

Distr.
GENERAL

A/53/202
28 July 1998
ARABIC
ORIGINAL: ENGLISH

الجمعية العامة



الدورة الثالثة والخمسون
البند ٦٧ من جدول الأعمال المؤقت*

دور العلم والتكنولوجيا في سياق
الأمن الدولي ونزع السلاح

تقرير الأمين العام

المحتويات

<u>الصفحة</u>	<u>الفقرات</u>
٢	١ - ٣ مقدمة
٢	٤ - ١٥١ اتجاهات التكنولوجيا في مجالات مختارة
٢	٤ - ٢٨ ألف - التكنولوجيا النووية
٩	٢٩ - ٥٦ باء - التكنولوجيا الفضائية
١٩	٥٧ - ٨٤ جيم - تكنولوجيا المواد
٢٦	٨٥ - ١١٢ دال - تكنولوجيا المعلومات
٣٣	١١٣ - ١٥١ هاء - التكنولوجيا الحيوية

982223

مقدمة

١ - يقدم هذا التقرير عملاً بالقرارين ٣٩/٥١ المؤرخ ١٠ كانون الأول/ ديسمبر ١٩٩٦ و ٣٣/٥٢ المؤرخ ٩ كانون الأول/ ديسمبر ١٩٩٧. وقد طُلب إلى الأمين العام في القرار ٣٩/٥١ أن يقوم باستكمال ومواصلة تطوير تقرير سابق مؤرخ ١٧ تشرين الأول/أكتوبر ١٩٩٠ معنون "التطورات العلمية والتكنولوجية وتأثيرها على الأمن الدولي" (A/45/568)، بهدف تقييم تأثير التطورات العلمية والتكنولوجية الحديثة، لا سيما التطورات التي يحتمل أن تكون لها تطبيقات عسكرية. وذكّرت الجمعية العامة في قرارها ٣٣/٥٢ بقرارها ٣٩/٥١ وطلبها إلى الأمين العام أن يقدم تقريراً مستكملاً في موعد لا يتعدى دورتها الثالثة والخمسين.

٢ - تضمن تقرير ١٩٩٠ تقييمات للاتجاهات والتطورات في خمسة مجالات رئيسية وهي: التكنولوجيا النووية، والتكنولوجيا الفضائية، وتكنولوجيا المواد، وتكنولوجيا المعلومات، والتكنولوجيا الحيوية. وقد أعد التقييمات علماء قدموا أوراقهم للمناقشة في مؤتمر رفيع المستوى عن "الاتجاهات الجديدة في العلم والتكنولوجيا: آثارها على السلم والأمن الدوليين"، عُقد في سندي باليابان في نيسان/أبريل ١٩٩٠. واستضافت المؤتمر حكومة اليابان. وأعدت الأوراق المقدمة في ضوء المناقشات التي جرت هناك.

٣ - عملاً بالطلب الوارد في القرارين ٣٩/٥١ و ٣٣/٥٢، طُلب من الخبراء الذين أعدوا المساهمات الأصلية لتقرير ١٩٩٠ استكمال تقييماتهم السابقة بتقديم لمحة موجزة عن الاتجاهات الجديدة العامة التي استجدت منذ إعداد التقرير الأول؛ وتحديد أية اتجاهات جديدة مع توضيحها بالرسوم البيانية كلما أمكن؛ وإبداء ملاحظات عن التطبيقات السلمية والتطبيقات الأخرى لآخر التطورات. وتعبّر التقييمات المستكملة المستنسخة أدناه عن آراء مؤلفيها.

اتجاهات التكنولوجيا في مجالات مختارة

ألف - التكنولوجيا النووية*

٤ - ذكر في تقرير عام ١٩٩٠ أنه بعد عدة عقود من النمو السريع، نضجت التكنولوجيا النووية وهي الآن في مرحلة لا يحتمل أن يتحقق فيها، فيما يبدو، تقدم كبير في السنوات القليلة المقبلة. ولم تشر كلمة "التطورات" إلى التقدم العادي في البحث العلمي بل أشارت بالأحرى إلى التطورات التي قد يتوقع أن يكون لها تأثير - إيجابي أو سلبي - على سياسة الأمن الدولي والجهود الرامية إلى نزع السلاح. وقد ثبتت صحة هذا التكهن، كما هو مبين أدناه.

* كتب هذا الجزء الدكتور طور لارسون، منسق البحوث المتعلقة بالأسلحة النووية، مؤسسة بحوث الدفاع الوطني، استوكهلم، السويد.

٥ - في السبعينيات والثمانينيات كان يقال أحيانا إن التكنولوجيا قد تقدمت على السياسة. إلا أن التغييرات الشاملة التي طرأت على العلاقات الدولية خلال التسعينيات استعادت تفوق السياسة إلى حد ما. ولعل ذلك يتضح في المجال النووي أكثر من المجالات الأخرى، وذلك لأن كثيرا من البحث والتطوير النووي الجاري حاليا يهدف إلى تنفيذ قرارات سياسية اتخذت في أعقاب هذه التغييرات.

