوير أنظمة مُدمَجة معقَّدة نسبيا وتطبيقات في أجل 2015. ويمكن أن تسمح هذه التطوراتُ بالعديد من التطبيقات حيث يمكن أن يُصبحَ المزيدُ من الوظيفية المدمجةِ منتشرةً نتيجة للتكاليف المنخفضة والتغليف المجهري.

2. تكنولوجيا المقاييس والقياسات النانوية/الدقيقة

تُعَد تكنولوجياتُ المقاييسِ والقياسات جزءا من المجالات المبشِّرة أكثرَ بتطوراتٍ قريبة المدى وذاتِ الآثار الممكّنة. وبما أنه يمكن دَمجُ المكوِّناتِ الحيويةِ والكيميائية والسائلةِ والبصرية مع مكوِّناتٍ للذاكرة والمنطقِ على نفس الرقاقة بتكلُفة لا تُذكر فإن الكشف عن الأدوية، والبحثَ الوراثي، والتجاربَ الكيميائيةَ، والتركيب الكيميائي من شأنها كُلّها أن تتأثر بصورة جوهرية بهذه التطورات بحلول 2015 (انظر أيضا القسم السابق).

وكانت بعضُ أُولى تطبيقاتِ الأجهزة النانوية (والدقيقة) عبارةً عن مجسّات أساسية للتَّسريع (مثل تلك المستخدمة في البالونات الهوائية) والضغط إلخ. والمجسّاتُ الكيميائية والبصريةُ الصغيرة والدقيقةُ ذاتُ الغرض الخاص اُستُخدمت بعضَ الوقت في تجهيزاتٍ مخبرية متقدمةٍ إلى جانب معالجاتٍ دقيقة للإشارة وللحوسبة. وقد سبقَ للشركات وضعُ منتجاتٍ تسمحُ بالتحليل الأساسي للحمض النووي يمكنُها أن تُساعد في اكتشاف الأدوية. وبما أن هذه المجسّات تُصبح أكثرَ تقدُّما وأكثر اندماجا مع القدرة الحوسبية (بمساعدة أنظمة على رقاقة) فإن فائدتها من المفروض أن تَزداد بصورة كبيرة جدا لاسيَّما في مجال الطب.

3. مسائل وانعكاسات أوسع

ثمة العديدُ من المزايا لتكنولوجيا النانو بالنسبة إلى الأنظمة المدمجةِ عموما (وأنظمة القياس والمقاييس كمجموعة فرعية من هذه). أولا، سيكون من شأن تكنولوجيات أشباهِ الموصلات الموجودة أن تسمحَ بحجم كبيرٍ من الأنظمة الذكية المدمجة التي يمكن إنتاجُها بتكلفة قليلة بما يكفي لاعتبارها ذات الاستخدامِ الواحد. ثانيا، يسمحُ التشابهُ الكبير الذي تُوفّره نفسُ هذه التكنولوجيا بالتحليل السريع (بالحوسبة المدمجة) لعيناتٍ غايةٍ في التعقيد (مثل الحمض النووي)، ومعالجة أعدادٍ كبيرة من العيِّنات، والتعرفِ على أعداد كبيرة من العوامل (مثل عوامل الإصابة والذيفان). وأجهزةٌ بمثل هذه الخصائصِ هي أصلا ذاتُ فائدةٍ كبيرة جدا في المجال الطبي لاختبار الأدويةِ والاختبارات الكيميائية إلخ. وبالإضافة إلى ذلك سيكونُ من شأنها أن تصبح ذاتَ فائدةٍ في العديد من التطبيقات الصناعية.

وقد بدأت الأنظمة النانوية/الدقيقة تؤثّرُ أصلا في التطبيقات، حيثُ يُؤدّي تصغيرُ المكوّنات والأنظمة الفرعية وحتى النظم المعقّدة إلى تقليص حجمِ الجهاز والطاقةِ والمستهلَكات بصورةٍ كبيرة بينما تُدخِل قدراتٍ جديدة. ويُعــدُّ هــذا المجالُ نفسُه ملائما بصورة طبيعية كنقطة التقاءٍ للمجالات الواسعة الــتي تمــت مناقشتُها في هذا التقرير (في التكنولوجيا الحيوية والمواد وتكنولوجيــا النــانو). ويمكنُ أن تشهَد السنوات الخمس إلى العشر القادمة دمــجَ قــدراتِ حوســبة بمكوّنات بصرية وكيميائية وبيولوجية في أنظمةٍ على رقاقة. وفي نفس الوقت من المفروض أن تُؤدّي التطوراتُ في التكنولوجيا الحيويــة إلى تطبيقــاتٍ في مجــالِ اكتشافِ الدواء ولعلم الجينوم، إلى جانب فهمٍ أساسي للعديد مــن الظــواهرِ الأخرى. وسيكونُ من شأن التطوراتِ في الموادِّ الحيوية أن تُنتِجَ موادَّ تغليــفٍ متوافقةً بيولوجيا وقادرةً على عزل الموادِّ من الجسم بطريقة متحَكَّمٍ فيها زمنيــا (مثلا لإعطاء الدواء). والتقاءُ هذه القدرات يمكن أن يسمحَ بمواصــلة تطــوُّر الأنظمة النانوية والدقيقة التي يمكن أن يَستمرَّ إدخالُها في الجسم للقيام بوظائفِ التشخيصِ الأساسية بأقلّ تدخُّل ممكن،[1] وهو ما يُتيحُ قدراتٍ جديــدةً لعــلاج المشكلات الصحية.

وتشملُ التطبيقاتُ الأخرى الممكنة: أنظمة استشــعارٍ ذاتيــةَ الحركــة ومنتشرة؛ وأجهزة نانوية حفازة لغسل الغاز، ومحفزاتٍ نانوية؛ وحتى "أقمــارا صناعية نانوية" في شكل شبكة. وعلى سبيل المثال فإنّ مــا يُســمى "الأقمــار الصناعية النانوية" تهدفُ إلى إحداث تقليصاتٍ كبيرة في كل من الحجم والكتلة

---

1 - راجع على سبيل المثال، التطورات الأخيرة في الفحص بالمناظير في شكل عبوات لاسلكية Iddan et al., 2000 [210])

(مثلا، إلى 10 كلغ)، وذلك بتقليص مكوِّناتِ الأنظمة الرئيسيةِ باستخدام أنظمة دقيقة مُدمَجة. وإذا ما نجحَ هذا فإنه سيَقتصدُ في المهمات والطرائق الحالية (مثلا، الاتصال والاستشعار عن بعد، والتموقع العالمي، والدراسة العلمية) بينما يَسمحُ بمهمات جديدة "مثل الدعم والإسنادِ الفضائي التكتيكي العسكري، ورادارٍ ذي فتحات موزَّعة، والدراساتِ العلمية الجديدة) (Luu and Martin, [214] 1999). وبالإضافةِ إلى ذلك، يمكنُ أن تسمحَ التطوراتُ بانتشارِ قدراتٍ للمعالجةِ الحالية المتحكَّم فيها (مثل فصل النظير النووي) مع ما يصاحبُ ذلك من تهديداتٍ للأمن الدولي. وسيكونُ من شأن التقدُّم أن يتوقَّف على مستوياتِ الاستثمار واستمرارِ تطوُّر العلم والتكنولوجيا وتقدُّمِهما.

خامس عشر: التصنيع الجزيئي والروبوتات النانوية

1. التكنولوجيا

وضع عددٌ من الخبراء (من بينهم "ك. إيريك دركسلر" (K. Eric Drexler مفهوم التصنيع الجزيئي حيث تتم الأشياء ذرةً ذرةً (أو جزيئا جزيئا).[1] ويختلفُ التصنيع الجزيئي من أسفل إلى أعلى عن التكنولوجيا الدقيقةِ والأنظمة الالكتروميكانيكية الدقيقة، حيث إنَّ الأخيرة تَستعملُ طرائقَ من أعلى إلى أسفل مُستخدِمةً الموادَّ الكبيرة التي تَستعملُ تقنياتِ تصنيعٍ دقيقة.

---

1 - راجع،
Drexler, 1987; Drexler, 1992; Nelson and Shipbaugh, 1995; Crandall, 1996; Timp, 1999; Voss, 1999; and Zachary, 2000 [162-168].

ولتحقيق التصنيعِ الجزيئي لا بُدَّ من عدد من الإنجازات التقنية. أولا، يجبُ إيجادُ كُتل بناء جزيئية مناسبة. ويجبُ أن تكونَ كُتل البناءِ هذه قابلةً للبقاء ماديا ومستقرةً كيميائيا ومن السَّهل العمل عليها و(إلى حد ما) متعددةَ الوظائف. وقد اقترحَ العديدُ من العاملين في المجال استخدامَ بنياتٍ قائمةٍ على الفحم تشبهُ الماس ككُتَل بناءٍ لأجهزة ميكانيكية نانوية مثل الجنازير والمحاور والدَّوَّارات. ويمكنُ أيضا استخدامُ جزيئاتٍ أخرى لبناء هياكلَ ولتوفير قدراتٍ مُدمَجة أخرى، مثل البنيات المنفعلة كيميائيا. وثمة حاجةٌ إلى الكثير من العمل الإضافي في مجال تصميم البنيات الجزيئية الملائمة وتركيبها، ويعملُ عددٌ من المجموعات لهذا الغرض. ويقومُ "دريسلهاوس" (Dresselhaus) وآخرون بتصنيع كتل بناءٍ جزيئية ملائمةٍ لهذه البنيات.

والمجال الرئيسي الثاني للتطوير هو القدرة على جمع بنياتٍ معقدة على تصميم بعينه. ويقومُ عددٌ من الباحثين بالعمل على مقارباتٍ مختلفة لهذه المسألة، وتوجدُ تقنياتٌ مختلفة قيد التطوير للتوظيف المادي. وتَستخدِمُ مقاربةٌ "لكويت" (Quate) و"مكدونالد" (MacDonald) و"إيغلر" (Eigler) القوةَ الذرية أو المجاهر الجزيئية المزودة بمسابرَ نانويةٍ صغيرةٍ جدا لتحريك الذراتِ أو الجزيئات بمساعدةِ قُوًى ماديةٍ أو كيميائية. وثمة مقاربةٌ بديلة "لبرينتيس" (Prentiss) تَستخدِم الليزر لوضعِ الجزيئات في المكان المرغوب فيه. ويتناولُ عدد من الفِرق تقنياتِ الجمع الكيميائية، من بينها طريقةُ "وايتساييد" (Whiteside) لتشكيل بنياتٍ بطبقة جزيئية واحدة في كل مرة.

والمجال الرئيسي الثالثُ للتطوير في التصنيع الجزيئي هو تصميمُ الأنظمة وهندستُها. فالأنظمة الجزيئية المعقَّدة جدا عند المستوى النانوي ستتطلَّب تصميما كبيرا لأنظمة فرعية، وتصميما شاملا للأنظمة، ودمجا للأنظمة مثل النظم المعقَّدة المصنَّعة حاليا. ورغم أن مشكلاتِ التصميم يمكن أن تكون قابلةً للفصل بصورةٍ كبيرة عند مستوى الأنظمة الفرعية فإن كميةَ الحوسبة المطلوبةَ للتصميم والإثباتِ من شأنها أن تكون كبيرة. وستكون هناك حاجةٌ أيضا إلى القيام بتدقيقِ القيودِ الهندسية مثل قَبول العيب والسلامةِ المادية والاستقرارِ الكيميائي.

وقد وصفَ بعضُ العاملين في هذا المجال طريقا مُمْكنا لتطويرِ قُدرةِ التصنيع الجزيئي التي عطَّلها الحجمُ الكلّي ونوعُ تكنولوجيا التصنيع وتعقيدُ النظام والموادُّ المكّونة المستخدَمة إلخ. وتتوقع بعض صيغ هذا المفهوم استخدامَ روبوتات نانويةٍ مشابهةٍ بصورة كبيرة أو مسابرِ مسحٍ نانوية لجمع البنيات ماديا (لها من 100 إلى 10.000 قطعة جزيئية). وتُدمِجُ مفاهيمُ أخرى أكثرَ تقدُّما المبادئَ الكيميائية وتَستخدِمُ مخزوناتٍ كيميائيةً بسيطةً لبلوغ أجهزةٍ أكبر بكثير عند مستوى 10^8 و10^9 أجزاء الجزيئات.

وواضح، بما أن كلَّ واحدة من هذه التقنيات تنضجُ (أو تُخفِق في التطور)، فإنه لا بد من أنظمة وعمل أكثر على المستوى الهندسي قبل أن يكون تحقيقُ التطبيقات على مستوًى كبيرٍ أمرا ممكنا. ورغم أنَّ التصنيع الجزيئي يُبشِّر بتغيُّرات شاملةٍ كبيرة (مثل إعادة تدريب أعداد كبيرة من العمال في التصنيع، وفُرصٍ لمناطقَ جديدةٍ لتتنافس على الهيمنة في نموذجِ تصنيعٍ جديد، أو التحولِ إلى البلدان التي ليست لها بنياتُ تصنيعٍ موروثة)، إلا أنه يبقى من بين التكنولوجيات الملموسةِ الأقلَّ التي يتمُّ تناولها هنا.

ومع ذلك فقد تم تحقيقُ تَقدُّم كبير في تطوير تكنولوجياتٍ تدخل في تكـــوين النظـــام الأول للتصنيع الجزيئي حيث يُفترَض أن يتمَّ بناءُ الأشياء مـــن الجزيئـــات الصـــغيرة وتصنيعُها في مدة قصيرة بواسطة مسابرَ مجهريةٍ مشابهةٍ تعمل بقوة ذرية أو من بنيـــات بسيطةٍ تتجمَّع ذاتيا. ورغم أن كتل بناءِ هذه الأنظمة لا تُوجدُ اليـــوم إلا معزولـــةً في مرحلة البحث، فإنه من المعقول جدا أن يَتوقَّع المرءُ أن يكون تطويرُ القـــدرةِ علـــى الدمج في السنوات الخمس عشرة القادمة أمرا ممكنا. ومثل هذا النظام يمكنُ أن يكون قادرا على تجميعِ بنياتٍ تتراوح بين 100 و10.000 عنصر بأبعاد شـــاملةٍ، ربمـــا تبلـــغ عشرات الميكرونات. ومن المؤكَّد أنه يمكن لسلسلةٍ من الطَّفرات الكبيرة أن تُـــؤدِّي إلى التقدُّم في هذا المجال ليتطوَّر بصورة أكثر سرعة، ولكن يبدو أنه من المســـتبعد أن يكون بناءُ الأشياء ذات النطاقِ المجهري باستخدام التصنيع الجزيئي ممكنا بحلول 2015.

2. مسائل وانعكاسات أوسع

تُعد الفترةُ الحالية للبحث في مجال التصنيع الجزيئي على قـــدْرٍ كـــبير مـــن الإثارة، ويعود ذلك إلى عدة أسباب. أولا، لقد بدأ العديدُ من العـــاملين يبيِّنـــون بالتجربة القدُرات الأساسية في كل واحدٍ من المجالات الرئيسيةِ المشار إليها أعـــلاه. ثانيا، التقدُّم المستمرُّ والتحدياتُ الجارية في مجال التصنيع الالكتروني المجهري مـــن أعلى إلى أسفل يَدفع بقُدُراتِ البنيات الموجودةِ لتكون أقـــربَ إلى نظـــامِ النطـــاق النانوي. ثالثا، إن فهم الخصائصِ الأساسية للبنياتِ عند مستوى النانو دَفعت به إلى الأمام بِشَكلٍ كبيرٍ القدرةُ على صناعة أشياء صغيرةٍ جدا للاختبار وتحليلِها بصـــورة تجريبية باستخدامِ قدراتٍ جديدةٍ وفهمِها بصورة أساسية أكثـــرَ بمســـاعدة نمـــاذجَ حسابٍ متقدمة.

وفي نفس الوقت قال بعضُ نافذي البصيرة بأفكارٍ تتعلــقُ بالتطبيقــات الممكنةِ للتصنيع الجزيئي. ولكن، بما أن القدراتِ التجريبيةَ لا تــزالُ في المهــد (مثلما أشار إليه العديد من العاملين) فإنه من الصعوبة بمكانٍ التنبؤُ بالعديد مــن النتائج، ناهيك عن تقديرِ إمكانيتها.

وقد يبقى التنافسُ الدولي على الهيمنةِ أو حــتى علــى القُــدرة في مجــالِ تكنولوجيات النانو المتقدمةِ قويا، ولكن الاستثماراتِ الحاليةَ والتوجُّهَ يُشيران إلى أن الولايات المتحدةَ وأوروبا قد تحتفظان بالرِّيــادة في أغلــب هــذا المجــال.[1] وسيتوقفُ التقدمُ في تكنولوجيا النانو بصورة كبيرة على الاستثمارات في البحث والتطوير؛ والبلدانُ التي تواصلُ الاستثمارَ في تكنولوجيا النانو اليوم قــد تتــزَعَّم المجال إلى 2015. ففي 1997 كانت الاستثماراتُ السنويةُ العالمية في تكنولوجيا النانو على النحو الآتي: اليابان 120 مليون دولار؛ الولايات المتحدة 116 مليــون دولار وأوروبا الغربية 128 مليون دولار، أما كل البلدان الأخرى (الاتحــاد الســوفياتي سابقا والصين وكندا وأستراليا وكوريا وتايوان وسنغافورة) مجتمعة فبلغ 70 مليون دولار (Siegel et al., 1999 [163]). وقد اُقتُرحت زيادة التمويلِ في إطــار مبادرة تكنولوجيا النانو الوطنية الأميركية إلى 272 و495 مليون دولار عامي 2000 و2001 على التوالي (National Nanotechnology Initiative, 2000 [179]).

ولا يَحُول هذا دون اكتسابِ بلدانٍ أخرى قُدراتٍ في مجــال تكولوجيــا النانو أو استخدامِ هذه القدرات لتحقيق مفاجأةٍ تكنولوجيةٍ صــغيرة أو وســائلَ عسكرية. غير أنه بالنظر إلى صعوبة التنبؤِ بالنتائج وتقديرِ حصولها فإنه من العسير أيضا استنباطُ توقعات تتعلق بتهديدات ومخاطرَ بعينها من التوجُّهات الحالية.

---

1 - راجع أيضا النقاش الطويل المتعلق بالمنافسة الدولية في مناقشة توجهات التكنولوجيا العليا في الفصل الثالث.

الفصل الثالث

مناقشة

أولا: مجموعة الإمكانيات بحلول 2015

رغم أن التنبؤَ بالمستقبل أمر مستحيل إلا أن توجُّهات التكنولوجيا تُقدِّم بعض المؤشرات على ما يجب أن نَستبِقه على أساس التحرُّكات والتقدُّم الحالي. ومثلما تمت مناقشتُه فإن تقدُّمَ هذه التوجُّهات وتأثيراتِها ستُعدِّلها ممكِّناتٌ وعقبات. وبالإضافة إلى ذلك يمكنُ أن تكون لهذه التوجُّهات تأثيراتٌ عديدة على العالم. وتربطُ الأشكال 1.3 و2.3 و3.3 بين هذه المكوِّنات معا من أجل توجُّهاتٍ ثلاثة: الغذاء المعدَّل وراثيا والموادّ الذكية وتكنولوجيا النانو.