٦ - منذ كتابة التقرير السابق، شهد العالم، فيما شهد من أحداث، حل الاتحاد السوفياتي ونقل جميع الأسلحة النووية السوفياتية إلى أراضي الاتحاد الروسي، وسحب كل الأسلحة النووية دون الاستراتيجية تقريبا من أوروبا، وربما تدمير العديد منها، واستمرار العمل في تنفيذ معاهدة الحد من الأسلحة الاستراتيجية (ستارت)، والتوقيع على ستارت ٢ (رغم عدم التصديق عليها بعد)، والمناقشات الأولية المتعلقة بإبرام ستارت ٣ في المستقبل. وعلى الصعيد المتعدد الأطراف، حدث توسع غير محدود في معاهدة عدم انتشار الأسلحة النووية، وإبرام معاهدة الحظر الشامل للتجارب النووية - رغم احتوائها على أحكام قد تحول دون دخولها حيز النفاذ في شكلها الحالي - والجهود المتجددة للتوصل إلى معاهدة تحظر إنتاج مواد الأسلحة النووية. وقد قدمت حرب الخليج والعواقب التي نجمت عنها دروسا مهمة. وفي الآونة الأخيرة، أظهرت كل من الهند وباكستان قدرتهما على إنتاج أسلحة نووية بعد أن قامت كل منهما باختبار عدة أجهزة تفجير على الملأ.

٧ - من الناحية المثالية، فإنه ينبغي النظر في جميع التطورات الجديدة المذكورة أعلاه عند تنقيح تقرير عام ١٩٩٠ الذي غطى الاتجاهات المتعلقة بالمجالات التالية:

- تطوير الأسلحة النووية؛
- تطوير إنتاج الطاقة النووية للأغراض المدنية؛
- أساليب إنتاج المواد النووية؛
- الأسلحة التي يُطلق عليها اسم الأسلحة الإشعاعية؛
- الليزر أو حزم الجسيمات كخيارات للدفاعات الصاروخية النشطة أو التي تطبق في سياق الأسلحة النووية؛

• التكنولوجيا النووية المستخدمة للكشف وللتحقق من المعاهدات.

٨ - أما في واقع الحال، فإن الظروف المتغيرة المذكورة أعلاه تقتضي التحول في أوجه التركيز قياسا بعام ١٩٩٠. وثمة حاجة أيضا إلى إدراج مواضيع عولجت في التقرير السابق باقتضاب، أو لم تعالج على الإطلاق، لتوضيح اتجاهات مزيد من التطورات التي اكتسبت أهمية في ضوء الأحداث الأخيرة. وكما حدث في التقرير السابق، استبعدت التطورات المتصلة بمركبات الإيصال (القذائف وغيرها) ومنصات الأسلحة وذلك لاعتبارها غير ذات صلة بالتكنولوجيا النووية من الناحية العلمية.

الأسلحة النووية

٩ - أولى تقرير عام ١٩٩٠ اهتماما خاصا للحالات المتطرفة المتصلة بكل من نواتج الأسلحة وإمكانية تناولها، أي "تكيف" تأثيرات الأسلحة. ويبدو أن هذه المواضيع أصبحت ذات شأن أقل اليوم. ويعود أحد أسباب ذلك ببساطة إلى أنه يبدو أن التطورات الأخرى لنظم الأسلحة النووية الجديدة قد توقفت. وثمة سبب آخر وهو أن إمكانية نشوب حرب نووية، حيث قد تعتبر هذه السمات الخاصة للأسلحة مفيدة، تبدو الآن مستبعدة جدا.

١٠ - وثمة عامل آخر مهم في ابطاء أو وقف تطور أنماط جديدة من المتفجرات النووية - إذا كان قد تم السعي إليها من قبل - يتمثل في تعليق الاختبارات النووية لمدة طويلة من جانب الولايات المتحدة الأمريكية، والاتحاد الروسي والمملكة المتحدة لبريطانيا العظمى لايرلندا الشمالية. وقد أجرت هذه الدول الثلاث آخر اختباراتهما، والتي قد تكون الأخيرة، في الأعوام ١٩٩٢ و ١٩٩٠ و ١٩٩١ على التوالي، في حين استمرت اختبارات الصين وفرنسا حتى سنة ١٩٩٦. إلا أن جميع الدول الخمس المعروفة تقليديا بأنها دول حائزة للأسلحة النووية تعهدت في وقت لاحق من عام ١٩٩٦ بالتوقف كليا عن إجراء التجارب بتوقيع معاهدة الحظر الشامل للتجارب النووية. ورغم أهمية الأثر السياسي للتجارب التي أجرتها الهند وباكستان في أيار/ مايو ١٩٩٨، فإنه لا يوجد سبب يدعو للاعتقاد بأن هذه التجارب تعني حدوث تقدم تكنولوجي يتجاوز التقدم متاح للدول الخمس الأصلية الحائزة للأسلحة النووية منذ فترة طويلة.