ويبين الشكل 1.3 مجموعةَ الطرق المحتملة التي يمكن أن يَسلُكَها الغذاءُ المعدَّل وراثيا بحلول 2015، إلى جانب الممكِّنات والعقبات والتأثيرات. وتزيدُ الاستثمارات وفكُّ الشفرة الوراثية القدرةَ على تعديل الأجسام وهندستِها لتوفير القدرات المطلوبةَ، ولكن الانشغالات الاجتماعية تُؤثِّر أصلا في توليد الأغذية المعدَّلة وراثيا واستخدامِها، لاسيما بين الولايات المتحدة والاتحاد الأوروبي (المملكة المتحدة بوجه خاص). وفي عام 2015 يسوده التفاؤل

تنتشرُ الأغذيةُ المعدَّلة وراثيا بصورة واسعة، وهو ما يؤدِّي إلى فوائدَ جمةٍ لنوعية الغذاء والإنتاج العالمي والبيئة (مثلا، كما تمثّلُه مواقفُ منظَّمة صناعة التكنولوجيا الحيوية [41] BIO, 2000). وقد تُقلّل مراقبةُ السياسات أو نقصُ الاستثمارات من إنتاج الأغذية المعدَّلة وراثيا ومن استخدامِها، وهو ما يَزيدُ في الاعتماد على الآليات التقليديةِ للزيادة في إنتاجية الغذاء ومراقبةِ الأوبئة.

أما الشكل 2.3 فيبين مجموعةَ الطرائق المحتملة التي يمكن أن تَسلُكها الموادُّ الذكية بحلول 2015 إلى جانب الممكّنات والعقبات والتأثيرات. فالاستثماراتُ والالتزامُ بالبحث تُعدُّ محفزاتٍ أساسية. ولكن التمويل والعمل المحدودين وغيابَ المصالح أو نُقص القَبول العام للبيئات المتحكَّم فيها بصورة كبيرة يمكن أن يُقلّل من النموَّ والتطبيق. وفي عام 2015 يسوده التفاؤل يمكن استخدام المواد الذكية في مجموعة واسعة من التطبيقات الجديدة. ولكن العقبات يمكن أن تُقلّل من سرعة تطوُّر الموادِّ الذكية وتطبيقِها، لِنَقُلْ على المجسَّات المتقدمةِ المزوَّدَة بقدراتِ التشغيل المدمَجَة.

أما الشكل 3.3 فيُبيِّن مجموعةَ آراءٍ تتعلقُ بالمكانة التي يمكن أن تَبلُغها تكنولوجيا النانو بحلول 2015 إلى جانب الممكّنات والعقبات والتأثيرات. وستكون الاستثماراتُ الكبيرة حاليا والطفراتُ التكنولوجية مطلوبةً لتحقيق القدرةِ الكاملةِ لتكنولوجيا النانو، ولكن تكاليفَ البحثِ والتطويرِ، والقابليةَ للتطبيق، والتعقيدَ، والقابليةَ للنفاذ، وحتى القبول الاجتماعي (مثلا، لآلات نانوية ذكية) قد يُبَطّئ النمو. والحالةُ التفاؤلية بالمستقبل ربما يجري تضخيمُها

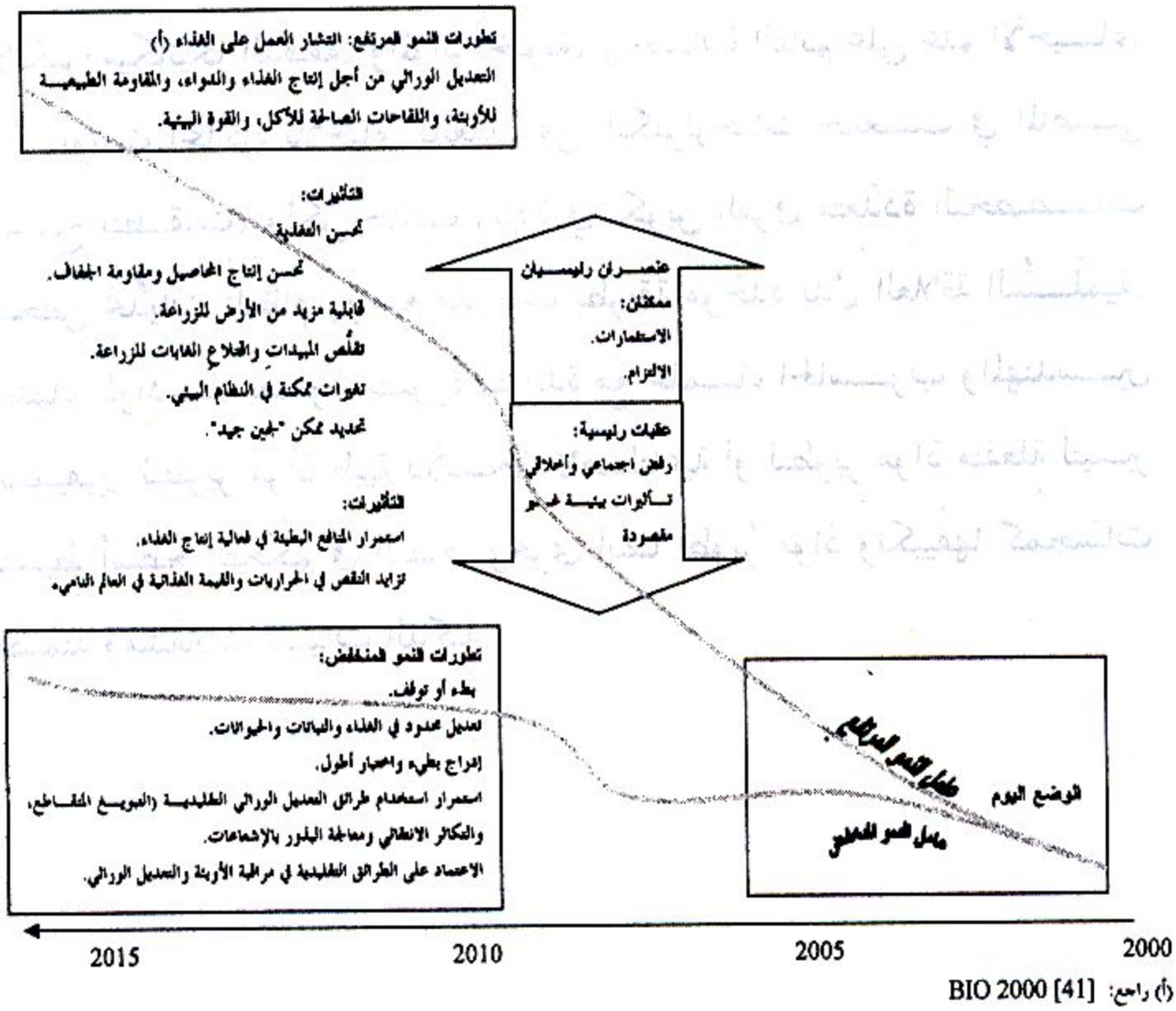
برؤيةِ تكنولوجيا النانو التي تشملُ التصنيعَ الجزيئي تدخُل مجموعةً من الأنظمة النانوية ذات القدراتِ الفائقةِ (انظر Drexler, 1987, 1992 [162, 163])؛ وزيادةً على ذلك فإن التصنيع النانوي سيَحدُث على مستوى عالمي مانحا البلدانَ النامية فرصةَ الاستثمار فيه والمساهمةِ في الثورة. ومن وجهة نظرٍ أكثر براغماتية فإن نقص الطفراتِ التكنولوجية قد يضع النتائجَ بحلول 2015 في طريق تطوُّري حيث يستمرُّ التوجُّه الحالي لأنظمة أصغرَ وأسرعَ وأرخصَ من خلال تطوُّرات على مستوى نانوي في إنتاج أشباهِ الموصلات، ليستمر "قانون مور" (Moore's Law) (انظر SEMATECH, 1999 [190]).

ويُوضِّح الجدولُ 1.3 العلاقاتِ المُيسِّرةَ لأربعِ تكنولوجياتٍ مع مستقبَلاتٍ فردية لنموٍّ مرتفعٍ، ومستقبَلاتٍ لنموٍّ منخفضٍ، وتأثيراتٍ ومحفِّزاتٍ وعَقبات. وتُؤَكِّد هذه العلاقاتُ أن التكنولوجياتِ المعروفةَ جدا مثل تكنولوجيا المعلومات والتكنولوجيا الحيوية تَعتمِد بالفعل، في بعضٍ من تقدُّمها، على تكنولوجياتٍ محفِّزة معروفةٍ أقلَّ. ورغم أن هذه العلاقاتِ الميسِّرةَ تَكشِف التبعيةَ لتكنولوجياتٍ أخرى فإن التأثيرَ المشتركَ سيُعجِّل بقدرة التكنولوجيا وتباشيرِها ما دام بالإمكان الإبقاءُ على المُمَكِّنات الرئيسية.

ثانيا: توجهات التكنولوجيا العليا

ثمة عددٌ من التوجُّهات العليا يمكنُ ملاحظتُها بمراجعة التوجُّهات التكنولوجيةِ التي تمت مناقشتُها أعلاه والمناقشاتِ الواردة في الكتابات العامة.

وتشملُ هذه التوجُّهات العليا الطبيعةَ متعددةَ الاختصاصِ المتزايدةَ للتكنولوجيا، والوتيرةَ المتسارعةَ للتغيُّر والانشغالات، وتزايدَ الطلبات التعليمية، وتزايدَ معدَّلات الحياة، وإمكانيةَ تقلُّص الحياة الخاصة، واستمرارَ العولمة، وتأثيراتِ التنافسِ الدولي في تطوُّر التكنولوجيا.

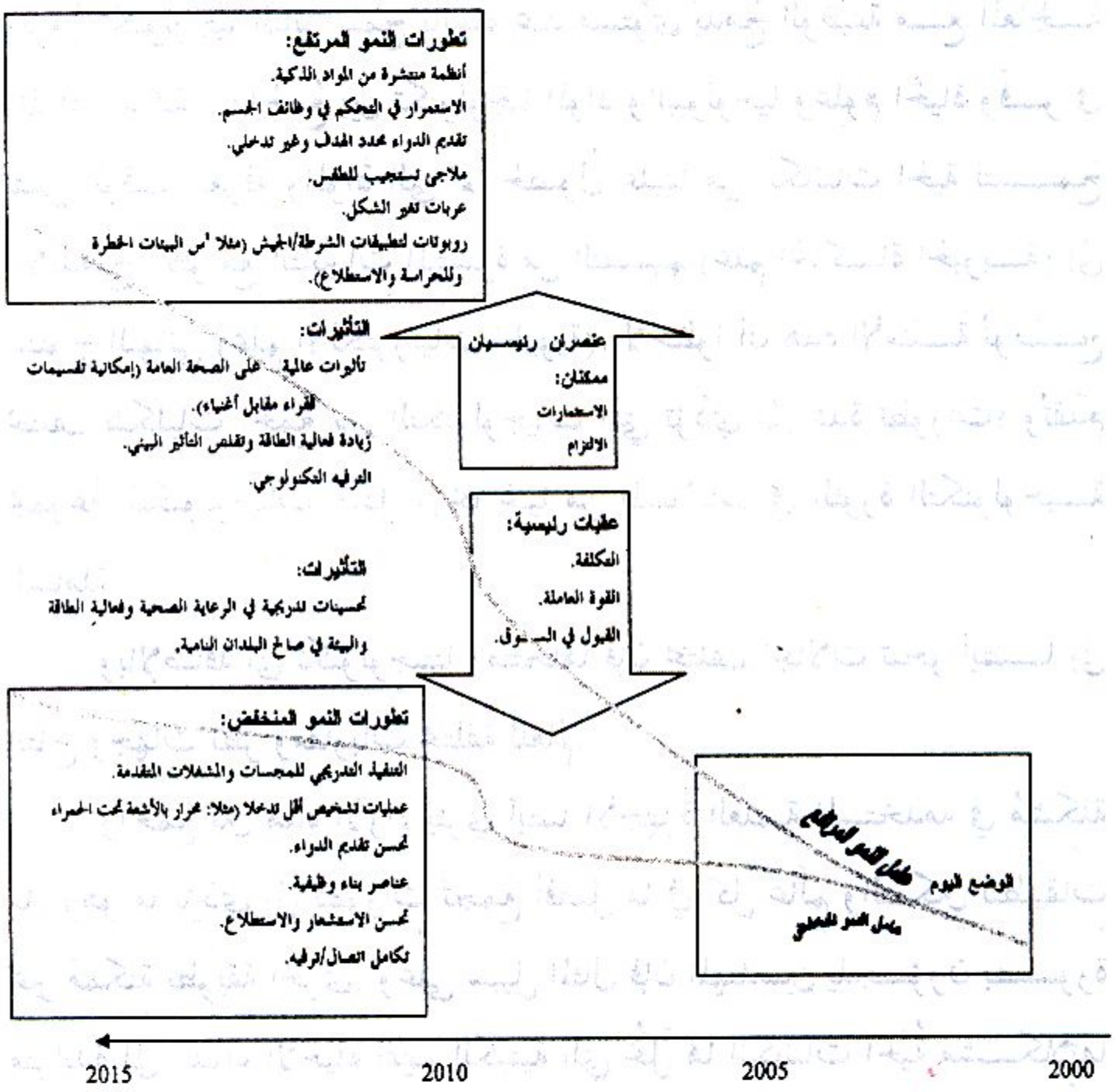


(أ) راجع: BIO 2000 [41]

الشكل 1.3 – مجموعة التطورات والتأثيرات المستقبلية الممكنة للأغذية المهدّلة وراثيا

1. طبيعةُ التكنولوجيا متعددةُ التخصصات

العديدُ من توجُّهات التكنولوجيا سَمَحت بها مساهماتُ تكنولوجيتَيْن متداخلتَيْن أو أكثر. لاحظوا مثلا التشخيصَ الجزيئيَّ القائمَ على نظم الالكتروميكانيكا الدقيقة، والموادَّ الحيوية، والحسابَ القائمَ على علم الأحياء، والروبوتات المحاكيةَ للأحياء. فالعديدُ من التكنولوجيات جُمعت في الماضي لتَسمحَ بتطبيقات، ولكنْ حدثَت زيادةٌ في تكوين الفِرق متعدِّدةِ التخصصات لفحصِ تحدِّيات النظامِ ووضعِ مقارباتٍ بطريقة موحَّدة بدل العلاقةِ السُّلَّمية. فعلماء المواد مثلا يعملون بصورة متزايدةٍ مع علماء الحاسوب والمهندسين التطبيقيين لتطوير موادَّ طبيةٍ للأنسجة الاصطناعية أو لتطوير موادَّ منفعلةٍ لتيسير تنشيط أسطح التحكُّم في النظام. ويجري أيضا تطويرُ موادَّ وتكييفُها كمجسَّات مضمَّنة ومشغِّلات للبنيات الذكية.

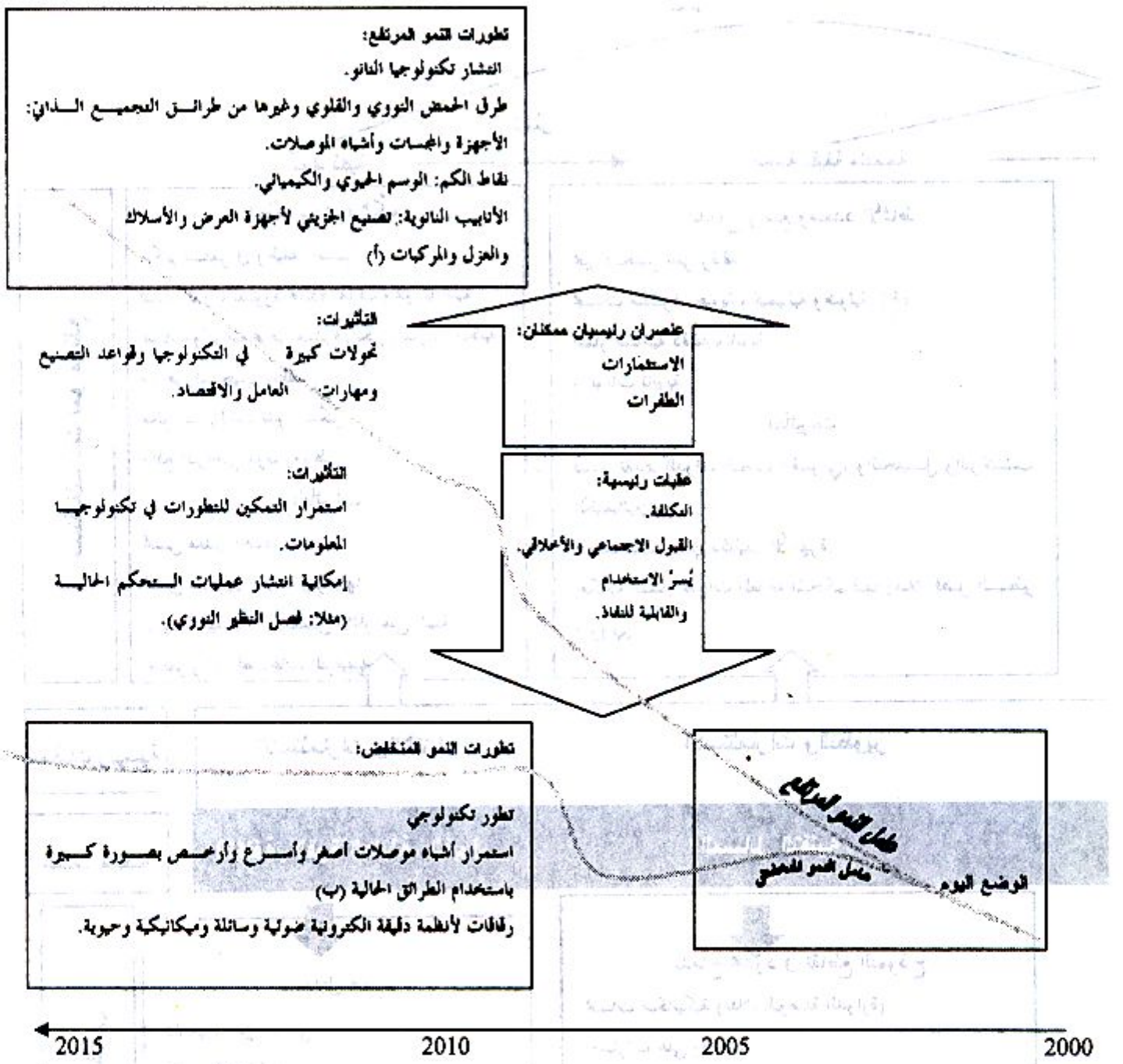


الشكل 2.3 – مجموعة التطورات المستقبلية الممكنة للمواد الذكية

أما الشكل 4.3 فيوضّح أمثلةً على الكيفية التي تَرتبطُ بها تكنولوجيا النانو (النطاق)، وتكنولوجيا المعلومات (المعالجة)، والموادّ (المعالجة والوظيفة)، والأجسامِ الحية فيما بينها لإنتاج أنظمة ومفاهيمَ جديدة. فالموادُّ تُوفّر الوظيفة، وبروزُ تكنولوجيا النانو سَمح بالبناء عند مستوًى يُدمجُ الوظيفةَ مع المعالجة (المواد الذكية). والجمعُ بين تكنولوجيا الموادّ والبيولوجيا وعلومِ الحياة وفّر في نفس الوقت المعرفةَ والموادَّ التي تم الحصولُ عليها من الكائنات الحية لتسمحَ بالاندماج أكثرَ مع التأثيراتِ المنتشرةِ من التصميم (علم المحاكاة الحيوية) إلى المنتوجِ النهائي (علم الإلكترونيات الحيوية). لاحظوا أن هذه الأمثلةَ تُوضّح مختلفَ شكليات الجمعِ بين التكنولوجياتِ التي تؤدّي إلى عدة تطورات؛ وتُقدّم مجموعةُ التكنولوجيات ككل مزيجا غنيا من المساهمات في الثورة التكنولوجية الشاملة.

وبالإضافة إلى تكنولوجيتنا ومنتجاتها فإن مختلف المجالات تنحو أيضا إلى إنتاج وجهات نظر ومقاربات مختلفة للعالم.

والجمعُ بين هذه الآراء يُثري أيضا الأجهزةَ العلمية المستخدَمة في مُشكلة ما، وهو ما يُؤدّي إلى تطوراتٍ تَجمعُ أفضلَ ما في كلّ عالَمٍ والتمكينِ لتطبيقاتٍ غير مُمكنة بطريقةٍ أخرى. وعلى سبيل المثال فإن المهندسين يلجؤون بصورة متزايدةٍ إلى علماء الأحياءِ لفهم الكيفية التي تُحلّ بها الكائنات الحيَّةُ مشكلاتِها في الوسط الطبيعي. وعِوض نسخِ الطبيعة بصورة عمياء فإن هذه الجهودَ في "محاكاة الأحياء" غالبا ما تَجمعُ بين أفضلِ الحلول من الطبيعة بمكوّناتٍ مهندَسَة اصطناعيا لتطوير نظامٍ يلائمُ المحيطَ المعنيَّ أفضلَ من أيِّ جسم موجود.



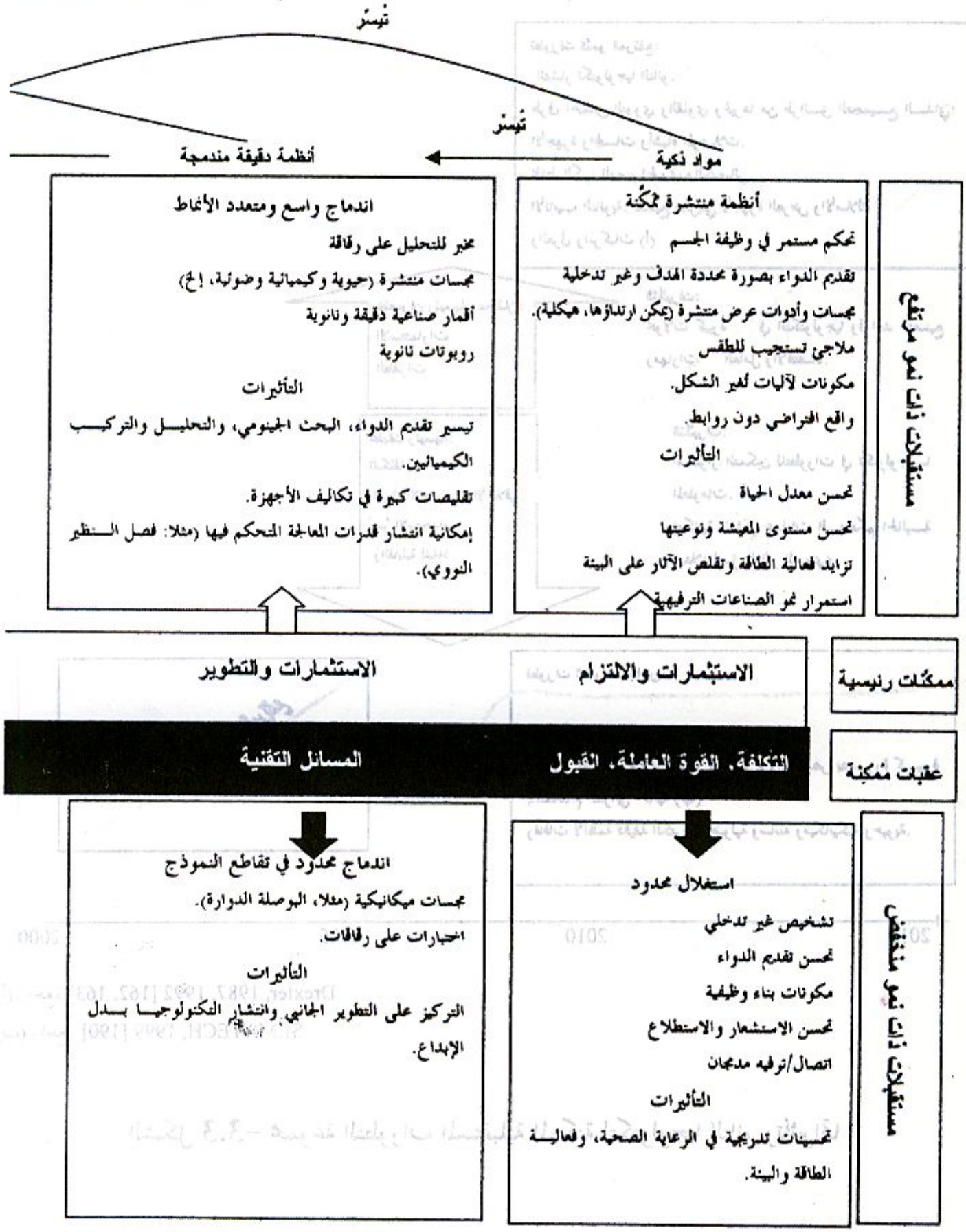
(أ) راجع، Drexler, 1987, 1992 [162, 163]

(ب) راجع، SEMATECH, 1999 [190]

الشكل 3.3– مجموعة التطورات المستقبلية الممكنة لتكنولوجيا النانو وتأثيراتها

الجـــــ

مدى بعض مجالاتِ الثورة التكنولوجية وتأثيـــــ



ـــــــدول 1.3

ـــــــراتها المتفاعلة المُمكنة بحلول 2015

تُيسّر

تُيسّر

تكنولوجيا المعلومات

استمرار الانفجار

علم الطاقة الضوئية: عرض الموجة، الحساب.

الترابط العالمي.

انتشار الحوسبة.

مجسات واسعة الانتشار.

منافع معلوماتية عالمية.

فوائد عالمية للمعلومات.

أشباه موصلات نانوية: أصغر وأسرع وأرخص.

ترجمة اللغات الطبيعية والوصلات.

التأثيرات

هيمنة التجارة الإلكترونية.

التدمير الخلاق في الصناعة.

استمرار العولمة.

العمل على المورثات

مزيد من العمل على الجينوم

نباتات وحيوانات معدلة وراثيا من أجل الغذاء وإنتاج الدواء والمركبات العضوية

العلاج الوراثي

التأثيرات

معدل حياة أطول.

تحسن نوعية الحياة والصحة.

تحسن مردود المحاصيل وتقبّل الجفاف.

تقلصُ المبيدات وإزالة الأشجار للزراعة.

تغيرات ممكنة في النظام البيئي.

إمكانية تحسين النسل.

الاستثمارات

الاستثمارات، والتقدم العلمي والتكنولوجي

التراجع عن العولمة والتدمير الخلاق: اضطرابات مالية عالمية

رفض اجتماعي وأخلاقي

تقدم بطيء

أبطأ، ولكن مع استمرار التطور التكنولوجي للطفرات الحالية في العلم.

التأثيرات

تستمر أجزاء من العالم في تكنولوجيا المعلومات بينما تتقهقر أخرى.

استمرار توجهات التجارة الإلكترونية.

ربما وتيرة أبطأ في قَبول التكنولوجيا واستيعابها.

بطء أو توقف

تعديل محدود في الغذاء والنباتات والحيوانات.

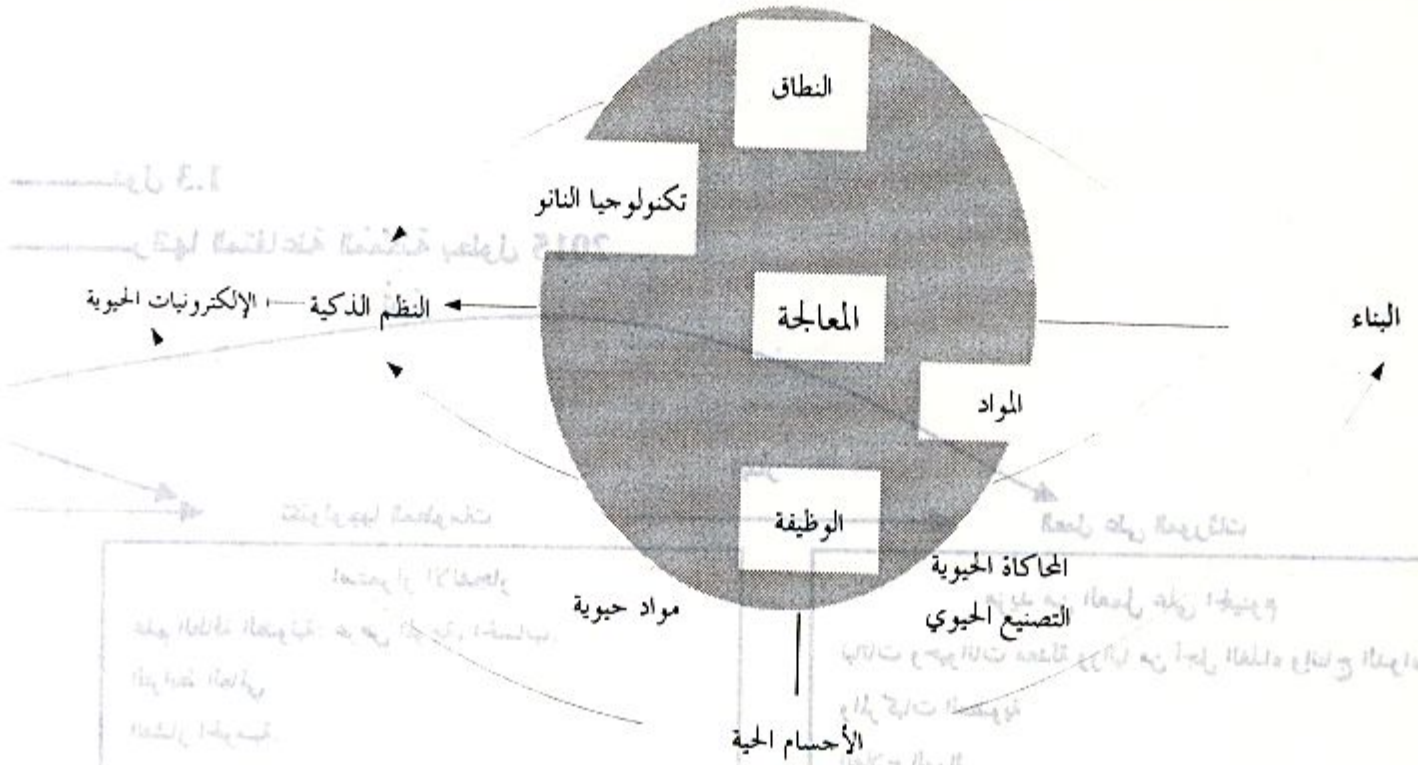
الاعتماد على الطرق التقليدية للتحكم في الأوبئة وإجراءات التعديل الوراثي.

استمرار استخدام إجراءات التعديل الوراثي التقليدية (التلويغ المتقاطع والتكاثر الانتقائي والمعالجة بالإشعاع).

التأثيرات

نقص متزايد في الغذاء والتغذية في العالم النامي.

الاعتماد على الطرق التقليدية في التحكم في الأوبئة وفي المواد الكيميائية.



الشكل 4.3 – التفاعل المتضافر للتكنولوجيات

والعديد من التوجُّهات الهامة تُعزِّز التكنولوجيا في مجالات متعددة، ويُبيِّن الشكل 4.3 أمثلةً عن التفاعُل بين مجالاتِ التكنولوجيا الحيويةِ وتكنولوجيا النانو وتكنولوجيا الموادِّ وتكنولوجيا المعلومات. وتُساهمُ الموادُّ الذكية في كلٍّ من قدراتِ الوظيفةِ والمعالَجة. وفي هذا الشكل نُبيِّن كيف أن النُّظم الذكيةَ سَمح بها التقدُّمُ في المواد (المجسَّات/المُشغِّلات) وقُدراتُ تكنولوجيا المعلومات مع توجُّهات النُّظم المجهرية. وفي المقابل، يمكن أن تتمَّ هندسةُ الموادِّ الذكية لتُوفِّر كائناتٍ حيةً بقُدُرات إلكترونية حيوية. وتُشكِّل الكائناتُ الحيةُ طرائقَ جديدةً لبناء الأنظمة (محاكاة الأحياء) إلى جانب تصنيعِ المكوِّنات ذاتها.

2. تسارع وتيرة التغير

يبدو أنه الوتيرةِ العامة للتقدُّم والتغيُّر التكنولوجيَيْن آخذة في التسارع.

فالنموُّ الاقتصادي، لاسيما في الولايات المتحدة، يُغذّي الاستثماراتِ في البحث والتطوير التطبيقيَيْن، وهو ما يُؤَدّي إلى ابتكاراتٍ وطرائقَ جديدةٍ لوضع منتوج جديد. ولا تزالُ تكنولوجيا الحاسوبُ تتقدَّم إلى حدٍّ أنَّ المنتجاتِ قد يَعفُو عنها الزمنُ في سنتين أو ثلاث، بل إن الوتيرةُ تُعدُّ حتى أسرعَ في عدد من مجالاتِ الهندسة الطبية؛ فبعض الأجهزةِ الطبية تُصبح قديمةً عندما يتمُّ تطويرُ نموذجٍ (Grundfest, 2000 [107]). وهذه الوتيرةُ يمكن أن تجعل الأمرَ أكثر صعوبةً لتحقيق تقدُّم أخلاقيٍّ وقانوني لمواكبة التكنولوجيا.

3. تسارع الانشغالات الاجتماعية والأخلاقية

في الوقت الذي تسمحُ فيه التكنولوجياتُ الجديدة بقُدرة أكبر للعمل على المحيط والأشياء الحيَّة فإن الانشغالاتِ المجتمعيةَ والأخلاقيةَ تتسارع. فالحياةُ الخاصة والملكيةُ الفكرية ومسائلُ البيئةِ المستدامةِ تُثَار كلُّها في الوقت الذي تُوفِّر فيه التكنولوجيا قُدراتٍ جديدة.

4. تزايد الحاجة إلى اتساع وعمق في التعليم

من الممكن جدا أن تكون هناكَ حاجةٌ متزايدةٌ إلى التعلّم والتعليم المرتبطَين بالوتيرةِ المتزايدة للتغير التكنولوجي. فكما هي الحالُ بالنسبة إلى الحاسوب بدأت المهاراتُ تكتسي أهمية أكبر اليوم، إذ سيحتاجُ كلٌّ من الموظَّفين والعمال دون شكٍّ إلى تحسينِ مهاراتهم في ميادين أُخرى لتفادي التخَلُّف في المجالات التكنولوجية.

وطبيعةُ التكنولوجيا متعددةِ التخصصات تُغيّرُ أيضا المهاراتِ التي تتطلبُها القوةُ العاملة إلى جانب العاملين في مجالِ تكنولوجيا البحث والتطوير. فالمطوِّرون في حاجة متزايدةٍ إلى فَهْم الألفاظِ والمفاهيمِ الأساسية من مجالات أُخرى من أجل العمل بفعالية في فِرقٍ متعددةِ التخصصات، وهو ما يتطلب وقتا أكثر في حجم الدروس. وقد يزيدُ هذا التوجُّه مع مرور الوقت إلى حدِّ أن شهاداتٍ متعددةَ التخصصات قد تُصبحُ ضروريةً، لاسيما للمنظِّرين والباحثين الذين يَضعون المفاهيم.

وأخيرا، من شأن الناس جميعا أن يكونوا في حاجةٍ إلى فهمٍ أكثرَ للعلم والتكنولوجيا من أجل اتخاذِ قراراتٍ سياسيةٍ واستهلاكية وهم على بينة من الأمر. وعلى سبيل المثال، إن الجدلَ الحالي المتعلقَ بالأغذية المعدَّلة وراثيا يَتطلَّب فكرا متفتِّحا ومتسائلا ليكونَ قادرا على الموازنةِ بين الحُجج المعقَّدة عادةً التي تُقدِّمُها أطراف عديدةٌ في النقاش. وبالمثل فإن فَهْمَ الانعكاساتِ على الحياة الخاصة والمكاسبِ الممكِنَة لبيوت تعُجُّ بوسائلِ التحكُّم أمرٌ مطلوبٌ لتكون هناكَ قاعدة من أناس يختارون ويستهلكون وَهُمْ على بيِّنة من أمرهم.

5. معدلات حياة أطول

تُبَشِّر التطوراتُ المتعلّقة بالصحة بأملِ استمرارِ التوجُّه نحو زيادة معدَّل حياة البشر في العالم المتطور. ويُثيرُ هذا التوجُّه مسائلَ تتعلقُ بتزايد السكان والرعاية الصحية للكبار وحياة التقاعد. وقد تزيد التطورات الطبية أيضا في نوعية الحياة ممكِّنةً بذلك الناسَ ليس فقط من العيش أطول، ولكن من البقاء أعضاء منتِجين في المجتمع مدةً أطول.

6. تقلص الحياة الخاصة

تشمل العديدُ من التهديدات التي تطال حياة الفرد الخاصَّة المجسَّات المنتشرة، و"بصمَة" الحمض النووي، والصور الوراثية التي تُشير إلى الاستعداد للمرض، وقواعدَ بياناتٍ يمكنُ الوصول إليها عن طريق الإنترنت تتعلقُ بمعلومات عن الأشخاص، ومخاطرَ تكنولوجيات المعلومات الأخرى.

ومن شأن مسائل الحياة الخاصَّة أن تؤدِّي إلى نقاشات تشريعيةٍ تتعلق بالحمايات القانونية والتنظيمات، واستمرارِ النقاشِ الاجتماعي والأخلاقي المتعلّق باستخدامات التكنولوجيا، وإلى توليد متطلَّبات وأسواق للحياة الخاصة، وتكنولوجيا دعمٍ للحياة الخاصة (مثلا، إجراءاتٌ أَمنية تتعلقُ بالحياة، ومكوناتٌ في معماريات المجسَّات والمعلومات). وقد تحدِّد الانشغالاتُ، المعقولةُ والمنتشرةُ والملائِمةُ من حيث توقيتُها، والمتعلقةُ بالحياةِ الخاصةِ ما إذا كان يجبُ معالجةُ مسائلِ الخصوصية بطرائق قَبْلية أم بَعْدية. غير أنه حدث في المدة الأخيرة أن تراجعت الحياةُ الخاصة والأمنُ وراء الوظيفة والأداء.[1] ومن المستبعد أن تُوقِف الانشغالاتُ بالحياة الخاصة توجُّهاتِ التكنولوجيا، وهو ما يؤدِّي إلى تقليص الحياة الخاصة عبر العالم قياسا مع حجم التكنولوجيا في منطقة ما. ومع ذلك قد يُغيِّر التدقيقُ في مسائلِ الحياة الخاصة السلوكَ العامَّ في كيفية استخدامِه

---

1 - على سبيل المثال، الأمن والحياة الخاصة في الحواسيب الشخصية والإنترنت كانت أفكارا لاحقة في العديد من الحالات. لقد تجاهلت السوق بشكل كبير هذه المسائل إلى أن أرغمت حوادث فعلية على الخوض في المسألة، مثيرة القلق وطلبات السوق.