١١ - ومن جهة أخرى، يساور بعض الدول الحائزة للأسلحة النووية قلق حيال مشكلة الحفاظ على الجودة التقنية لمخزوناتهما من الأسلحة النووية (أو المخزونات المتبقية عند تنفيذ تخفيض الأسلحة)، بعد أن أصبح من غير المتاح إجراء تجارب كاملة على النطاق. ولهذا السبب، خصصت حكومة الولايات المتحدة مبالغ كبيرة للبرنامج المعروف عموما باسم "برنامج الإشراف"، ويوجد برنامج مشابه في فرنسا ولكنه أصغر بكثير. إلا أن عدم اليقين يكتنف محتوى هذه البرامج في المستقبل، ومن ثم يكتنف الإمكانيات التي قد توفرها أيضا لإدخال تعديلات وتحسينات تقنية في الرؤوس الحربية النووية التي "تشرف" عليها.

١٢ - كما يذكر مؤيدو "برنامج الإشراف" فإنه ينبغي أن يكتفى (أ) حفظ وفهم جميع المعارف المكتسبة من التجارب السابقة؛ (ب) ويمكن محاكاة تأثيرات الأسلحة إلى أكبر مدى ممكن؛ (ج) تكفي أساليب الحوسبة

لاستبدال وتجديد وتحديث مكونات الأسلحة التي تصل إلى نهاية فترة خدمتها. وتتصل النقطة الثانية بصورة رئيسية بالتأثيرات الإشعاعية على الأجهزة الإلكترونية الدقيقة الحديثة البالغة الأهمية لكل من الأنظمة الهجومية والدفاعية. وقد يستدل من التركيز على هذا الجانب دلالة على أن المقتضيات التي تفرضها الصراعات الاستراتيجية النووية لا تزال مهمة. أما النقطة الثالثة فهي تركز على جانب كان معروفا جيدا، إلا أنه لم يناقش بشكل موسع عند كتابة التقرير السابق، أي قدم الإجراء المختلف في الرؤوس الحربية النووية.

١٣ - من المعروف أنه إذا اعتمدت وظيفة الرأس الحربي على وجود التريتيوم، فإنه يتعين استبدال هذه المادة على فترات زمنية منتظمة وذلك لأنها تنحل إشعاعيا بفترة عمر نصفي تبلغ نحو ١٢ سنة. غير أن أجزاء كثيرة أخرى غير نووية قد تهرم أيضا. فمثلا، قد تتحلل المواد الشديدة الانفجار نتيجة للإشعاع، وقد تؤدي الحرارة إلى تردي بعض المكونات أو تآكلها عند الأسطح المشتركة بين المواد المختلفة. وبشكل عام، يُعتقد أن الرؤوس الحربية النووية تحتاج إلى إصلاح على فترات تتراوح بين خمس سنوات و ١٠ سنوات. وبسبب الحالة الاقتصادية الصعبة في الاتحاد الروسي، أصبح من الصعوبة المحافظة على ممارسات الصيانة التي كانت متبعة من قبل، وبالفعل يجادل بعض المعلقين الروس بأن المخزون النووي الروسي أصبح غير موثوق فيه الآن بدرجة كبيرة من الناحية التقنية. بيد أنه هناك العديد من المراقبين الذين يبدون شكوكهم في أن برامج البحوث الضخمة والطموحة والباهظة هذه ضرورية حقا لتوفير القدرة على معالجة هذه المشاكل. ولذا فهم يعتقدون أنه ربما توجد كذلك طموحات لتفادي حظر إجراء التجارب وتطوير تصاميم لأسلحة جديدة.

إنتاج الكهرباء من الطاقة النووية

١٤ - في حين أن استخدام الكهرباء المنتجة من الطاقة النووية في الأغراض المدنية ينطوي على بعض الإمكانيات لانتشار الأسلحة، أشار التقرير السابق إلى أن الأحداث الفعلية بيّنت أن هذه العلاقة ليست قوية بصورة خاصة. ولا توجد أسباب لتغيير هذا التقييم اليوم، لأن الانتشار الذي حدث بالفعل نشأ عن اعتبارات سياسية، ويحتمل أنه كان سيحدث حتى لو كانت الدول مدار المناقشة أقل اعتمادا على الطاقة النووية. ومع ذلك فإن الكهرباء المنتجة من الطاقة النووية يمكن أن تؤثر على الأمن الدولي بصورة غير مباشرة بسبل أخرى ولا سيما عن طريق دورها في الإمداد بالطاقة على الصعيد العالمي، وبسبب الشواغل البيئية وشواغل السلامة بين الجمهور. والأرجح أن تكون هذه المشاغل قد أدت إلى الإبطاء في تنمية الطاقة الكهرونووية في بلدان كثيرة.

١٥ - وإن إحدى النتائج التي تترتب على بطء التطور لإنتاج الكهرباء من الطاقة النووية هو أنه لا يوجد نقص على الإطلاق في الوقود النووي أو في خام اليورانيوم بوصفه المادة الخام لهذا الوقود. ومع توفر التقنيات ومعدلات النمو في الوقت الحاضر يتوقع أن تفي احتياطات اليورانيوم المعروفة بالاحتياجات العالمية لسنوات كثيرة قادمة، مع أن وكالة الطاقة الذرية الدولية تقدر أنه قد يتعين النظر في زيادة كفاءة

استخدام موارد اليورانيوم قبل حلول عام ٢٠٥٠. وفيما يتعلق بوقود المفاعلات النووية فإن العرض يفوق الطلب، إذا أخذنا البلوتونيوم في الاعتبار.

١٦ - لقد لاحظ تقرير عام ١٩٩٠ أنه يوجد اهتمام متزايد بتكنولوجيا الوقود المكون من خليط من الأكاسيد، والمتصلة بضرورة عمل شيء ما بشأن المخزونات المتزايدة من البلوتونيوم. وينتج بعض هذا البلوتونيوم من الأسلحة النووية التي يتم التخلص منها، وإن كان معظمه يأتي من الوقود المشع للمفاعلات النووية. وهذا الاتجاه مستمر حالياً، وتوجد حالياً برامج بحثية متعددة موجهة لحل مشكلة البلوتونيوم بالاقتران مع توليد الطاقة الكهربائية أو بدونه. وأحد الأفكار المطروحة في هذا الشأن هي المفاعل الموجود في الحالة دون الحرجة والذي يعمل بواسطة معجّل جسيمات، ويمكن وقف تشغيله بمجرد إطفاء المعجّل. وسوف تناقش فيما يلي مشكلة التخلص من البلوتونيوم.

١٧ - يتقدم البحث عن وسائل لتوليد الطاقة النووية باستخدام عمليات غير الانشطار النووي تقدماً محدوداً للغاية. وعلى الرغم من وجود برامج بحثية دولية كبيرة مثل برنامج توروس الأوروبي المشترك (والمفاعل النووي الحراري التجريبي الدولي)، لا يزال الاستخدام العملي المقبل لطاقة الاندماج النووي أمراً غير مؤكد. ويبدو أن هذا صحيح أيضاً بالنسبة لنهج أخرى مهمة علمياً يجري متابعتها ولا سيما الاندماج الاحتجائي بالقصور الذاتي "inertial confinement fusion".

١٨ - وهناك أفكار أخرى غريبة نوعاً ما، لا تزال تكتفية في الغالب، مثل استخدام أيسوميرية الدور النووي والتعجيل الإلكتروني لآيونات الديتيريوم لإنتاج النيوترونات. وهذه تذكر من قبيل إتمام الموضوع فقط، ولا يجري وصفها على أنها مصادر ممكنة للطاقة لأن أيّاً منها لا يولّد طاقة تزيد عن الطاقة التي يستهلكها.

إنتاج المواد النووية والتخلص منها

١٩ - نشأ اهتمام كبير حوالي عام ١٩٩٠ في استخدام سبل جديدة لإنتاج المادة الانشطارية، ولا سيما تلك التي تستخدم أشعة الليزر. وكان هذا الأمر يتصل إلى حد كبير بالشواغل المتعلقة بالانتشار النووي، وإن كان هناك أيضاً احتمال إنتاج اليورانيوم القليل التخصيب كوقود رخيص للمفاعلات النووية. ويبدو أن أول هذه الجوانب قد فقد كثيراً من أهميته. فقد حدث الانتشار وتم إنتاج المواد اللازمة باتباع وسائل تقليدية. والواقع أن جهود الانتشار التي تم إجهاضها في العراق قد حدثت بصورة جزئية باستخدام الفصل الكهربائي المغناطيسي للنظائر، وهي طريقة نبذتها منذ زمن طويل الدول الخمس المعروفة أنها حائزة للأسلحة النووية وذلك لانخفاض كفاءتها وارتفاع تكلفتها.