التكنولوجيا، وقد يؤثّر في التطور التكنولوجي بتسليط الضوءِ على الحياة الخاصة كمطلب اجتماعي.

7. استمرار العولمة

من شأن العولمة أن تتيسَّر ليس فقط بالتطورات في تكنولوجيا المعلومات والإنترنت والاتصالات وتَحسُّن النقل (انظر مثلا Friedman, 2000 [217]) ولكن أيضا بالتوجُّهات التي تم التمكين لها، من قبيل التصنيع الذكي الذي يمكن أن تسمحَ فيه الاستثماراتُ المحليةُ في البنية التحتية بظهور لاعبين جدد للمشاركة في التصنيع العالمي.

8. التنافس العالمي

فيما يتعلقُ بالتنافس العالمي على تطوير تكنولوجيا متقدمة، هناك مجموعةٌ من الإمكانيات في كل مجال. وهذه الإمكانياتُ تتراوح من نظام تنافسي على المستوى الوطني يتمُّ فيه دعم كلٍّ من الاستثمارات التكنولوجية ومنتَجَات التكنولوجيا مع احترام الحدودِ الوطنية، إلى وضعٍ تكونُ فيه غايةً في النفاذ عبر الحدود الوطنية والإقليمية. وسيتوقَّف التوجُّه الفعليُّ على عدد من العوامل، من بينها التدابيرُ الاقتصاديةُ الإقليمية المستقبلية (مثلا، الاتحاد الأوروبي)، وحقوقُ الملكية الفكرية الدولية وحمايتُها، وطبيعةُ الشركات متعددة الجنسيات المستقبلية، ودورُ استثمارات القطاع العام في البحث والتطوير وحجمُها. وفي الوقت الحالي هناك تحرُّكاتٌ نحو التنافسِ بين التحالفات الاقتصادية الإقليمية (مقابل الوطنية)، والزيادةِ في دعم النظام العالمي لحمايةِ الملكية الفكرية، والمزيدِ

من العولمة وتقاسُمِ المسؤوليات في تمويل البحثِ والتطوير (تمويل القطاع العامّ للبحثِ مع تمويل القطاع الخاص للتطوير).[1] وبطبيعة الحال فإن هذه التوجُّهاتِ العليا تخضَعُ للتغيُّر وِفقَ العوامل المشار إليها في هذا التقرير.

ثالثا: التيسير المتقاطع لتأثيرات التكنولوجيا

إلى جانب تأثيراتِ التكنولوجيا الفرديةِ يمكن أن يؤدِّي التقدُّمُ المتزامنُ للعديد من التكنولوجيات والتطبيقات إلى إضافاتٍ أو حتى تأثيراتٍ متضافرة. ويبيِّن الجدولُ 2.3 نتائجَ تمرينٍ تم فيه فحصُ أزواجٍ من عيِّنات الابتكارات التكنولوجية لبيان هذه التأثيرات. وستأتي بعضُ التطوراتِ بقُدراتٍ يمكنُ أن تُستخدَم لمساعدة تطوراتٍ أخرى، ومن ثم تَزيدُ تأثيرَها إلى ما وراء ما يمكنُ بلوغُه إذا ما كانت التأثيراتُ مستقلَّة وإضافية فقط. ومن الممكن أيضا أن تكون لبعض تركيبات التطوراتِ المحقَّقَة تأثيراتٌ سلبيةٌ في بعضها بعضا، وهو ما يؤدِّي إلى صعوباتٍ غير متوقعة. وقد تكون الصعوباتُ البيئية والأخلاقيةُ وقلقُ الناس أمثلة على ذلك.

وقد تم انتقاءُ تسعةِ ابتكاراتٍ ممكِنة من التكنولوجيا الحيوية وتكنولوجيا الموادِّ وتكنولوجيا النانو لاستكشافِ كيفَ أن التكنولوجيات قد تُيسِّر بعضها بعضا. وتشملُ الأغذيةُ المعدَّلةُ وراثيا الحصولَ على أقصى حدٍّ حسب الطلب من المحاصيل والحيوانات لتحسين التغذيةِ والإنتاج بينما يتمُّ تقليصُ استخدامِ

---

1 - لاحظوا أنه حتى وإن كانت نفقات البحث والتطوير في القطاع الخاص تتزايد حاليا بالدولارات المطلق، فإن العديد من هذه الاستثمارات تخصص لجهود تطوير غالية نسبيا عوض البحث.

المبيدات والماء. وستُحسِّن محاكاةُ اختبار الدواءِ تطويرَ الدواء بمحاكاةِ تفاعلاتِه مع الجسم من أجل تحسين اختبارِ وفهمِ تفاعلات الدواء ومشكلاتِ الفئة المعنية. وسيُحسِّن الحد الأدنى من التدخُّل الجراحي (مع الأنسجة والبنيات والأعضاء الاصطناعية والجراحة الترقيعية) الصَّحةَ بحلّ المشكلات الطبيَّة بواسطة التدخل القليل للجراحة، مقلصاً بذلك التكلفةَ والوقتَ بينما يتمُّ تحسين الفعالية. كما سيُقلِّص نسيجُ القلب الاصطناعي المشكلاتِ بتوفير موادَّ تتوالدُ ذاتيا لإصلاح القلب. وستُطوِّر قواعدُ بياناتِ الهوية الشخصية موادَّ لتيسير التخزين (غير الموصول بالشبكة) المحميّ للمعلومات على نظام محمولٍ فردي أو صغير (مثلا بطاقة ذكية من الجيل القادم). وستَستخدِم مؤسسات الأعمال العالمية النمذجةَ السريعةَ والتصنيعَ الذكي لتعزيز قدراتِ الإنتاج الشاملة. إذ سيَجمَع سلكٌ مجهري لتحديد أمكن الاتصالات اللاسلكيةَ على مسافات أطولَ من تكنولوجيا التتبُّع الحالية ويُصبحُ مألوفا في الشركات والبيوت لتيسير الإمداد وتحديد مكانَ الأشياء، ويرتبط بمعالجَات المعلومات للتحكُّم في تصنيع الأجزاء (مثلا، لمراقبة الأجزاء المصنَّعة أو لإعداد طعام من أشياء متوفرة في خزانة المؤونة). وسيُوفِّر وجودُ مجهر نانوي في الجسم الحي اختبارا داخل الجسم ومراقبةَ الظروف الطبية بطريقة لاسلكية، معوِّضا بذلك المسابر السلكية ومَقيسًا العواملَ التي يستحيلُ قياسُها بتكنولوجيا اليوم. وأخيرا يمكن إنتاج جهاز نانوي لغسل الهواء حفازٍ ورخيصٍ ("ورقة غير متوقعة" للتصنيع الجزيئي) بكمياتٍ كبيرة وإطلاقُه في الجوِّ لتحويل جزيئات الفحم إلى أشكالِ أقلَّ ضررا من أجل تقليصِ التأثيرات البيئية للوقود الأحفوري.

وقد تمَّ ترتيبُ كلِّ ابتكارٍ على أنه ممكنٌ (دائرة) أو غيرُ مؤكَّدٍ (مربع) أو بَيْن بَيْن (دائرة/مربع). كما تم وضعُ التأثيرات الرئيسيةِ لكلِّ ابتكارٍ في قائمةٍ وتم تقويمُها باستخدام هذه العلامات. والتفصيلاتُ الإضافية لهذه التأثيرات ضُمِّنت العلبَ المضلَّلةَ في قطرها. وتُشير درجةُ تضليل هذه العلبِ إلى جانب خط القطر إلى المدى الممكن للابتكار (شامل أو معتدل) بحلول 2015. ويشيرُ لفظُ الشامل هنا (العلب الرمادية) إلى تأثيرات واسعة؛ أما باللون المعتدِل (علب رمادية متوسطة) فتُشير إلى أنه من الممكن عرقلةُ التأثيرات في بُعدٍ ما (مثلا الجغرافي، المدى الصناعي، النفاذ الاقتصادي) بحلول 2015. وعلى سبيل المثال فإن الأغذيةَ المعدَّلة وراثيا إذا تجاوزت انشغالَ الناس فإنها يمكن أن تُصبحَ مَنتشرة عبر العالم فتَمسَّ أغلب الزراعة. ولكن تأثيراتِ محاكاةِ اختبارِ الدواء قد تُعيقُها المكاسبُ المالية في الصناعة الصيدلانية أو في العالم المتطوِّر الذي يمكنُه الحصولُ على موجة جديدة من الأدوية حسب الطلب. لاحظوا أن هذه التوجُّهات تتحرَّك نحو العولمة، ولكن الاعتدالَ في بُعدٍ ما قد يُشيرُ إلى أن تأثيراتها بعد 2015 قد تكون عبر الاعتمادِ المتقاطِر بما أن التكاليفَ ستصبحُ معقولةً أكثر لشعوب أكثر.

وبقية الخانات في الجدول 2.3 (على الجهة اليمنى) تُشير إلى إمكانية حدوث التأثيرات المتضافرة المحتملة إذا ما حدث الابتكاران.

الجدول 2.3 التأثيرات المتضافرة الممكنة للتكنولوجيا

		التكنولوجيا الحيوية		
		الأغذية المعدلة وراثيا	محاكاة اختبار الدواء	جراحة بأقل قدر من التدخل
التكنولوجيا الحيوية	الهندسة الوراثية ● الأغذية المعدلة وراثيا □ - تطوير أغذية/أنواع حسب الطلب لمناخات مختلفة	إنتاج الغذاء ↕ التغذية ↕ التأثير البيئي	الصحة ↑	الصحة ↑
	البيولوجيا الحاسوبية □ ● محاكاة اختبار الدواء ● - تحولات في الصيدلانية الحيوية: أدوية منقذة، تحول إلى وضع الأدوية والتشخيص حسب الطلب.		الصناعة تطور ↑ $ ↓ الوقت ↑ أدوية حسب الطلب؟	الصحة ↑
	الهندسة الطبية ● -□ ● جراحة بأقل قدر من التدخل، أعضاء/أنسجة اصطناعية/نبات، جراحة ترقيعية عصبية. ● - معدل الحياة/الصحة/التكلفة			الصناعة التكلفة ↓ الوقت ↓ الأمل في الحياة ↑ اجتماعيا: زيادة عدد المتقاعدين
تكنولوجيا المواد	هندسة النسيج ● ● نسيج اصطناعي للقلب ● - معالجة أزمات القلب بأنسجة يعاد توليدها			
	مواد ذكية □ ● هوية/قاعدة بيانات شخصية ● -□ - هوية/بيانات آمنة وفورية			
	التصنيع الذكي ● -□ ● موسسة تجارية عالمية (مستهلك-طلب مباشر ← تصنيع للطلب ← تسليم، صيانة، تتبع) ● - قوة المنظمات التجارية غير الحكومية			
تكنولوجيا النانو	أنظمة ذكية على رقاقات □ ● سلك للتحديد الدقيق للموقع مع الاتصالات □ -● يسمح بالحراسة الثابتة وفعالية الإسناد			
	مقاييس نانوية □ ● مجاهر نانوية في الجسم الحي (قياسات حيوية/هندسة وراثية) ● - معلومات آنية عن الصحة			
	تصنيع جزيئي □ ● منظفات هواء نانوية حفازة: نطاق نانوي لإزالة أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكربون □ - انخفاض كبير في التأثير البيئي لاستهلاك الوقود الأحفوري			

□ غير مؤكد.
● محتمل
▨ شامل
□ معتدل
— لا تأثير إضافي أو تضافري

الجدول 2.3 تابع

تكنولوجيا المواد			تكنولوجيا النانو		
نسيج اصطناعي للقلب	هوية/قاعدة بيانات شخصية	مؤسسة تجارية عالمية	سلك للتحديد الدقيق للمواقع	مدى نانوي في الجسم الحي	منظفات هواء نانوية حفازة
▲ الصحة	-	مسألة جديدة في التوزع	—	تقدير احتياجات الصحة هوية حكومية للكائنات المعدلة وراثيا ▲ جهاز مخبري	▲ الأمل في الصحة ؟ تأثير طاقوي
الصحة أدوية للمحافظة على سيج	▲ بيانات صحية عن الجينوم والأدوية	—			—
▲ (مجموعة فرعية)	(مجموعة فرعية)			تيسير	—
عدل الوفيات، يقضي ى الموت قبل الأوان بب المشكلات الجنسية	—			تيسير	—
	شراء فوري عن بعد عقبة الحياة الخاصة			تيسير	—
	▲ قوة المستهلك ▼ مراقبة حكومية (تأثير في التجارة الدولية)		—	—	تيسر
			▲ فعالية صناعية عقبة الحياة الخاصة		
				▲ فوائد صحية/طب وقائي	

- غير مؤكد
- ● محتمل
- ▨ شامل
- ▒ معتدل
- — لا تأثير إضافي أو تضافري

قد تكون بعضُ التأثيرات المتقاطعة إضافيةً في نفس البُعد. وعلى سبيل المثال إن كلا من الأغذية المعدَّلة وراثيا وهندسةِ الأنسجة يمكن أن تزيد الفوائدَ الصحية.

- التأثيراتُ المتقاطعة الأخرى قد لا تكونُ مجرَّد إضافية بل قد تُيسِّر بعضها بعضا، ممكِّنة لقدراتٍ جديدة أو مزيدةً تأثيراتها الفردية. وعلى سبيل المثال فإن المجاهرَ النانوية في الجسم الحيِّ يمكنُ أن تُيسِّر فوائدَ الهندسة الطبية بتحسين قُدرتِنا على التشخيص وتطبيقِ العلاج المهندَس الصحيح على المرضى فرادى.
- وأخيرا فإن بعض التأثيراتِ الكبيرةِ يمكن أن تَستبعِد بعضها بعضا ولا تؤدِّي إلى تأثير إضافي أو متضافر؛ وهذه مُشارٌ إليها بعُلب رمادية تشمل مطّات. فعلى سبيل المثال يمكنُ أن تكون لنظامِ الهوية الشخصية تأثيراتٌ مستقلةٌ بصورة كبيرة عن تأثيرات الأغذية المعدَّلة وراثيا.

وينبغي ألا يُنظَر إلى هذه الملاحظات على أنها توقُّعاتٌ لحالة المستقبل بحلول 2015، بل كجُهد لفحص المدى الممكن لتأثيرات توجُّهات التكنولوجيا، بما في ذلك تقديراتُ التأثيرات المتبادَلة إذا ما أثمرت مجموعةٌ من الابتكارات. أما التأثيراتُ المتبادلة فقد تم تصوُّرها لتكون متناظرة؛ ومن ثم تمَّ بيانُ نصف الجدول فقط.

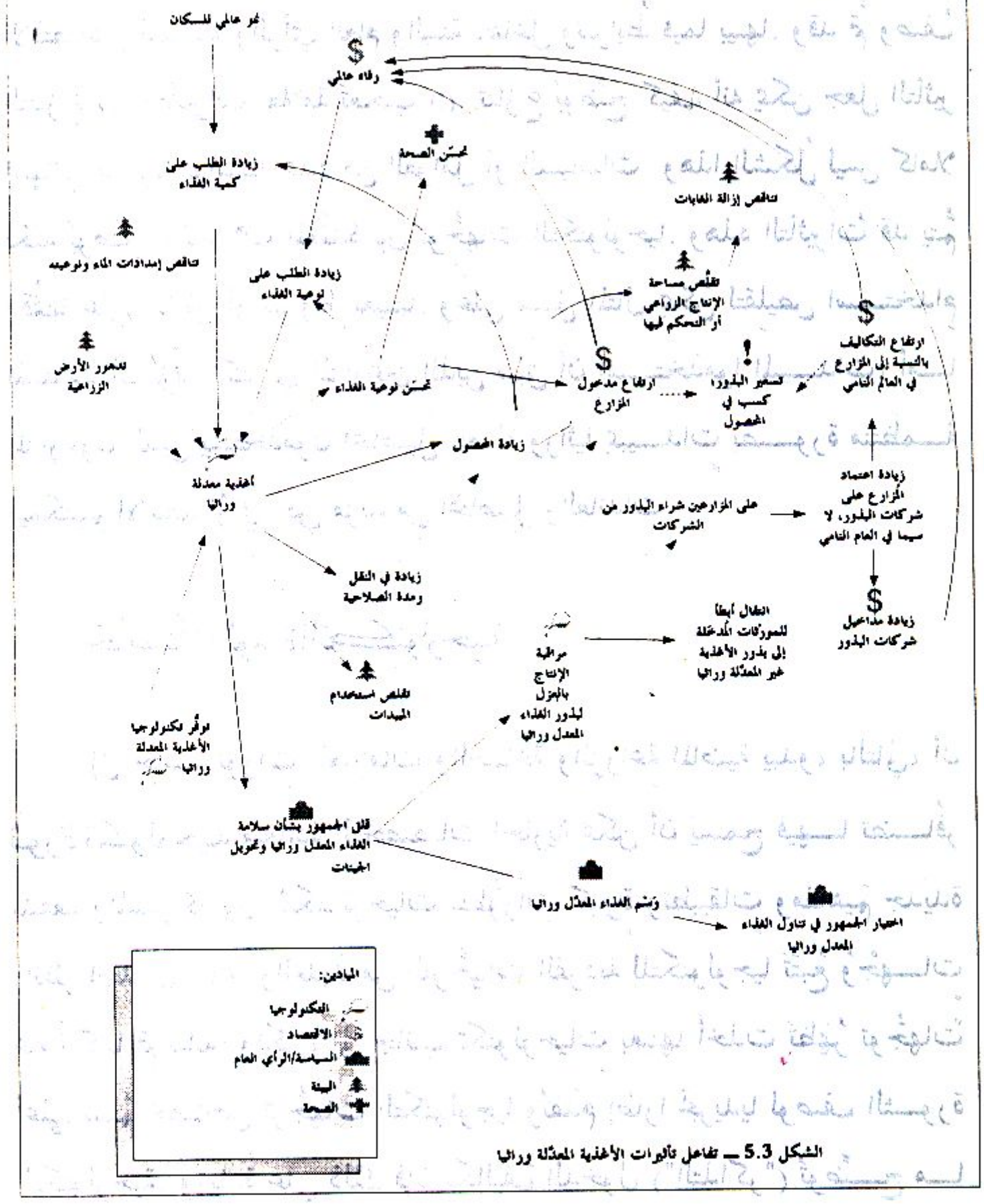
رابعا: الطبيعة شديدة التفاعل لتأثيرات التوجُّه

غالبا ما تتفاعلُ تأثيراتُ التكنولوجيا (الاجتماعية والاقتصادية والسياسية والرأي العام والبيئة على سبيل المثال) مع بعضها بعضا وتؤدِّي إلى تأثيرات لاحقة. ويوضِّح الشكل 5.3 هذه الطبيعة المتفاعلة لتوجُّه دخل أصلا النقاشَ العام، ومن ثم فإن له فعلا تأثيرات عالمية. وفي هذا المثال نُبيِّن كيف أن تزايدَ السكان (ومن ثم الحاجة إلى زيادات في إنتاجية الغذاء) يُعَد دافعا رئيسيا لاستخدام الأغذية المعدَّلة وراثيا. ونبيِّن أيضا كيف أن التأثيراتِ اللاحقةَ يمكن أن تتعارض مع بعضها بعضا وتؤدِّي إلى قرارات تتعلق بالسياسات.

ويمكنُ بالتالي أن يكون مثلُ هذا المخطط الهام مفيدا في اتِّباع المبرِّرات المنطقية التي يقولُ بها العديد من الأفراد والتنظيمات بشأن موضوعٍ محل نقاش ولِفهْم كيف أن النقاط التي تم تناولها تندرج ضمن صورة أكبر من التفاعلات. وعلى سبيل المثال فإن مسألة سَلامة التعديل الوراثي تَبدو في سياق ثلاثة لاعبين: الشركات (التي تسعى إلى أسواق جديدة وتَدفَع نحو حقوق البراءات)، والنشطاء المناهضين للتعديل الوراثي (الذين يحاولون إلغاء التعديل الوراثي نهائيا) والنشطاءِ من أجل البلدان النامية وتزويد العالم بالغذاء (الذين يعملون لتحسين المحاصيلِ وجَعْلها حسب الطلب) ودعاةِ البيئة (الذين يخشون على التنوُّع البيولوجي ومن إزالة الغابات). وهذه الدوافعُ المتفاعلةُ تتنازعُ أحيانا وتُيسِّر بعضها بعضا أحيانا أخرى. وليس من الواضح ما الذي سيَحدُث على الصعيد السياسي. قد يتمُّ التوصُّل إلى توافُق يحقّقُ التوازنَ بين حماية الملكيةِ الفكرية وبين

حاجاتِ سوقِ العالم النامي، وتُحلُّ التكنولوجيا والتعليم العديدَ من الانشغالات المتعلقة بالسلامة، بينما يَسمحَان باستمرار استخدامِ الكائنات المعدَّلة وراثيا، ويجدُ دعاةُ البيئة توازنا يمكنُ أن تَحُلَّ فيه المحاصيلُ المكثَّفة حسب الطلب وتَقَلُّصُ إزالة الغابات انشغالاتِ التنوُّع البيولوجي. وليس من الواضح أيَّ موقفٍ سيسُود سياسيا أو حتى إلى أيِّ حدٍّ يمكن أن يَتمَّ تنظيمُ هذه التكنولوجيا قانونيا، ولكن وضع هذه الخطط ومتابعَة تقدُّم النقاشات المتفاعلةِ يمكن أن يُساعِد في التحكُّم في الوضع وتشكِيل السياسات.

وتُعَدُّ العديدُ من التأثيرات التي تمت مناقشتُها في قسم التكنولوجيا أعلاه توقعاتٍ لِمَا يمكنُ أن يحدُث نتيجةَ التوجُّهات التي نُوقِشت. ولكنْ، بما أنَّ التأثيرات سيَتمُّ الشعورُ بها في المستقبل، فإنه عادةً ما يَصعُب فهمُ ما قد تكونُ عليه التأثيراتُ المتفاعلةُ واللاحقة. ولا يعني هذا أنَّ التأثيراتِ النهائيةَ لن تكون معقَّدة. بل بالعكس، فعلى القارئ أن يكون على وَعي بالطبيعة المعقَّدة للتأثيراتِ وأن يَستمِر في البحث عنها مع نُضج التوجُّهات والتكنولوجيات.



الشكل 5.3 ــ تفاعل تأثيرات الأغذية المعدّلة وراثيا

ويُوضِّح الشكلُ 5.3 كيف أن تأثيراتِ التكنولوجيا المحتمَلة تجعَلُ مجـــالاتِ الاقتصادِ والسياسةِ والرأي العام والبيئة تتفاعلُ وتترابطُ فيما بينها. وقد تمَّ وصفُ التنازع بين التأثيرات بعلامة تَعجُّب (!)، تنازع يُوضِّح كيف أنه يمكن جعل التأثير النهائي متوازنا بواسطة عددٍ من العوامل أو السياسات. وهذا الشكلُ ليس كاملا لكنَّه يُوضِّح التفاعلاتِ المعقَّدةَ بين توجُّهات التكنولوجيا. وهذه التأثيراتُ قد يتمُّ وقفُها على مناطقَ أو شروطٍ بعينها. وعلى سبيل المثال يمكنُ لتقليص اســـتخدامِ المبيداتِ أن يُؤثِّر أكثرَ في المزارِعين الذين سبَق أن اســـتخدَموا المبيـــدات، أمـــا المزارعون الذين يَستخدِمون المحاصيلَ المعدَّلة وراثيا بمبيـــداتٍ بصـــورة منتظَمـــة فيمكنهم الاستمرارُ في جني مزيدٍ من المحاصيل والعائدات.

خامسا: الثورة التكنولوجية

إلى جانب ثوراتِ المعلوماتِ والصناعةِ والزراعةِ الماضية يبدو، بالتالي، أن **ثورة تكنولوجية** متعددةَ التخصصاتِ الجارية يمكن أن يَسمح فيهـــا تضـــافُر المنفَعة والمشترَكة بين التكنولوجيات بتطوُّراتٍ كبيرةٍ وتطبيقاتٍ ومفاهيمَ جديدة (انظر الجدول 3.3). والعديدُ من التوجُّهات الفردية للتكنولوجيا تَتَّبعُ وُجْهـــاتٍ عامةً كما تم بيانه. ولكن، إلى جانب تكنولوجياتٍ بعينها أَخذت تَظهَرُ توجُّهاتٌ أعلى تَسِمُ خصائصَ توجُّهات التكنولوجيا وتُقدِّم إطارا تجريديا لوصف الثـــورة التكنولوجية. وزيادةً على ذلك فإن تكاليفَ الدخول ("التذاكر") تُوضِّـــح مـــا يمكن أن يحتاجَ إليه الأفرادُ والشركاتُ والمناطقُ للدخول إلى الثورة التكنولوجية ومواصلة المشاركة فيها.

وإلى جانب توجُّهات التكنولوجيا الفردية والتوجُّهات العليا يبدو أن الشروط والمواردَ المطلوبةَ للمشاركة في الثورة التكنولوجية تتطور.

سيكون على القوةِ العاملةِ الشاملة المساهمةُ في نشاط متزايدٍ متعددِ التخصصات. وما دامت مهاراتُ الحاسوبِ قد غَدَت أكثرَ أهمية اليوم، فإنه يمكن أن تكون هناك حاجةٌ إلى قُدرةٍ أساسيةٍ للعمل بموادَّ وعملياتٍ جديدة واستخدامِها تَشملُ البيولوجيا وأنظمة نانوية/دقيقة. ولن تكون المهاراتُ والأجهزةُ الجديدة مطلوبةً فقط بل يمكن أن نرى بحلول 2015 تحوُّلا كبيرا في نمط عملِنا وعيشنا بسبب الثورة التكنولوجية.

وسيكون على المستهلكين والمواطنين اكتسابُ فَهْمٍ أساسيٍّ للتكنولوجيا لاتخاذِ قراراتٍ ورفع المطالب وهم على بيِّنة من الأمر بشأن أنظمتنا السياسيةِ والاجتماعيةِ والاقتصادية والعسكرية. وبالمثل ستقعٌ على العلماء والخبراء والتكنولوجيين والحكومة مسؤولياتٌ متزايدةٌ للتفكير فيها ولتبليغ الفوائدِ ومخاطرِ الابتكارات التكنولوجية. وهذه المعرفةُ لا تحتاجُ التعمُّق في كلِّ مجال، ولكنَّ وجودَ فَهْم أساسيٍّ سيَسمَحُ بتطويرٍ واستعمال خاصَّين للتكنولوجيا.

وسيكونُ من شأن العاملين في مجال التكنولوجيا (مثلا، الباحثون والمطوِّرون ومصمِّمُو التطبيقات) أن يكونوا في حاجة إلى تعليمٍ متعدِّد التخصُّصات للسماح بتشكيلِ فِرقٍ، ومن أجل فَهْم متى يجبُ جَلبُ متخصِّصين من مجالات مختلفة. ويمكنُ أن يُيَسِّرَ التعلُّم عن بعد الانتشارَ السريع للمعرفةِ من المتخصِّصين المطوِّرين.

وبالإضافة إلى الدروس الرسميةِ الجامِعَة والتدريبِ متعدِّد التخصُّصات قد تُيسِّر الإنترنت أيضا قُدرةَ الناس على اكتسابٍ ومعرفةٍ جديدَين في تخصُّصاتٍ مختلفة والاحتفاظِ بمهاراتٍ تُواكبُ التوجُّهات الآخذة في التطور. وسيبقى تأصيلُ كلٍّ من مصادرِ المعرفة والتدريبِ أمرا هاما، لاسيما لتدريب العمال، ولكنَّ التجربةَ البادية للعيان يمكنُ أن تستمرَّ في تعويض التدريب الرسمي.

الجدول 3.3 – الثورة التكنولوجية: طرائق التوجُّه والتوجُّهات العليا و"التذاكر"

التكنولوجيا الماضية	التكنولوجيا الحالية	تكنولوجيا المستقبل
التوجهات		
معادن وخزف تقليدي .	مركّبات ومتماثرات	مواد ذكية
هندسة وبيولوجيا منفصلتان	واد حيوية	هندسة وراثية/حيوية
تكاثر انتقائي	الدمج الوراثي	هندسة وراثية
دمج على نطاق ضيق	دمج على نطاق واسع جدا	دمج فائق/على نطاق الجيغا
طباعة حجرية فوق الميكرون	طباعة حجرية تحت ميكروية	التجميع النانوي
الإطار الرئيسي	الحاسوب الشخصي	أواني دقيقة
حواسيب مستقلة	آلات مرتبطة بالانترنت	أواني وشبكات مساعدة
التوجهات العليا		
تخصص وحيد	ذو تخصص ثنائي/هرمي	تعدد التخصصات
أنظمة كبيرة	أنظمة دقيقة	نظمة نانوية
محلي	إقليمي	علمي
مادية	معلومات	عرفة

مدارس للتجارة	تكوين على قدر عال من التخصص	تكوين كتعدد التخصصات
مدارس عامة	درجة علمية متخصصة	درجة/درجات متعددة التخصصات
منتجات ذات مصدر محلي	مرطبات ذات مصدر محلي	منتجات حسب الموارد المحلية
رأس مال	زيادة رأس المال	خليط

بعضُ التقدُّم المحقَّق في توجُّهات التكنولوجيا سَمَحت به فرقُ البحث والتطوير مُتعدِّدَة التخصُّصات. ويجري تعويضُ النموذجِ القديم لعلاقات التكنولوجيا السُّلَّمية بواحدٍ يبحث فيه فريقٌ عن الحلولِ في تخصُّصات متعدِّدَة. وعلى سبيل المثال فالمواد لم يُعهد لها توفير البنية التحتية لطرائق الحوسبة التقليدية فقط بل يجري أخذها بعين الاعتبار للقيام بالتطبيقات نفسِها عندما يكونُ بمقدور الموادِّ الذكية توفيرُ الاستشعار والمعالجةِ المباشرة.

ويبدو أيضا أن استخدامَ الموارد والاعتمادَ عليها آخذٌ في التطور. ففي الماضي أَثَّرت الموادُّ المحلية بصورة كبيرة في الإنتاج المحلي. ويَسمح النقلُ حاليا للموادِّ المحلية (مثل المواد الطبيعية أو اليد العاملة) بإضافتها إلى موارد (ذات قيمة مضافة) من مجالات أخرى، وفي نهاية المطاف تؤدِّي إلى منتجاتٍ تُلبِّي حاجاتِ منتوجٍ نهائي بعينه. وبحلول 2015 يمكن أن تكون المنتجاتُ النهائيةُ حسب الطلب من أجل استخدامِ الموارد المتاحة والتَّمكِين لمجموعة أوسعَ من المشاركين في التكنولوجيا.

ورغم أن تكاليف رأسِ المال الحاليةَ تتزايدُ بالنسبة إلى المشاركين في التكنولوجيا فإنه ليس من الواضح أين سيؤدي هذا التوجُّه بحلول 2015. فمن

جهة سيكونُ من شأن بعضِ تجهيزات البحث والتصنيع (مثلا، بالنسبة لأشباه الموصلات) أن تستمرَّ باعتبارها أكثرَ كُلفةً وأكثرَ تركيزا في أيدي القليل من الصانعين. ومن جهة أخرى قد يتمُّ تنفيذ المعالجة الجينومية والنمذجة السريعة بتجهيزاتٍ أقلَّ تكلفة نسبيا وببنيةٍ تحتية قليلة، وهو ما يسمحُ للتصنيع الحيوي والجزيئي بأن يكون عمليا في أيِّ مكانٍ في العالم. وستصبحُ المعرفةُ في حدِّ ذاتها هامةً وقيِّمةً بصورة متزايدة. فتوليدُ معرفةٍ جديدةٍ وإثباتها وبحثُها من أجل ميادينَ تكنولوجيةٍ جديدة بعينها يمكنُ أن يُصبح مُكلفا أكثر فأكثر مع التوفُّر المتزايدِ للبيانات الأولية (مثل فهم وظيفة خرائط الجينوم وانعكاساتها). وهذه المعرفة يمكنُ أن تُصبحَ محميةً بصورة متزايدة، أما تَوفُّر المعرفة الشاملة ونقلُ بياناتُ الناس والمعرفةِ فيمكن أن تُيسِّرَه تكنولوجياتُ المعلومات.

والأسئلة الأخرى المتعلّقة بالمشاركة تَجعلُ من غير الواضحِ ما الذي سيَحدُث بحلول 2015. هل يمكن للارتباط العالمي والتعلُّم عن بعد أن يجعلا التعليمَ الأوَّلي والمستمرَّ والتدريبَ مُتاحا على مستوى عالمي؟ هل يمكنه أن يُساعد في ردم الهُوَّة بين التخصُّصات الأكاديمية؟ هل يمكن للتصنيع الذكي أن يجعل المشاركةَ في التصنيع العالمي برأس مال أقل أمرا ممكنا، وذلك بإنتاج مكوِّنات لمنتجاتٍ أكبر؟ هل يمكن أن تسمَحَ التطوراتُ في التكنولوجيا بأن يكون الاستخدامُ حسب الطلب للموارد المحلية أكثرَ فعالية؟

سادسا: الثورة التكنولوجية والثقافة

إن الثورةَ التكنولوجيةَ تتجاوزُ بعيدا مجرَّد توليدِ منتجاتٍ وخدمات. أولا، إن هذه المنتجاتِ والخدماتِ آخذةٌ في تغيير التركيبةِ التي يتفاعلُ بها الناس ويعيشون. فالهواتفُ المحمولةُ نَقلت فعلا التفاعلاتِ التجاريةَ والخاصةَ إلى أماكنَ كانت خصوصيَّة فيما مضى. ويُمكن أن يغيِّر تزايدُ تصغيرِ الأشياء وجَعلِها حسَّاسة مثلَ الأواني والملابس والملكية والسيارات الطريقةَ التي تتفاعلُ بها هذه الأشياءُ مع نمطِ معيشتنا. فالأطعمةُ التي نأكلها يمكن أن تُهندَس بصورة متزايدة، ويمكنُ إدماجُ الرعاية الصحية في حيواتنا بواسطةِ توقُّعاتٍ أفضل والتحكُّمِ اليومي في الظروف.

ثانيا، أصبحت الأعمالُ عالميةً ومترابطةً بصورة متزايدة، ومن شأن هذا التوجُّه أن يستمرَّ بمساعدةِ التصنيعِ الذكي والنمذجةِ السريعة على سبيل المثال.

ثالثا، إن مُتَطلَّبات المشاركة في عملية توليدِ المنتجاتِ والخدماتِ آخذة في التغيُّر (انظر أسفل الجدول 3.3)، وبما أن التكنولوجيا تُصبِح متعدِّدَة التخصُّصات أكثر فإن التعليم والتدريبَ يجبَ أن يتغيَّرا لتمكين العمَّال من المشاركة. وينبغي أن يُركِّز التعليمُ على مادة جامعة متعدِّدة التخصصات لتوفِّر على الأقل فَهْما أساسيا لتخصُّصات متعددة. ومن شأن الشركات أن تحتاج إلى إنفاقِ مواردَ أكثرَ على التدريب المستمرِّ لقوتها العاملة.

وبأخذ هذه التوجُّهات معا فإنها تُشيرُ إلى أن للتكنولوجيا تأثيرا ثقافيا، فأنماطُ التفاعلِ الاجتماعي آخذةٌ في التغيُّر. وكلٌّ من الأفكار والقواعدِ تتأثرُ بالمعايير التي أُدخِلت حديثا وبالنفاذِ الأوسَع إلى المقاربات الثقافية الأخرى.

وقد أخذت المجتمعاتُ فعلا في الردِّ على الغزو الثقافي في تكنولوجيا المعلومات (Hundley et al., [212]). وتُعدُّ بعض الثقافات مفتوحةً جدا لتكييف التكنولوجيا الجديدة (لاسيما بالنظر إلى الدوافع المالية)، وأخرى قلقةٌ من تعرُّض تقاليدها الثقافية إلى خطرِ تعويضِها بغزو ثقافي عالمي (غربي أو أميركي أحيانا) وهي أقلُّ انفتاحا لاعتماد التكنولوجيا وقَبولِها. وعلى غِرارِ التوجُّهات التي سَمَحت بها التكنولوجيا الحيوية فإن تكنولوجيا المواد وتكنولوجيا النانو تُوسِّع تأثيرَ الثورة التكنولوجية بطرائق متعددة.

وبما أنه من شأن وتيرةِ هذه التوجُّهات أن تكونَ سريعةً في السنوات الخمس عشرة القادمة فقد تُؤدِّي ردودَ المجتمع هذه على التكنولوجيا وتأثيراتِها على الثقافة المحلية إلى مزيدٍ من التنازع. وقد يكون بعضُ النزاع مفتوحا عندما تَضعُ المجتمعاتُ والحكوماتُ سياساتٍ لحماية الثقافة المتوسِّعة[1] أو حتى محاولة رفضِ الثورة التكنولوجية بوسائلَ عديدة. وقد تكونُ نزاعاتٌ أخرى خفيةً عندما يلجأُ الأفرادُ الذين يرفضون التكنولوجيا إلى الإرهابِ أو الهجماتِ التكنولوجيةِ في محاولة للتأثير في التغيير.

ومن جهة أخرى يمكنُ أن تؤدِّي التحسيناتُ في نوعية الحياة الناتجةِ عن الثورة التكنولوجية إلى تقلُّص النزاع. وقد تُساعِد سياساتٌ تَسمحُ بتقاسُمِ المنافعِ في توجيه المستقبلِ إلى هذه النتيجة الإيجابية أكثر.

---

1 – راجع على سبيل المثال النقاش المتعلق بالانشغالات الإقليمية بشأن الثقافة والتكنولوجيا في: Hundley et al. (2000 [212])

سابعا: نتائج

إلى جانب الثورتين الزراعية والصناعية الماضيتين فإن ثورةً تكنولوجية واسعةً متعدِّدةَ التخصُّصات آخذةٌ في تغيير العالم. وثورةُ المعلومات تُحدث أصلا ثورةً في حيواتنا وستَستمرُّ بمساعدَة طفَرات تكنولوجيا المواد والنانو. وستُحدث التكنولوجيا الحيويةُ ثورةً في الكائنات الحية. أما تكنولوجيا المواد والنانو فإنهما تُطوِّران أجهزة جديدةً بقدرات لم يسبق لها مثيل. وهذه التكنولوجياتُ تؤثِّر في حيواتنا، وهي مترابطةٌ بصورة كبيرة جاعلةً الثورة التكنولوجية متعدِّدةَ التخصصات بشكلٍ كبيرٍ ومعجِّلةً بالتقدُّم في كل مجال.