٢٠ - وبالنسبة للجانب المتعلق بوقود المفاعل النووي فقد ذكر مسبقاً بأن المشكلة الرئيسية اليوم هي وفرة المادة الانشطارية وليس نقصها. وعلاوة على ذلك، فإنه لا يستخدم حالياً إلا نحو ٨٠ في المائة فقط من الطاقة الإجمالية للتخصيب في العالم. ومع ذلك لا يزال يوجد اهتمام تجاري في إيجاد طرق أكثر

اقتصاداً لإنتاج اليورانيوم العالي التخصيب. ولهذا السبب يستمر البحث في التقنيات المعروفة باسم (الفصل النظائري للبخار الذري بالليزر) و (فصل النظائر بالليزر إلى جزئيات) في الولايات المتحدة وفي أمكنة أخرى على حد سواء. يضاف إلى ذلك يجري تطوير طريقة جديدة تسمى (فصل النظائر عن طريق التنسيب بالليزر). ويعتقد أن هذه الطرق ستصبح، في الوقت المناسب، ذات إمكانات تفوق الفصل بالطرد المركزي. أما أسلوب التخصيب الذي كان سائداً يوماً ما، وهو أسلوب الانتشار الغازي، فقد أصبح يعد أسلوباً عتيقاً وغير قابل للاستمرار من الناحية الاقتصادية. وليس لهذه الاعتبارات أثر مباشر على جهود نزع السلاح ولكن يتعين أن توضع في الاعتبار عندما يتم النظر في وسائل التحقق التي يمكن أن تستخدم في المعاهدة النهائية المقبلة.

٢١ - لم يُبحث موضوع تكنولوجيا التحويل في التقرير السابق، فقد كان يُعتقد آنذاك بأنها طريقة تكنولوجية وغير واقعية لإنتاج المواد الانشطارية. غير أن أبحاث التحويل اكتسبت أهمية في التسعينات بعد أن تبين أنها يمكن أن توفر الإمكانيات للتخلص من النفايات النووية لمفاعلات الطاقة ومادة الأسلحة الفائضة. وتجري في الوقت الحاضر برامج بحثية في بلدان متعددة بما فيها الولايات المتحدة والاتحاد الروسي وفرنسا واليابان. والفكرة الأساسية هي استخدام معجّل للجسيمات لإنتاج كمية كبيرة من النيوترونات السريعة (عالية الطاقة) عن طريق عملية تدعى التشظية spallation. وعندما تتفاعل هذه النيوترونات مع المادة التي يتعين التخلص منها فإنها ستحول هذه المادة إلى نويدات تكون أقل عرضة للانتشار وتعمل على التقليل من الحاجة إلى التخلص النهائي في المستودعات الجيولوجية (وليس الاستغناء عنه كلية). وينظر إلى بعض الحلول المقترحة على أنها تستخدم تحديداً كوسائل للتخلص من النفايات، بينما ينظر إلى وسائل أخرى على أنها يمكن أن تزيد من إمدادات الطاقة إذا ثبت أنها مجدية اقتصادياً. وعلى الرغم من المشاكل التقنية الكثيرة التي لا تزال بغير حل فقد يُنظر إلى التحويل حالياً بوصفه ميداناً فرعياً للتكنولوجيا النووية الواعدة والمهمة.

٢٢ - وأحد العوامل التي تعقّد مشكلة البلوتونيوم هو عدم وجود سياسة متفق عليها بشأنها. ويوجد أساساً مدرستان مختلفتان من التفكير: الأولى، التي ينتمي إليها كثير من العلماء الروس، تدعي بأن البلوتونيوم المتوفر حالياً يمثل قيمة اقتصادية عالية جداً وينبغي استخدامه بأفضل طريقة ممكنة لإنتاج الطاقة. أما المدرسة الأخرى، التي يؤيدها أمريكيون كثيرون فتقول بأن البلوتونيوم الفائض له قيمة سلبية لأنه لا حاجة له لإنتاج الطاقة، ولأن التكاليف تكون كبيرة لاستخدامه في أنواع الوقود المصنوعة من خليط الأكاسيد أو غيرها.

الأسلحة الإشعاعية

٢٣ - أدرج هذا الموضوع في التقرير السابق بصورة رئيسية من قبيل إتمامه، ولم تذكر عنه تفاصيل لأن هذه الأسلحة غير مرغوب فيها لعدد من الأسباب، بما فيها أسباب عسكرية. ولم يحدث شيء يمكن أن يغير هذا التقييم، ولا يُعرف عن تطوير هذه الأسلحة في أي مكان. غير أنه لا يوجد إلى الآن أي اتفاق دولي يحظرها.

تكنولوجيات الدفاع المتعلقة بالقذائف التسيارية

٢٤ - أثار القرار الذي اتخذته حكومة الولايات المتحدة في عام ١٩٨٣ بالمضي قدماً "بمبادرة الدفاع الاستراتيجي" مناقشة بشأن البدائل التقنية المختلفة لإحباط القذائف التسيارية وهي في الجو، بما فيها استخدام حزم الجسيمات من أنماط مختلفة. ولما كانت الدفاعات المتعلقة بالقذائف التسيارية ذات صلة جلية بالاعتبارات الاستراتيجية النووية، فقد قدم تقرير عام ١٩٩٠ بعض الملاحظات المتصلة بأسلحة الحزم، على الرغم من أن الاهتمام بها أخذ في التلاشي بالفعل، وعلى الرغم من أن التكنولوجيات التي تجري مناقشتها لا تدرج تحت الميدان النووي نفسه.

٢٥ - لقد بينت الحرب في الخليج الفارسي فائدة ما يسمى بنظم الدفاع المسرحي غير أنها بينت في الوقت نفسه، عيوب النظام الذي كان متوفراً آنذاك. ونتيجة لذلك شهدت السنوات التي أعقبت الحرب نمواً كبيراً لجهود البحث والتطوير في هذا الميدان؛ ويوجد الآن نحو عشرة برامج مختلفة جارية في الولايات المتحدة. وفي حين أن أجهزة الليزر لم تختف تماماً فإن غالبية النظم المتصورة هي "أسلحة الطاقة الحركية" ومثال ذلك، أنها تدمر القذائف القادمة عن طريق الاصطدام بها. ومع أن هذه التكنولوجيات لم تكتمل بعد، فإن كثيراً من مؤيديها ينظرون إليها بوصفها ركناً أساسياً مقبلاً مهماً للأمن الوطني. وإن الصلة المستمرة لهذا التطور بمجال الأسلحة النووية ترجع في المقام الأول إلى أنها تسبب قلقاً لبعض المراقبين الروس الذين يعتقدون بأن واحداً أو أكثر من هذه النظم قد تتحسن في المستقبل لتقوم بدور استراتيجي. وهذا من شأنه أن يضع عقبة أخرى أمام التقدم في نزع السلاح النووي الثنائي.

تكنولوجيات الكشف والتحقيق

٢٦ - في تقرير عام ١٩٩٠ وجه بعض الاهتمام إلى الأجهزة الضرورية للتأكد مما إذا كان جسم محدد يعتبر جهازاً نووياً أو لا، ولوحظ بأن هذه الأجهزة متاحة من حيث المبدأ، مع أن التطبيق العملي قد يكون صعباً في حالات كثيرة. وقد اتخذت هذه المشكلة بعداً جديداً في السنوات الأخيرة بسبب القلق الموجود حالياً في دول كثيرة من أن المواد النووية يمكن أن تسرق وتهرب عبر الحدود الوطنية، ومن آثار ذلك على الانتشار النووي والإرهاب النووي. ولهذا السبب شعرت سلطات الجمارك والشرطة في كثير من البلدان بالحاجة إلى تعزيز قدراتها على كشف الأجسام المشعة؛ وبالتالي تم تصميم وتسويق أجهزة أكثر ملاءمة لتلبية هذه الاحتياجات. وفي حين أن هذه الأجهزة لا تمثل أي تكنولوجيا جديدة إلا أنها تؤذن بقدوم جانب جديد من جوانب الحقبة النووية.

٢٧ - كما أن التقرير السابق أتى على ذكر التحقيق من المعاهدة. فبعد أن لاحظ التقرير أن وجود فهم أفضل لإشعاع الأسلحة النووية والظواهر النووية يمكن أن يساعد في تطوير طرق للتحقق، ذكر التقرير أيضاً أن معظم طرق التحقق هي ذات طبيعة غير نووية. ولا شك أن هذه الملاحظة لا تزال صحيحة. بيد أنه في ظل المناخ السياسي الذي يسود فترة التسعينات، ولا سيما بعد إبرام معاهدة الحظر الشامل للتجارب، أخذ التحقيق أيضاً يدخل مرحلة جديدة. ثم إنه للمرة الثانية لا يشمل تكنولوجيات نووية جديدة بصورة أساسية. إلا أن التأكيد الجديد الذي يعطى لضرورة توفر رصد تعاوني على نطاق العالم باستخدام

وسائل تقنية مختلفة هو تطور مهم. ومن بين هذه الوسائل، على سبيل المثال، وجود شبكة من محطات أوتوماتية لقياس النشاط الإشعاعي في الجو لها أيضا قدرة حاليا على كشف النظائر المشعة للغازات وأن ما يسمى "ببرنامج ٩٣+٢" الذي بدأته الوكالة الدولية للطاقة الذرية هو شكل آخر للرصد التعاوني. وهو يهدف الى تخفيض مخاطر الانتشار وتبديد المخاوف عن طريق زيادة الشفافية للجهود الوطنية للتكنولوجيا النووية، كما أنه يعتبر مهما لأنه يطور طرقا جديدة، إن لم يطور أجهزة تقنية جديدة.