وقد تكون التأثيراتُ الجذرية للتكنولوجيا الحيوية الأكثرَ إثارةً للدهشة. إذ من المفروض أن تحسِّن الطفراتُ الجماعيةُ كلا من نوعيةِ المعيشةِ وطولِ حياة البشر. وستكونُ هندسةُ المحيط غيرَ مسبوقةٍ في درجة تدخُّلِها وتحكُّمها. وقد تكونُ تأثيراتُ تَوجُّه التكنولوجيا الأخرى أقلَّ وضوحا للناس، ولكن بالنظر إليها لاحقا قد تكون جذريةً بشكل كبير. وستؤدِّي التغيُّرات الأساسيةُ في ما نصنَع وكيفية صُنعه إلى تحديدٍ غير مسبوق حسب الطلب وإلى منتجاتٍ وقُدراتٍ جديدةٍ أساسا.

ورغم الشكِّ الكامن في النظر إلى التوجُّهات المستقبلية فإن مجموعةً من الإمكانيات والتأثيراتِ التكنولوجية متوقَّعةٌ وستتوقَّفُ على عدة ممكِّنات وعقبات (انتظر الجدول 3.1).

وهذه التأثيراتُ الجذرية لا تَخلو من مشكلات. فالعديدُ من الانشغالات والقراراتِ الأخلاقية والاقتصادية والقانونية والبيئية والمتعلقةِ بالسلامة وغيرها من

الانشغالات والقرارات الاجتماعية يجبُ حلُّها بما أن شعوب العالم بـــدأت تفهـــمُ التأثيرَ الممكنَ لهذه التوجُّهات على ثقافاتهم وحيَواتهم. وقد تكمـــن المشـــكلاتُ الأكثر أهمية في الحياة الخاصة والتفاوت الاقتصادي والمخـــاطرِ الثقافيـــة (وردود الفعل)، والأخلاق الحيوية. وبوجه خاص، فإن مشكلات من قبيل تحسينِ النســـل والإستنساخِ البشري والتعديلِ الوراثي تُثيرُ الردودَ الأخلاقية الأكثر قوة. وفَهْـــمُ هذه المشكلات أمرٌ معقَّد جدا بما أنها تدفعُ إلى الاتجاهات التكنولوجية وتـــؤثّر في بعضها بعضا معا بطرائقَ ذات مستوى أعلى وثانوي. والمواطنون وصنَّاع القـــرارِ في حاجة إلى الاستعلام عن التكنولوجيا وجمعِ هذه التفاعلات المعقَّدة وتحليلِها من أجل الفَهْم الصحيح للنقاشات التي تَلُف التكنولوجيا. وستَحُول هذه الخطـــواتُ دون القرارات الساذجة وتحقّقُ أقصى منفعـــة بـــالنظر إلى القـــيم الشخصـــية، وتشخّصُ نقاط التَّلاقي التي يمكن أن يكون عندها للقراراتِ التأثيرُ المرغوبُ فيـــه دون أن تلغيه مسألة لم تُحلَّل.

إن وَعدَ التكنولوجيا ههُنا اليوم، وسيسيرُ قُدُما، وســـتكون لـــه تـــأثيراتٌ واسعةٌ عبر العالم. ولكن تأثيراتِ الثورة التكنولوجية لن تكونَ موحَّدة، إذ ستبدو مختلفةً على المستوى العالمي حسب القَبولِ والاستثمارِ ومجموعـــةٍ متعـــدِّدةٍ مـــن القرارات الأخرى. غير أنه لن يكون هناك أيُّ تراجع، بما أن بعـــضَ المجتمعـــاتِ ستنتهِزُ التكنولوجيا، ومن ثم ستغيِّر العولمةُ البيئةَ التي يَعيشُ فيهـــا كـــلُّ مجتمـــع. وسيَشهَدُ العالمُ تغيُّرا كبيرا ما دامت هذه التطوراتُ تجري على المستوى العالمي.

مسرد بالمصطلحات والمفاهيم العلمية:

Abalone shell	قوقعة أذن البحر
Activation	تشغيل
Activator	مشغل
Agile manufacturing	التصنيع الذكي
air nanoscrubber	جهاز غسل الهواء
Algorithm	لوغارتم
Alloys	سبائك
Anode	قطب سالب
Antibodies	مضادات حيوية
Applied biology	علم الأحياء التطبيقي
Arrays	طبقات
Artificial blood vessel	أوعية دموية اصطناعية
Artificial materials	مواد اصطناعية
Artificial muscles	عضلات اصطناعية
Artificial tissue	نسيج اصطناعي
Assays on a chip	اختبارات على رقاقة
Atomic-force microscopes	مجاهر تعمل بالطاقة الذرية
Barium strontium, titanate	تيتانات سترونسيوم باريوم
Bioactive	نشط حيويا
Biocompatibility	التوافق الحيوي

Biocompatible 5bioabsorbable-	متوافق حيويا (قابل للامتصاص حيويا)
Biofuel	الوقود الحيوي
Bioinformatics	المعلوماتية الحيوية
biological labeling	التعليم (وضع العلامة) الحيوي
Biological organisms	كائنات حيوية
Biology	علم الأحياء
biomass fuel	وقود الكتلة الحيوية
Biomedical engineering	الهندسة الطبية
Biomimetics	المحاكاة الحيوية
Bio-molecular	جزيئي حيوي
Bionic implants	زرع أعضاء الكترونية حيوية
Bionics	علم الالكترونيات الحيوية
Biopharma	الصيدلة الحيوية
Biopolymers	المتماثرات الحيوية
Biosensors	المجسات الحيوية
Biotechnology	التكنولوجيا الحيوية
Blood assays	اختبارات الدم
Brain imaging	تصوير الدماغ
Breaktrhough	طفرة
Byproducts	منتجات ثانوية/جانبية
Cannibalizing	تفكيك شيء ما واستخدامه كقطع غيار في جهة أخرى
carbon molecules	جزيئات الفحم

Carbon nanotubes	أنابيب نانوية من الفحم
Catalyst	حفاز
Cathode	قطب موجب
Ceramic fibers	ألياف خزفية
Chemical stasis	ركود كيميائي
chip	رقاقة
Chip-based systems	أنظمة قائمة على رقاقة
Clones	مستنسَخات
Cloning	استنساخ
Cloning of humans	استنساخ البشر
Coating	طَلْية
Cochlear	قوقعة الأذن
Colloidal	قلوي
Computation	حوسبة (العمليات الحسابية بواسطة الحاسوب)
Computational	حوسبي
Computational logic	المنطق الحوسبي
Computationally	حوسبيا
Computer architecture	معمارية الحاسوب
Computing	الحوسبة
Connectivity	درجة الارتباط
Cooling technology	تكنولوجيا التبريد
Copying	النسخ

Cottage industry	الاقتصاد المترلي
Creative destruction	التدمير الخلاق
Cross-fertilization	التخصيب المقاطع/المتبادل
Cross-pollination	التبويغ المتقاطع
Crystal arrays	طبقات بلورية
Customization	جعل الشيء حسب الطلب/ على المقاس
Deposition	ترسيب
Diagnostic	تشخيص
Diffraction gratings	شبكة الانعطاف
Diode	صمام ثنائي
Dna	الحمض النووي
Dna profiles	صور الحمض النووي
e-commerce	التجارة الالكترونية
Electrolyte	كهرل/كهرلات
Electronegativity	السلبية الالكترونية
Enablers	مُمَكِّنات (عوامل تمكين)
Encapsulation	تعبئة (العبوات أو الكبسولات)
Engenics	تحسين النسل
Engineered crops	المحاصيل المعدلة وراثيا
Engineered foods	الأغذية المعدلة وراثيا
fault current limiters	أجهزة تحد من إفراط التيار
Ferroelectric	حديدي كهربائي

field emission	انبعاث في المجال
Field-agile	ذكي في المجال
Fingerprint	بصمة الإصبع
Fluorinated colloids	قلويات بالفلورين
Foam	رغوة
Free-living organisms	كائنات تعيش مستقلّة
Frequency agile	ذكي في التردد
Fullerenes	جزئيات فولر (جزيئات من الفحم باسم المهندس فولر)
Functional tissue	نسيج وظيفي
Gears	جنازير
Gel	هلامى
Gel glasses	نظارات هلامية
Gene	مورِّث
Gene patents	براءات المورثات
Gene therapy	العلاج الوراثي
Generic drug	دواء جنيس
Genetic code	الشفرة الوراثية
Genetic deficiencies	عيوب وراثية
Genetic engineering	الهندسة الوراثية
Genetic identification	التعرف الوراثي على الهوية
Genetic pools	المجموعات الوراثية
Genetic profiles	الصور الوراثية

Genetically Modified Organisms	الكائنات المعدلة وراثيا
Genome	الطقم الوراثي/الجينوم
Genomic decoding	فك الشفرة الوراثية
Genomic profiling	خرطنة الجينوم
Genomics	علم الجينوم
Genotyping	تحديد النوع الوراقي
Global positioning	التموقع العالمي
Global warming	الاحتباس الحراري العالمي
Head-eye systems	أنظمة للعين مركبة على الرأس
Higher oraganisms	كائنات أعلى
Human breeding	التناسل البشري
Hybrid imaging	التصوير الهجين
Hydrogel	هلامى مائية
Hydrophilic	ممتص للماء
Hydrophobic	طارد للماء
Imaging	التصوير
In vitro	في المختبر
In vivo	في الجسم الحي
Infectious agents	عوامل الإصابة
Information technology	تكنولوجيا المعلومات
Instrumentation	المقاييس
Interconnects	الروابط

Interfacing artificial systems	أنظمة اصطناعية بينية
Ionic gel	هلامى أيونية
Ionic polymer	متماثر أيوني
Irradiation	التشعيع/المعالجة بالإشعاع
Isomer	متجازئ
Isomer modulation	تعديل المتجازئ
Knock-out animals	الحيوانات المعدلة وراثيا
Lab-on-a-chip	الرقاة المختبر/مختبر على رقاقة
LASIK	لازيك (جراحة للعين لتعويض النظارات)
Lattice	شبيكة
Lead zirconate titante	تيتانات زرقونات الرصاص
Liquid helium	هيليوم مميع/سائل
Liquid nitrogen	نيتروجين مميع/سائل
Lithography	الطباعة الحجرية
Markers	واسمات
Materials engineering	هندسة المواد
Materials technology	تكنولوجيا المواد
Matrix	مصفوفة
Measurement	القياس
Memory chips (DRAM)	رقاقات الذاكرة
MEMS	الأنظمة الالكتروميكانيكية المندمجة
Mesoscale	نطاق ميزوي

Meta-technology	التكنولوجيا العليا
Micro/Nanoscale	نطاق نانوي/مجهري
Microelectronics	الالكترونيات الدقيقة
Micro-layering	التصفيف المجهري/الدقيق
Microorganisms	كائنات مجهرية
Micro-packaging	التعليب الدقيق
Microprocessor	المعالج الدقيق
Molecular	جزيئي
Molecular imaging	التصوير الجزيئي
Molecular manufacturing	التصنيع الجزيئي
Monolithic ceramic	خزف ذو وحدة كثيفة متراصة
Multicellular tissues	أنسجة متعددة الخلايا
Nanocatalysts	حفازات نانوية
Nanocrystallyne coatings	طليات من بلور النانوي
Nanolithography	الطباعة الحجرية النانوية
Nanomaterials	المواد النانوية
Nanorobots	روبوتات نانوية
Nano-satellites	أقمار صناعية نانوية
Neural sensor prosthetics	جراحة ترقيعية حسية عصبية
Nuclear isotope separation	فصل النظير النووي
Organic polymer	متماثر عضوي
Organic tissue	نسيج عضوي

Pathogen	عامل مرضي
Phenotype	التركيب الوراثي
Photoluminescence	التلألؤ الضوئي
Photonics	علم الطاقة الضوئية
Pivots	مَحاوِر
Polymerase	إنزيم التماثر
Polymers	المتماثرات
Polypeptides	البيبتدات المتعدة
Prescription banana	وصفة الموزة
Probe	مسبار
Processing	معالجة
Profiling	الخرطنة
Profiling	خرطنة
Prosthetics	الجراحة الترقيعية
Proteomics	علم وظائف البروتينات والمورثات
Qantum computing	حوسبة الكم
Quantum	الكم
Quantum computers	حواسيب الكم
Quantum dots	نقاط الكم
Quantum-switch-based-computing	الحوسبة القائمة على التحول والكم
Rapid prototyping	النمذجة السريعة
Regenation	إعادة التولي

Remote sensing	الاستشعار عن بعد
Retina	الشبكية
Robot	الإنسان الآلي/الروبو
Robotic surgery	الجراحة الآلية
Rotors	دوارات
Scaffold material	مواد السقالة
Scanning probe microscope	مجهر للمسح مزود بمسبار
Selective breeding	التناسل الانتقائي
Self-Assembly	التجميع الذاتي
Semiconductors	أشباه الموصلات
Sensing and reconnaissance	الاستشعار والاستطلاع
Sensor	مجس
Sequence coding	تشفير السلسلة
Sequence	سلسلة (وراثية)
Sequencing	تعيين السلسلة (الوراثية)
Shell	قوقعة
Silicon	السيليكون
Simulation	المحاكاة
Smart materials	المحاكاة الذكية
Sponge	اسفنجة
Stem cells	خلايا جسدية
Superconductor	موصلات فائقة

ynergetic effects	تأثيرات متضافرة
System-on-a-chip	نظام على رقاقة
Tagging	تتبع/وسم
Tailoring drugs	تحديد الأدويةحسب الطلب
Telemedecine	الطب عن بعد
Thermal conductivity	الناقلية الحرارية
Thrombosis	التخثر/التجلط
Tomography	تخطيط الدماغ
Toxins	ذيفان/توكسينات
Traits	سمات
Transducer	محول المادة الوراثية
Transduction	تحويل المادة الوراثية
Transistor gate	بوابة الصمام
Transplantation	نقل/زراعة الأعضاء
Transplants	الأعضاء المزروعة
Trans-species disease	الأمراض المنقولة بين الأنواع
vacuum tubs	أنابيب فارغة
Virtual reality	الواقع الافتراضي
Xenotransplantation	نقل الأعضاء بين الأنواع (من الحيوان إلى البشر)

لمزيد من الإطلاع راجع:

1. توجهات التكنولوجيا العامة:

- **"Research and Development in the New Millennium: Visions of Future Technologies." Special issue of *R&D Magazine,* Vol. 41, No. 7, June 1999.**
- ***Global Mega-Trends,* New Zealand Ministry of Research, Science & Technology, http://www.morst.govt.nz/foresight/info.folders/global/intro.html.**
- **"Visions of the 21st Century." *TIME,* http://www.time.com/time/reports/v21/home.html.**

2. التكنولوجيا الحيوية:

- ***Biotechnology: The Science and the Impact* (Conference Proceedings), Netherlands Congress Centre, the Hague, http://www.usemb.nl/bioproc.htm, January 20-21, 2000.**
- **"Global issues: biotechnology," U.S. Department of State, International Information Programs, http://usinfo.state.gov/topical/global/biotech/.**
- ***Introductory Guide to Biotechnology*. The Biotechnology Industry Organization (BIO) http://www.bio.org/aboutbio/guidetoc.html.**
- **"Biotechnology," Union of Concerned Scientists, http://www.ucsusa.org/agriculture/0biotechnology.html.**
- **Dennis, Carina, Richard Gallagher, and Philip Campbell (eds.), "The human genome," special issue on the human genome, *Nature,* Vol. 409, No. 6822, February 15, 2001.**
- **Jasny, Barbara R., and Donald Kennedy (eds.), "The human genome," special issue on the human genome, *Science,* Vol. 291, No. 5507, February 16, 2001.**

3. تكنولوجيا المواد:

- **Olson, Gregory B., "Designing a new material world," *Science,* Vol. 288, No. 5468, May 12, 2000, pp. 993-998.**
- **Good, Mary, "Designer materials," *R&D Magazine,* Vol. 41, No. 7, June 1999, pp. 76-77.**
- **Gupta, T. N., "Materials for the human habitat," *MRS Bulletin,* Vol. 25, No. 4, April 2000, pp. 60-63.**
- ***Smart Structures and Materials: Industrial and Commercial Applications of Smart Structures echnologies. Proceedings of SPIE,* Volumes 3044 (1997), 3326 (1998), and 3674 (1999). The International Society for Optical Engineering, Bellingham, Washington.**
- **The Intelligent Manufacturing Systems Initiative being pursued by Australia, Canada, The European Union, Japan, Switzerland, and the United States (with Korea about to be admitted) maintains a web page at http://www.ims.org.**
- **Kazmaier, P., and N. Chopra, "Bridging size scales with self-assembling supramolecular materials," *MRS Bulletin,* Vol. 25, No. 4, April 2000, pp. 30-35.**
- **Newnham, Robert E., and Ahmed Amin, "Smart Systems: Microphones, Fish Farming, and Beyond," *Chemtech,* Vol. 29, No. 12, December 1999, pp. 38-46.**
- **"Manufacturing a la carte: agile assembly lines, faster development cycles," *IEEE Spectrum,* special issue, Vol. 30, No. 9, September 1993.**

4. تكنولوجيا النانو:

- **Coontz, Robert, andScience, Vol. 290, No. 5496, special issue on nanotechnology, November 24, 2000, pp. 1523-1558.**
- ***National Nanotechnology Initiative: Leading to the Next Industrial Revolution,* Executive Office of the President of the United States, http://www.nano.gov/.**
- ***Nanostructure Science and Technology: A Worldwide Study,* National Science and Technology Council (NSTC), Committee on Technology and the Interagency Working Group on NanoScience, Engineering and Technology (IWGN), http://www.nano.gov/.**

- Smalley, R. E., "Nanotechnology and the next 50 years," presentation to the University of Dallas Board of Councilors, http://cnst.rice.edu/, December 7, 1995.
- Freitas, Robert A., Jr., "Nanomedicine," *Nanomedicine FAQ,* www.foresight.org, January 2000.

المراجع:

أولا: المناهج الاستشرافية

1. Coates, J. F., "Foresight in Federal government policy making," *Futures Research Quarterly,* Vol. 1, 1985, pp. 29-53.
2. Martin, Ben R., and John Irvine, *Research Foresight: Priority-Setting in Science,* Pinter, London, 1989.
3. Larson, Eric V., "From forecast to foresight: lessons learned from a recent U.S. technology foresight activity," Keynote session, *Foresight at Crossroads Conference,* November 29-30, 1999.

ثانيا: نظرات مستقبلية عامة في العلوم والتكنولوجيا

4. *Global Mega-Trends,* New Zealand Ministry of Research, Science & Technology, http://www.morst.govt.nz/foresight/info.folders/global/intro.html.
5. "Visions of the 21st Century," *TIME,* http://www.time.com/time/reports/v21/home.html.
6. Hammonds, Keith H., "The optimists have it right," *Business Week,* August 13, 1998.
7. Gross, Niel, and Otis Port, "The next wave for technology," *Business Week,* August 13, 1998.
8. Campbell, Philip, "Tales of the expected," *Nature,* Vol. 402 Supp., December 1999, pp. C7-C9.
9. "Simulating chemistry," R&D Research and Development in the New Millennium, *R&D Magazine,* Vol. 41, No. 7, June 1999, pp. 44-48.
10. Greenspan, A., "Maintaining economic vitality," Millennium Lecture Series, sponsored by the Gerald R. Ford Foundation and Grand Valley State University, Grand Rapids, Michigan, http://www.federalreserve.gov/boarddocs/speeches/1999/19990908.htm, September 8, 1999.

11. "Biotechnology for the 21st century: New Horizons," Biotechnology Research Subcommittee, Committee on Fundamental Science, National Science and Technology Council, http://www.nal.usda.gov/bic/bio21/, July 1995.
12. "The biotech century," *Business Week,* March 10, 1997, pp. 79-92.
13. Lederberg, Joshua, "Science and technology: biology and biotechnology," *Social Research,* Vol. 64, No. 3, Fall 1997, pp. 1157-1161.
14. Zucker, Lynne G., Michael R. Darby, and Marilynn B. Brewer, "Intellectual human capital and the birth of U.S. biotechnology enterprises," *The American Economic Review,* Vol. 88, No. 1, March 1998, pp. 290-306.
15. "We are now starting the century of biology: already, genetic engineering is transforming medicine and agriculture--and that's just scratching the surface," *Business Week,* http://www.businessweek.com/1998/35/b3593020.htm, August 24-31, 1998.
16. Rotman, David, "The next biotech harvest," *MIT Technology Review,* September/October 1998.
17. Long, Clarisa, "Picture biotechnology: promises and problems," *The American Enterprise,* http://www.theamericanenterprise.org/taeso98p.htm, September 1, 1998, pp. 55-58.
18. Mironesco, Christine, "Parliamentary technology assessment of biotechnologies: a review of major TA reports in the European Union and the USA," *Science and Public Policy,* Vol. 25, No. 5, October 1998, pp. 327-342.
19. PricewaterhouseCoopers LLP, "Pharma 2005--an industrial revolution in R&D," 1998.
20. Gorman, Siobhan, "Future pharmers of America," *National Journal,* Vol. 31, No. 6, February 2, 1999, pp. 355-356.
21. Morton, Oliver, "First fruits of the new tree of knowledge," *Newsweek.com,* February 3, 1999.
22. Carey, John, Naomi Freundlich, Julia Flynn, and Neil Gross, "The biotech century--there's a revolution brewing in the lab, and the payoff will be breathtaking," *Business Week,* No. 3517, March 10, 1999, pp. 78-90.

23. Poste, George, "The conversion of genetics and computing: implications for medicine, society, and individual identity," Presentation to the Science and Technology Policy Institute, Summary by Danilo Pelletiere, www.rand.org/centers/stpi/newsci/Poste.html, April 19, 1999.
24. Pfeiffer, Eric W. (ed.), "Will biotech top the net?" *Forbes ASAP,* special issue on biotechnology, http://www.forbes.com/asap/99/0531/, May 31, 1999.
25. Logan, Toni, Evantheia Schibsted, Alex Frankel, Sally McGrane, and Suzie Amer, "Bioworlds: emerging pharma, it's all about drugs," *Forbes ASAP,* http://www.forbes.com/asap/99/0531/044.htm, May 31, 1999, pp. 44-57.
26. Caplan, Arthur, "Silence = disaster: to succeed biotech will have to answer many vexing ethical questions," *Forbes ASAP,* http://www.forbes.com/asap/99/0531/082.htm, May 31, 1999, pp. 82-84.
27. "Biotech mania," R&D Research and Development in the New Millennium, *R&D Magazine,* Vol. 41, No. 7, June 1999, pp. 22-27.
28. Gunter, Barrie, Julian Kinderlerer, and Deryck Beyleveld, "The media and public understanding of biotechnology: a survey of scientists and journalists," *Science Communication,* Vol. 20, No. 4, June 1999, pp. 373-394.
29. Stone, Amey, "This fund makes biotech bets a bit less risky," *Business Week,* July 12, 1999.
30. Thiel, Karl A., "Big picture biology," www.BioSpace.com/articles/, July 14, 1999.
31. Zorpette, Glenn, and Carol Ezzell (eds.), "Your bionic future," *Scientific American Presents,* September 1999.
32. "The third generation of pharmaceutical R&D introduction," Glaxo Wellcome, 21 October 1999.
33. Slavkin, Harold C., "Insights on human health: announcing the biotechnology century," National Institute of Dental & Craniofacial Research, www.nidr.nih.gov/slavkin/slav0999.htm, November 11, 1999.
34. "Industry in 2010: beyond the millennium," FT.com Life Sciences: Pharmaceuticals, http://www.ft.com/ftsurveys/q4b1a.htm, November 17, 1999.
35. "Biotech trends 100," *MIT Technology Review,* Vol. 102, No. 6, November/December 1999, pp. 91-92.
36. "Biotech on the move," *MIT Technology Review,* Vol. 102, No. 6, November/December 1999, pp. 67-69.
37. PricewaterhouseCoopers LLP, "Pharma 2005--silicon rally: the race to e-R&D," 1999.

38. "Biotech 2030: eight visions of the future," www.biospace.com/articles/, January 6, 2000.
39. "Systems biology in the post-genomics era," *Signals Magazine,* http://recap/coom.signalsmag.nsf/DP91D8DF, February 2, 2000.
40. Hapgood, Fred, "Garage biotech is here or just around the corner: will genetic modification for fun and profit become a homegrown industry?" *Civilization,* April/May 2000, pp. 46-51.
41. Biotechnology Industry Organization (BIO), *Introductory Guide to Biotechnology,* 2000, http://www.bio.org/aboutbio/guidetoc.html.

رابعا: المجسات الحيوية والمجسات ذات الصلة

42. Schultz, Jerome S., "Biosensors," *Scientific American,* August 1991, pp. 64-69.
43. Scheller, F. W., F. Schubert, and J. Fedrowitz, *Frontiers in Biosensorics I: Fundamental Aspects,* and *II: Practical Applications,* Birkhäuser, Basel, 1997.
44. Dickinson, Todd A., Joel White, John S. Kauer, and David R. Walt, "Current trends in 'artificial-nose' technology," *Trends in Biotechnology,* Vol. 16, June 1998, pp. 250-258.
45. Simpson, Michael L., Gary S. Sayler, Bruce M. Applegate, Steven Ripp, David E. Nivens, Michael J. Paulus, and Gerald E. Jellison, Jr., "Bioluminescent-bioreporter integrated circuits form novel whole-cell biosensors," *Trends in Biotechnology,* Vol. 16, August 1998, pp. 332-338.
46. Giuliano, Kenneth A., and D. Lansing Taylor, "Fluorescent-protein biosensors: new tools for drug discovery," *Trends in Biotechnology,* Vol. 16, March 1998.
47. Hellinga, Homme W., and Jonathan S. Marvin, "Protein engineering and the development of generic biosensors," *Trends in Biotechnology,* Vol. 16, April 1998, pp. 183-189.
48. Marose, Stefan, Carsten Lindemann, Roland Ulber, and Thomas Scheper, "Optical sensor systems for bioprocess monitoring," *Trends in Biotechnology,* Vol. 17, January 1999, pp. 30-34.

49. Coates, Joseph, F., John B. Mahaffie, and Andy Hines, "The Promise of Genetics," *The Futurist,* Vol. 31, No. 5, September-October 1997, pp. 18-22.
50. Strohman, Richard C., "Five stages of the human genome project," *Nature Biotechnology,* Vol. 17, February 1999, p. 112.
51. Naomi Freundlich, "Finding a cure in DNA?" *Business Week,* No. 3517, March 19, 1999, pp. 90-92.
52. "Human genome promise," *R&D Magazine,* Vol. 41, No. 7, June 1999, pp. 40-42.
53. Jasny, Barbara R., and Pamela J. Hines, "Genome prospecting," *Science,* Vol. 286, No. 5439, October 15, 1999, pp. 443-491.
54. Plomin, Robert, "Genetics and general cognitive ability," *Nature,* Vol. 402, Supp., December 16, 1999, pp. C25-C29.
55. Eisen, Jonathan, "Microbial and plant genomics," *Biotechnology: The Science and the Impact* (Conference Proceedings), Netherlands Congress Centre, the Hague, http://www.usemb.nl/bioproc.htm, January 20-21 2000.
56. Carrington, Damian, "How the code was cracked," *BBC News Online,*
http://news.bbc.co.uk/hi/english/in_depth/sci_tech/2000/human_genome/newsid_760000/760849.stm, May 30, 2000.
57. Pennisi, Elizabeth, "Finally, the book of life and instructions for navigating it," *Science,* Vol. 288, No. 5475, June 30, 2000, pp. 2304-2307.
58. Dennis, Carina, Richard Gallagher, and Philip Campbell (eds.), "The human genome," special issue on the human genome, *Nature,* Vol. 409, No. 6822, February 15, 2001.
59. Baltimore, David, "Our genome unveiled," *Nature,* Vol. 409, No. 6822, February 15, 2001, pp. 814-816.
60. Aach, John, Martha L. Bulyk, George M. Church, Jason Comander, Adnan Derti, and Jay Shendure, "Computational comparison of two draft sequences of the human genome," *Nature,* Vol. 409, No. 6822, February 15, 2001, pp. 856-859.
61. International Human Genome Sequencing Consortium (IHGSC), "Initial sequencing and analysis of the human genome," *Nature,* Vol. 409, No. 6822, February 15, 2001, pp. 860-921.

62. Jasny, Barbara R., and Donald Kennedy (eds.), "The human genome," special issue on the human genome, *Science,* Vol. 291, No. 5507, February 16, 2001.
63. Galas, David J., "Making sense of the sequence," *Science,* Vol. 291, No. 5507, February 16, 2001, pp. 1257-1260.
64. Venter, J. Craig, et al., "The sequence of the human genome," *Science,* Vol. 291, No. 5507, February 16, 2001, pp. 1304-1351.

سادسا: الأغذية المعدلة وراثيا

65. Evenson, Robert E., "Global and local implications of biotechnology and climate change for future food supplies," *Proceedings of the National Academies of Science USA,* Vol. 96, May 1999, pp. 5921-5928.
66. Butler, Declan, Tony Reichhardt, Alison Abbott, David Dickson, and Asako Saegusa, "Long-term effect of GM crops serves up food for thought," *Nature,* Vol. 398, No. 6729, April 22, 1999.
67. Vogt, Donna U., and Mickey Parish, "Food biotechnology in the United States: science, regulation, and issues," Congressional Research Service Report to Congress, http://usinfo.state.gov/topical/global/biotech/crsfood.htm, June 2, 1999.
68. Persley, G. J., and M. M. Lantin (eds.), *Agricultural Biotechnology and the Poor,* An International Conference on Biotechnology, Consultative Group on International Agricultural Research, http://www.cgiar.org/biotech/rep0100/contents.htm, October 21-22, 1999.
69. Haslberger, Alexander G., "Monitoring and labeling for genetically modified products," *Science,* Vol 287, No. 5452, January 21, 2000, pp. 431-432.
70. Somerville, Chris, "The genetic engineering of plants," *Biotechnology: the Science and the Impact* (Conference Proceedings), Netherlands Congress Centre, the Hague, http://www.usemb.nl/bioproc.htm, January 20-21, 2000.
71. Benbrook, Charles, "Who controls and who will benefit from plant genomics?" *The 2000 Genome Seminar: Genomic Revolution in the Fields: Facing the Needs of the New Millennium,* AAAS Annual Meeting, Washington D.C., February 19, 2000.
72. Langridge, William H.R., "Edible Vaccines," *Scientific American,* Vol. 283, No. 3, September 2000, pp. 66-71.

سابعا: الاستنساخ

73. Eiseman, Elisa, *Cloning Human Beings: Recent Scientific and Policy Developments,* RAND, MR-1099.0-NBAC, http://www.rand.org/publications/MR/MR1099.pdf, Santa Monica, California, August 1999.
74. Gurdon, J. B., and Alan Colman, "The future of cloning," *Nature,* Vol. 402, No. 6763, December 16, 1999, pp. 743-746.
75. Pennisi, E., and G. Vogel, "Animal cloning: clones: a hard act to follow," *Science,* Vol. 288, No. 5472, June 9, 2000, p. 1722-1727.
76. McLaren, Anne, "Cloning: pathways to a pluripotent future," *Science,* Vol. 288, No. 5472, June 9, 2000, p. 1775-1780.
77. Matzke, M. A., and A. J. M. Matzke, "Cloning problems don't surprise plant biologists," *Science,* Vol. 288, No. 5475, June 30, 2000, p. 2318.
78. Weiss, Rick, "Human cloning's 'numbers game,'" *Washington Post,* October 10, 2000, p. A01.

ثامنا: خلق أجهزة جديدة والجينومات الدنيا

79. Cho, Mildred K., David Magnus, Arthur L. Chaplain, and Daniel McGee, "Ethical considerations in synthesizing a minimal genome," *Science,* Vol. 286, No. 5447, December 10, 1999, pp. 2087-2090.
80. Hutchinson III, Clyde A., Scott N. Peterson, Steven R. Gill, Robin T. Cline, Owen White, Claire M. Frazer, Hamilton O. Smith, and J. Craig Venter, "Global transponson mutagenesis and a minimal mycoplasma genome," *Science,* Vol. 286, No. 5447, December 10, 1999, pp. 2165-2169.

تاسعا: البروتينات المزدهرة

81. Tsien, Roger Y., "Rosy dawn for fluorescent proteins," *Nature Biotechnology,* Vol.17, October 1999, pp. 956-957.

عاشرا: التقنيات/التجهيزات المخبرية

82. Müller-Gärtner, Hans-W., "Imaging techniques in the analysis of brain function and behaviour," *Trends in Biotechnology,* Vol. 16, No. 3., March 1998.
83. Thomas, Charles F., and John G. White, "Four-dimensional imaging: the exploration of space and time," *Trends in Biotechnology,* Vol. 16, April 1998, pp. 175-182.
84. Foster, Barbara, "MicroConvergence," *R&D Magazine,* Vol. 41, No. 8, July 1999, pp. 48-50.
85. Stoffel, James, "New imaging pathways," *R&D Magazine,* Vol. 41, No. 7, June 1999, pp. 80-82.
86. "Shrinking the 'universal sensor'," *R&D Magazine,* Vol. 41, No. 9, August 1999, pp. S53-S54.
87. Lindsay, Stuart, "AFM emerges as essential R&D tool," *R&D Magazine,* Vol. 41, No. 10, September 1999.
88. Costello, Catherine E., "Bioanalytic applications of mass spectrometry," *Current Opinion in Biotechnology,* Vol. 10, 1999, pp. 22-28.

حادي عشر: الكيمياء التركيبية

89. Karet, Gail, "Combinatorial methods successful in solid-state catalyst discovery," *R&D Magazine,* Vol. 41, No. 11, October 1998, p. 67.
90. Pople, John, quoted in "Simulating chemistry," *R&D Magazine,* Vol. 41, No. 7, June 1999.

ثاني عشر: الرقاقة المخبرية

91. Schena, Mark, Renu A. Heller, Thomas P. Theriault, Ken Konrad, Eric Lachenmeier, and Ronald W. Davis, "Microarrays: biotechnology's discovery platform for functional genomics," *Trends in Biotechnology,* Vol. 16, July 1998, pp. 301-306.
92. Studt, Tim, "Development of microfluidic UHTS systems speeding up," *R&D Magazine,* Vol. 41, No. 2, February 1999, p. 43.

93.Hicks, Jennifer, "Genetics and drug discovery dominate microarray research," *R&D Magazine,* Vol. 41, No. 2, February 1999, pp. 28-33.
94.Marsili, Ray, "Lab-on-a-chip poised to revolutionize sample prep," *R&D Magazine,* Vol. 41, No. 2, February 1999, pp. 34-40.
95."Fundamental changes ahead for lab instrumentation," *R&D Magazine,* February 1999, Vol. 41, No. 2, pp. 18-27.
96.Regnier, Fred E., Bing He, Shen Lin, and John Busse, "Chromatography and electrophoresis on chips: critical elements of future integrated, microfluidic analytical systems for life science." *Trends in Biotechnology,* Vol. 17, March 1999, pp. 101-106.
97."Robotics speed drug discovery," *R&D Magazine,* Vol. 41, No. 9, August 1999, p. S57.
98."Biochips perform genetic analyses rapidly and economically," *R&D Magazine,* Vol. 41, No. 9, August 1999, p. S54.

ثالث عشر: تكنولوجيا النانو الحيوية

99.Drexler, K. Eric, "Building molecular machine systems," *Trends in Biotechnology,* Vol. 17, January 1999, pp. 5-7.
100. Pum, Dietmar, and Uwe B. Sleytr, "The application of bacterial S-layers in molecular nanotechnology," *Trends in Biotechnology,* Vol. 17, January 1999, pp. 8-12.
101. Parkinson, John, and Richard Gordon, "Beyond micromachining: the potential of diatoms," *Trends in Biotechnology,* Vol. 17, May 1999, pp. 190-196.
102. Lee, Stephen C., "Biotechnology for nanotechnology," meeting report, *Trends in Biotechnology,* Vol. 16, June 1999, pp. 239-240.
103. Merkle, Ralph C., "Biotechnology as a route to nanotechnology," *Trends in Biotechnology,* Vol. 17, July 1999, pp. 271-274.
104. Kröger, Nils, Rainer Deutzmann, and Manfred Sumper, "Polycationic peptides from diatom biosilica that direct silica nanosphere formation," *Science,* Vol. 286, November 1999, pp. 1129-1131.
105. Amato, Ivan, "Reverse engineering the ceramic art of algae," *Science,* Vol. 286, November 1999, pp. 1059-1061.
106. Mirkin, C. A., "A DNA-based methodology for preparing nanocluster circuits, arrays, and diagnostic materials," *MRS Bulletin,* Vol. 25, No. 1, January 2000, pp. 43-54.

رابع عشر: الهندسة الطبية

107. Grundfest, Warren, "The future of biomedical engineering at UCLA," UCLA colloquium, March 16, 2000.

108. Chang, Thomas Ming Swi, "Artificially boosting the blood supply," *Chemistry & Industry,* Apri1 17, 2000, pp. 281-285.

خامس عشر: المحاكاة الحيوية

109. Noble, Denis, "Reduction and integration in understanding the heart," *The Limits of Reductionism in Biology,* Gregory Bock and Jamie Goode (eds.), Novartis Foundation Symposium, Vol. 213, John Wiley & Sons Ltd., 1998, pp. 56-68; discussion pp. 68-75.

110. Robbins-Roth, Cynthia, "The virtual body," *Forbes,* Vol. 162, No. 3, August 10, 1998, p. 109.

111. Buchanan, Mark, "The heart that just won't die," *New Scientist,* Vol. 161, No. 2178, March 20, 1999, pp. 24-28.

112. Normile, Dennis, "Building working cells '*in silico,*'" *Science,* Vol. 284, No. 5411, April 2, 1999, pp. 80-81.

113. Schaff J., and L. M. Loew, "The virtual cell," *Pacific Symposium on Biocomputing,* Vol. 4, 1999, pp. 228-239.

سادس عشر: المعلوماتية الحيوية

114. *Trends Guide to Bioinformatics,* Elsevier Science, 1998.