٢٨ - وختاما، ينبغي أن يذكر هنا موضوع لم يتناوله تقرير عام ١٩٩٠ على الإطلاق. ألا وهو التلوث الإشعاعي البيئي الناجم عن إنتاج وتجريب الأسلحة النووية في الماضي، وعن عدم الحفاظ على عناصر النظم النووية مثل مفاعلات الغواصات. وفي عالم ما قبل التسعينات كانت هذه المشاكل تهمل عموما بوصفها مشاكل ثانوية بالنسبة لمشاغل الأمن الوطني أو لأنها لم تكن معروفة في بعض الحالات. غير أنه بعد أن خف التوتر السياسي بين الدول الكبرى، أصبحت قضايا البيئة تحتل مكان الصدارة، كما أصبحت مجالا للجهود البحثية الدولية. وفي الوقت نفسه، تطورت الطرق المستخدمة في القياس وتحليل الإشعاعات بعد حادث تشيرنوبيل. وفي حين أن أخطار هذه الملوثات يكون مبالغيا فيها أحيانا في المناقشات العامة، إلا أن الانتباه الذي يعطى لها هو أمر مناسب جدا في عالم يواصل السعي لتحسين المناخ الدولي مجازا وحرفيا على حد سواء.

باء - التكنولوجيا الفضائية*

٢٩ - من وجهة نظر الأمن، يرد فيما يلي المجالات الرئيسية للأنشطة المعروفة الجارية في الفضاء الخارجي:

- استخدام الأصول القائمة في الفضاء لا لتعزيز قدرات الأسلحة النووية الأرضية فحسب بل ولتعزيز الأسلحة التقليدية أيضا.
- الشعور بالحاجة لتطوير، وإلى حد ما، نشر أسلحة مضادة للسواتل.
- استخدام القدرات الفضائية للدفاع عن دولة ما ضد قذائف معادية طويلة المدى أو قصيرة المدى لدولة معادية.
- زيادة قدرة السواتل المدنية على الاستشعار من بعد وتسويق الصور الناشئة عنها.

وتقدم الفروع التالية استعراضا مختصرا للاتجاهات السائدة في هذه المجالات بالإضافة الى بعض التطورات الجديدة.

* كتب هذا القسم الدكتور بوبندارا جاساني، استاذ، بدائرة الدراسات الحربية، بكلية كنجنس، لندن، جامعة لندن.

السواتل المستخدمة لمهام الدعم العسكري

٣٠ - وشهدت الفترة من عام ١٩٩٠ حتى الآن بعض التغييرات في الطريقة التي يستخدم بها الفضاء الخارجي، كما شهد تعزيزا للقدرات الفضائية. وفي الولايات المتحدة ما زال يجري التوسع في الاستخدام العسكري للفضاء الخارجي لأنه يُنظر الى المنظومات الفضائية على أنها "تقوم بدور فريد"^(١). وفي الاتحاد الروسي ما زالت الأنشطة العسكرية في الفضاء تعمل في المجالات التقليدية مثل الأرصاد الجوية، والملاحة والاتصالات والاستكشاف.

٣١ - سواتل الرصد الجوي - في الولايات المتحدة، تدور سواتل عسكرية ومدنية منفصلة للرصد الجوي على ارتفاع منخفض وتستخدمها القوات المسلحة، وتضعها الشركة ذاتها. أما السفن الفضائية العسكرية فيتم إطلاقها في إطار البرنامج الدفاعي لسواتل الرصد الجوي. والاتجاه السائد حاليا هو دمج السواتل العسكرية في القوات المسلحة لاستخدامها في العمليات القتالية. والسواتل المستخدمة في الطقس لا تستثنى من ذلك. إذ يجري التخطيط لاستخدامها، على سبيل المثال، أثناء الإنزال العسكري أو إسقاط الإمدادات^(٢). وفي الاتحاد الروسي يجري وزع شبكة واحدة لسواتل الرصد الجوي. وليس هناك من سبب يدعو الى الاعتقاد بأنه يستخدم أصوله الفضائية بطريقة تختلف عن تلك المتبعة في الولايات المتحدة.

٣٢ - كما يتجه التركيز في الوقت الحاضر على التنبؤ "بالطقس في الفضاء". وهذا يعني أساسا التنبؤ بالأنشطة الشمسية مثل التوهج الشمسي وقذف أنواع مختلفة من المواد من سطح الشمس. وهذه جميعا تسفر عن إشعاع كهرومغناطيسي تتراوح من بين الموجات اللاسلكية والأشعة السينية، وبروتونات عالية الطاقة وتغييرات في الرياح الشمسية بين الكواكب. وتؤثر تفاعلات هذه الأنشطة مع السواتل التي تدور حول الأرض على أجهزة الاستشعار والنظم الالكترونية للسواتل.