115. Lim, Hwa A., and Tauseef R. Butt, "Bioinformatics takes charge," meeting report, *Trends in Biotechnology,* Vol. 16, March 1998.

116. Venkatesh, T. V., Benjamin Bowen, and Hwa A. Lim, "Bioformatics, pharma and farmers," meeting report, *Trends in Biotechnology,* Vol. 17, March 1999, pp. 85-88.

سابع عشر: الخلايا الجذعية

117. Shamblott, M. J., J. Axelman, S. Wang, E. M. Bugg, J. W. Littlefield, P. J. Donovan, P. D. Blumenthal, G. R. Huggins, and J. D. Gearhart, "Derivation of pluripotent stem cells from cultured

human primordial germ cells," *Proceedings of the National Academy of Sciences USA,* Vol. 95, 1998, pp. 13726-13731.
118. Thomson, J. A., J. Itskovitz-Eldor, S. S. Shapiro, M. A. Waknitz, J. J. Swiergiel, V. S. Marshall, and J. M. Jones, "Embryonic stem cell lines derived from human blastocysts," *Science,* Vol. 282, No. 5391, November 6, 1998, pp. 1145-1147.
119. Couzin, Jennifer, "The promise and peril of stem cell research--scientists confront thorny ethical issues," *U.S. News & World Report,* May 31, 1999.
120. U.S. National Bioethics Advisory Commission, "Ethical issues in human stem cell research," http://bioethics.gov/pubs.html, September 1999.
121. McLaren, Anne, "Stem cells: golden opportunities with ethical baggage," *Science,* Vol. 288, No. 5472, June 9, 2000, p. 1778.
122. Allen, Arthur, "God and science," *Washington Post Magazine,* October 15, 2000, pp. 8-13, 27-32.

ثامن عشر: علم وهندسة المواد

123. National Research Council, *Materials Science and Engineering in the 90s: Maintaining Competitiveness in the Age of Materials,* National Academy Press, Washington, D.C., 1989.
124. Good, Mary, "Designer materials," *R&D Magazine,* Vol. 41, No. 7, June 1999, pp. 76-77.
125. Arunachalam, V. S., "Materials challenges for the next century," *MRS Bulletin,* Vol. 25, No. 1, January 2000, pp. 55-56.
126. ASM International, "Millennium materials," Editorial, *Advanced Materials & Processes,* March 2000.
127. Gupta, T. N., "Materials for the human habitat," *MRS Bulletin,* Vol. 25, No. 4, April 2000, pp. 60-63.
128. Olson, Gregory B., "Designing a new material world," *Science,* Vol. 288, No. 5468, May 12, 2000, pp. 993-998.

129. Nadis, Steve, "We can rebuild you," *MIT Technology Review,* Vol. 100, No. 7, October 1997, pp. 16-18.
130. Bonassar, L. J., and C. A. Vacanti, "Tissue engineering: the first decade and beyond," *J. Cell. Biochem. Suppl.*, Vol. 30/31, 1998, pp. 297-303.
131. Aksay, I. A., and S. Weiner, "Biomaterials, is this really a field of research?" *Current Opinion in Solid State & Materials Science,* Vol. 3, 1998, pp. 219-220.
132. Colbert, Daniel T., and Richard E. Smalley, "Fullerene nanotubes for molecular electronics," *Trends in Biotechnology,* Vol. 17, February 1999, pp. 46-50.
133. McFarland, Eric W., and W. Henry Weinberg, "Combinatorial approaches to materials discovery," *Trends in Biotechnology,* Vol. 17, March 1999, pp. 107-115.
134. Garnett, M. C., et al., "Applications of novel biomaterials in colloidal drug delivery systems," *MRS Bulletin,* Vol. 24, No. 5, May 1999, pp. 49-56.
135. Reiss, J. G., and M. P. Krafft, "Fluorocarbons and fluorosurfactants for in vivo oxygen transport (blood substitutes), imaging, and drug delivery," *MRS Bulletin,* Vol. 24 No. 5, May 1999, pp. 42-48.
136. Glaev, Igor Y., and Bo Mattiasson, "'Smart' polymers and what they could do in biotechnology and medicine," *Trends in Biotechnology,* Vol. 17, No. 8, August 1999, pp. 335-340.
137. Ackerman, Robert K., "Futuristic materials inspired by biological counterparts," *Signal,* March 2000, pp. 37-41.
138. Temenoff, J. S., and A. G. Mikos, "Review: tissue engineering for regeneration of articular cartilage," *Biomaterials,* Vol. 21, 2000, pp. 431-440.
139. Hench, L. L., "Medical materials for the next millennium," *MRS Bulletin,* Vol. 24, No. 5, May 1999, pp. 13-19 (see also http://www.anl.gov/OPA/news96/news961203.html).
140. For additional information on tissue engineering, see: http://www.pittsburgh-tissue.net, http://www.whitaker.org, http://www.advancedtissue.com, http://www.organogenesis.com, http://www.integra-ls.com, and http://www.isotis.com.

141. "How hot lasers are taming titanium," *Fortune,* Industrial Management and Technology Edition, 21 February 2000, quoted at http://www.aerometcorp.com/aeromentnews.htm.
142. Rapid prototyping web page and links were found at http://www.cc.utah.edu/~asn8200/rapid.html#COM.

143. Haertling, G. H., "RAINBOW ceramics--a new type of ultra-high-displacement actuator," *American Ceramic Society Bulletin,* Vol. 73, 1994, pp. 93-96.
144. Humbeeck, J. Van, D. Reynaerts, and J. Peirs, "New opportunities for shape memory alloys for actuators, biomedical engineering, and smart materials," *Materials Technology,* Vol. 11, No. 2, 1996, pp. 55-61.
145. Sater, Janet M. (ed.), *Smart Structures and Materials 1997: Industrial and Commercial Applications of Smart Structures Technologies,* Proceedings of SPIE, Volume 3044, The International Society for Optical Engineering, Bellingham, Washington, May 1997.
146. Newnham, R. E., "Molecular mechanisms in smart materials," *MRS Bulletin,* Vol. 22, No. 5, May 1997, pp. 20-34.
147. Shahinpoor, M., Y. Bar-Cohen, J. O. Simpson and J. Smith, "Ionic polymer-metal composites (IPMCs) as biomimetic sensors, actuators and artificial muscles--a review," *Smart Mater. Struct.*, Vol. 7, 1998, pp. R15-R30.
148. Sater, Janet M. (ed.), *Smart Structures and Materials 1998: Industrial and Commercial Applications of Smart Structures Technologies.* Proceedings of SPIE, Volume 3326, The International Society for Optical Engineering, Bellingham, Washington, June 1998.
149. Jacobs, Jack H. (ed.), *Smart Structures and Materials 1999: Industrial and Commercial Applications of Smart Structures Technologies,* Proceedings of SPIE, Volume 3674, The International Society for Optical Engineering, Bellingham, Washington, July 1999.

150. Newnham, Robert E., and Ahmed Amin, "Smart systems: Microphones, fish farming, and beyond," *Chemtech,* Vol. 29, No. 12, December 1999, pp. 38-46.
151. Bar-Cohen, Y., "Electroactive polymers as artificial muscles--capabilities, potentials and challenges," Keynote Presentation at the *Robotics 2000* and *Space 2000* International Conferences (International Conference and Exposition on Engineering, Construction, Operations, and Business in Space, collocated with the International Conference and Exposition on Robotics for Challenging Situations and Environments), Albuquerque, New Mexico, February 28-March 2, 2000, http://www.spaceandrobotics.org. The site includes references to other electroactive polymer and related robotics websites.
152. Wool, Richard P., "Polymer science: A material fix," *Nature,* Vol. 409, No. 6822, February 15, 2001, pp. 773-774.
153. White, S. R., N. R. Sottos, P. H. Geubelle, J. S. Moore, M. R. Kessler, S. R. Sriram, E. N. Brown, and S. Viswanathan, "Autonomic healing of polymer composites," *Nature,* Vol. 409, No. 6822, February 15, 2001, pp. 794-797.

154. Alivisatos, P., "Electrical studies of semiconductor nanocrystal colloids," *MRS Bulletin,* Vol. 23 No. 2, February 1998, pp. 19-23.
155. Smalley, R. E., "Nanotech growth," *R&D Magazine,* Vol. 41, No. 7, June 1999, pp. 34-37.
156. Chen, T., N. N. Thadhami, and J. M. Hampikian, "The effects of nanostructure on the strengthening of NiAl," *High-Temperature Ordered Intermetallic Alloys Symposium VIII,* Materials Research Society Symposium Proceedings, Vol. 552, Materials Research Society, Pittsburgh, Pennsylvania, 1999.
157. Koch, C. C., D. G. Morris, K. Lu, and A. Inoue, "Ductility of nanostructured materials," *MRS Bulletin,* Vol. 24, No. 2, 1999, pp. 54-58.

171. Siegel, Richard W., Evelyn Hu, Mihail C. Roco, *Nanostructure Science and Technology (A World-Wide Study): R&D Status and Trends in Nanoparticles, Nanostructured Materials and Nanodevices,* National Science and Technology Council (NSTC) Committee on Technology and The Interagency Working Group on NanoScience, Engineering and Technology (IWGN), Dordrecht: Kluwer Academic, 1999 (also available at http://itri.loyola.edu/nano/IWGN.Worldwide.Study/).
172. "Nanotech growth," Research and development in the new millennium, *R&D Magazine,* Vol. 41, No. 7, June 1999.
173. McWhorter, Paul J., "The role of nanotechnology in the second silicon revolution," Testimony before the U.S. House of Representatives Committee on Science, June 22, 1999.
174. Merkle, Ralph, C., "Nanotechnology: the coming revolution in manufacturing," Testimony before the U.S. House of Representatives Committee on Science, June 22, 1999.
175. Wong, Eugene, "Nanoscale science and technology: opportunities for the twenty-first century," Testimony before the U.S. House of Representatives Committee on Science, June 22, 1999.
176. Smalley, R. E., "Nanotechnology," Testimony before the U.S. House of Representatives Committee on Science, June 22, 1999.
177. Freitas, Robert A. Jr., "Nanomedicine," *Nanomedicine FAQ,* www.foresight.org, January 2000.
178. "National Nanotechnology Initiative: Leading to the Next Industrial Revolution," White House press release, http://www.whitehouse.gov/WH/New/html/20000121_4.html, January 21, 2000.
179. *National Nanotechnology Initiative: Leading to the Next Industrial Revolution,* Executive Office of the President of the United States, http://www.nano.gov, February 7, 2000.
180. Rennie, John, "Nanotech reality," *Science,* Vol. 282, No. 6, June 2000, p. 8.
181. Coontz, Robert, and Phil Szuromi (eds.), "Issues in nanotechnology," special issue on nanotechnology, *Science,* Vol. 290, No. 5496, November 24, 2000, pp. 1523-1558.

182. P. S. Weiss, "Are single molecular wires conducting?" *Science,* Vol. 271, 1996, pp. 1705-1707.

183. Cuberes, M. T., et al., "Room temperature repositioning of individual C60 molecules at Cu steps: Operation of a molecular counting device," *Appl. Phys. Lett.,* Vol. 69, 1996, p. 3016.

184. Credi, A., V. Balzani, S. J. Langford, and J. F. Stoddart, "Logic operations at the molecular level. An XOR gate based on a molecular machine," *J. Am. Chem. Soc.,* Vol. 119, 1997, p. 2679.

185. Collins, P. G., A. Zettl, H. Bando, A. Thess, and R. E. Smalley, "Nanotube nanodevice," *Science,* Vol. 278, p. 100.

186. Heath, James R., Philip J. Kuekes, Gregory S. Snider, and R. Stanley Williams, "A defect-tolerant computer architecture: opportunities for nanotechnology," *Science,* Vol. 280, No. 5370, June 1998, pp. 1716-1721.

187. Collier, C. P., E. W. Wong, M. Belohradsky, F. M. Raymo, J. F. Stoddart, P. J. Kuekes, R. S. Williams, and J. R. Heath, "Electronically configurable molecular-based logic gates," *Science,* Vol. 285, No. 5426, 1999, pp. 391-394.

188. Chen, J., M. A. Reed, A. M. Rawlett, and J. M. Tour, "Large on-off ratios and negative differential resistance in a molecular electronic device," *Science,* Vol. 286, 1999, pp. 1550-1552.

سابع وعشرون: الرقاقات المصنوعة بتكنولوجيا النانو

189. Packen, Paul, "Pushing the limits," *Science,* Vol. 285, No. 5436, 24 September, 1999, pp. 2079-81.

190. SEMATECH, *International Technology Roadmap for Semiconductors,* 1999.

ثامن وعشرون: الحساب الكمي

191. Shor, P., "Algorithms for quantum computation: Discrete logarithms and factoring," *Proc. 35th Ann. Symp. Foundations of Computer Science,* Vol. 124, 1994.
192. Bennet, C. H., "Quantum information and computing," *Physics Today,* Vol. 48, No. 10, October 1995, pp. 24-30.
193. DiVincenzo, D., "Quantum computation," *Science,* Vol. 270, 1995, p. 255.
194. Gershenfeld, N., and I. L. Chuang, "Bulk spin resonance quantum computation," *Science,* Vol. 275, 1997, p. 350.
195. Sohn, Lydia L., "A quantum leap for electronics," *Nature,* Vol. 394, No. 6689, July 1998.
196. Birnbaum, J., and R. S. Williams, "Physics and the information revolution," *Physics Today,* Vol. 53, No. 1, January 2000, pp. 38-42.

تاسع وعشرون: الحساب البيولوجي

197. Adleman, L., "Molecular computation of solutions to combinatorial problems," *Science,* Vol. 266, 1994, p. 1021.
198. Alivisatos, A. P., et al., "Organization of 'nanocrystal molecules' using DNA, " *Nature,* Vol. 382, 1996, p. 609.
199. "Computing with DNA," *Scientific American,* Vol. 279, 1998, p. 34.
200. Tomita, M., K. Hashimoto, K. Takahashi, Y. Matsuzaki, R. Matsushima, K. Saito, K. Yugi, F. Miyoshi, H. Nakano, S. Tanida, and T. S. Shimizu, "E-CELL project overview: towards integrative simulation of cellular processes," *Genome Informatics Workshop 1998,* Tokyo, Japan, 10-12 December 1998, http://www.genome.ad.jp/manuscripts/GIW98/Poster/GIW98P02.pdf.
201. Tomita, M., K. Hashimoto, K. Takahashi, T. S. Shimizu, Y. Matsuzaki, F. Miyoshi, K. Saito, S. Tanida, K. Yugi, J. C. Venter, and C. A. Hutchison, 3rd, "E-CELL: software environment for whole-cell simulation,"
Bioinformatics, Vol. 15, No. 1, January 15, 1999, http://www.sfc.keio.ac.jp/~mt/mt-lab/publications/abs/tomita99.html, pp. 72-84.

ثلاثون: النظم الالكتروميكانيكية المجهرية

202. Marshall, Sid, "New applications emerging as MEMS technology advances," *R&D Magazine,* Vol. 41, No. 8, July 1998, pp. 32-37.
203. Picraux, S. Tom, and Paul J. McWhorter, "The broad sweep of integrated microsystems," *IEEE Spectrum,* December 1998, pp. 24-33.
204. Sasaki, Satoshi, and Isao Karube, "The development of microfabricated biocatalytic fuel cells," *Trends in Biotechnology,* Vol. 17, February 1999, pp. 50-52.
205. *Micromachine Devices,* Vol. 4, No.6, June 1999.
206. Karet, Gail, "Integrated approach simplifies MEMS design," *R&D Magazine,* Vol. 41, No. 8, July 1999, p. 41.
207. Marshall, Sid, "Industry roadmap planned for microsystems technology," *R&D Magazine,* Vol. 41, No. 8, July 1999, pp. 44-45.

حادي وثلاثون: المجسات النانوية

208. Dong, L. F., et al., "Gas sensing properties of nano-ZnO prepared by arc plasma method," *Nanostruct. Mater.,* Vol. 8, 1997, p. 815.
209. Duncan, R., "Polymer therapeutics for tumor specific delivery," *Chemistry and Industry,* Vol. 7, 1997, pp.262-264.
210. Iddan, G., G. Meron, and P. Swain, "Medical engineering: Wireless capsule endoscopy," *Nature,* Vol. 405, No. 6785, May 25, 2000, p. 417.

ثاني وثلاثون: نظرات في تكنولوجيا المعلومات

211. Smarr, Larry, "Digital fabric," *R&D Magazine,* Vol. 41, No. 7, June 1999, pp. 50-54.

212. Hundley, Richard O., Robert H. Anderson, Tora K. Bikson, James A. Dewar, Jerrold Green, Martin Libicki, and C. Richard Neu, *The Global Course of the Information Revolution: Political, Economic, and Social Consequences: Proceedings of an International Conference,* RAND, CF-154-NIC, http://www.rand.org/publications/CF/CF154/, Santa Monica, California, 2000.
213. Anderson, Robert H., Philip S. Antón, Steven C. Bankes, Tora K. Bikson, Jonathan P. Caulkins, Peter J. Denning, James A. Dewar, Richard O. Hundley, and C. Richard Neu, *The Global Course of the Information Revolution: Technology Trends: Proceedings of an International Conference,* RAND, CF-157-NIC, http://www.rand.org/publications/CF/CF157/, Santa Monica, California, 2000.

ثالث وثلاثون: تكنولوجيات الفضاء

214. Luu, Kim, and Maurice Martin, "GSFC shuttle payload design workshop for the university nanosatellite program," Overview and NASA Safety Workshop, AFOSR and DARPA University Nanosatellite Program, http://www.nanosat.usu.edu/presentations/afpayload/index.html, July 27, 1999. See also http://www.nanosat.usu.edu/ for general information on the nanosatellite program.

215. Beardsley, Tim, "The way to go in space," *Scientific American,* February 1999, pp. 81-97.
216. Marshall, Sid, "MEMS growth reflected in space instrumentation," *R&D Magazine,* Vol. 41, No. 8, July 1999, pp. 37-40.

رابع وثلاثون: العولمة

217. Friedman, Thomas L., *The Lexus and the Olive Tree,* Anchor Books, New York, April 2000.

218. Walter, Carrie F., "Beyond the Harvard Mouse: current patent practice and the necessity of clear guidelines in biotechnology patent law," *Indiana Law Journal,* Vol. 73, No. 3, http://www.law.indiana.edu/ilj/v73/no3/walter.html, Summer 1998.

إنجاز وتصميم دار الأمل للطباعة والنشر والتوزيع،
تيزي وزو، الجزائر
026 21 07 21 026 21 96 55
EDITION_ELAMEL@hotmail.com
159

THE GLOBAL TECHNOLOGY REVOLUTION

Bio/Nano/Materials Trends and Their Synergies
with Information Technology by 2015

Philip S. Anton, Richard Silberglitt, and James Schneider

Prepared for the **National Intelligence Council**

RAND

National Défense Research Institute

160

المجلس الأعلى للّغة العربية

شارع فرنكلين روزفت، الجزائر

الهاتف:24 07 23 21 213 الناسوخ:07 07 23 21 213

ص ب 575 الجزائر، ديدوش مراد

WWW.csla.dz