٣٣ - يُشغِل الاتحاد الروسي سواتل عسكرية ومدنية منفصلة للملاحة تحلق على ارتفاعات منخفضة مستخدما في ذلك نفس النوع من المنصات. وبالمقابل فإن المستخدمين العسكريين والمدنيين على السواء يستخدمون سواتل الشبكة العالمية لتحديد المواقع التابعة للولايات المتحدة. وتكون السفينة الفضائية في هذه الشبكة من مجموعة من ٢٤ من السواتل تقوم ببث إشارتين منفصلتين؛ إحداها تستخدم لأغراض عسكرية بنسبة خطأ في حدود ١٠م. وفي الاستخدام للأغراض المدنية ترتفع المسافة الى نحو ١٠٠م. وهذا يُعرف بـ "الافتاحة الانتقائية" والتي يمكن أن يتوقف العمل بها بحلول عام ٢٠٠٦^(٣). وهذا يعني بأن دقة تحديد الموقع سوف تتحسن بالنسبة للآخرين من ١٠٠م الى ١٠م. وإذا ما استخدم التصحيح التفاضلي فيمكن تقليل هذه المسافة الى ٥ أمتار أو أقل^(٤). كما أنه تم مؤخرا الإعلان عن خطط للولايات المتحدة لإضافة إشارات الملاحة للاستخدام المدني على ذبذبة ثانية للشبكة العالمية لتحديد المواقع. ويقترح أن تُنقل إشارات التصحيح التفاضلي تحت هذه الذبذبة للاستخدام المدني^(٥).

٣٤ - سواتل الاتصالات - تقوم الولايات المتحدة والاتحاد الروسي بإطلاق سواتل اتصالات منفصلة للاستخدامات العسكرية والمدنية. ويضم نظام سواتل الاتصالات في الولايات المتحدة سواتل الاتصالات للقوة الجوية، ونظام سواتل الاتصالات الدفاعية، وسواتل الاتصالات التابعة للأسطول، والسواتل العسكرية والمرحلة الاستراتيجية والتكتيكية. وتقوم جميع الدوائر العسكرية وعدد من الوكالات الحكومية باستخدام نظام سواتل الاتصالات الدفاعية. ويتم نقل الاتصالات الاستراتيجية والبيانات المتعلقة بالاستخبارات بواسطة نظام بيانات السواتل، إلا أن السواتل العسكرية المرحلة الاستراتيجية والتكتيكية (ملستار) سوف تحل مكانها. وقد صُممت هذه الأخيرة لتقاوم بحيث تتحمل هجمات الأسلحة النووية أو حتى الأسلحة المضادة للسواتل. وقد تم بناء ثلاثة سواتل في سلسلة ملستار ١ وأدخلت عليها تعديلات لزيادة طاقتها بدرجة كبيرة لتصبح سلسلة ملستار ٢^(٧).

٣٥ - سواتل الاستطلاع - توجد أربعة أنواع من سواتل الاستطلاع، وهي سواتل التصوير والسواتل الإلكترونية، وسواتل مراقبة المحيطات، والإنذار المبكر. وتواصل الولايات المتحدة والاتحاد الروسي كلاهما تشغيل هذه السفن الفضائية والفارق الوحيد هو أن الأعداد الكلية قد انخفضت. فعلى سبيل المثال أطلقت إسرائيل والصين وفرنسا والمملكة المتحدة والولايات المتحدة، والاتحاد السوفياتي السابق في عام ١٩٩٠ نحو ١٣٢ من السواتل المتصلة بالدفاع بينما انخفض الرقم في عام ١٩٩٢ الى نحو ٧٤ ساتلا، بل إنه انخفض الى ما دون ذلك في عام ١٩٩٨، ويرجع ذلك أساسا الى أن الاتحاد الروسي لم يعد يطلق الأعداد الكثيرة من السواتل التي كان يطلقها في الماضي. وقد أطلقت إسرائيل والصين وفرنسا سواتل بصرية للمراقبة. أما الولايات المتحدة فقد توقفت منذ سنوات عدة، عن إطلاق أعداد كبيرة من هذه السواتل، ويفترض أن ذلك يرجع الى أنها قد طورت سواتل أكثر تعقيدا وقدرة وديمومة.

٣٦ - في الماضي كان القيام بالاستطلاع التصويري أمرا روتينيا. وقد أذنت الإدارة الأمريكية مؤخرا برفع السرية عن صور الاستخبارات التي التقطتها بين عام ١٩٦٠ وعام ١٩٧٢ بعض السواتل الأمريكية القديمة المخصصة للمراقبة التصويرية. وقد أصبحت الصور التي التقطتها هذه السواتل متاحة الآن تجاريا. وقد جاءت أفضل الصور التي تصل فيها القدرة على التمييز ١٥ سم من سواتل KH المتقدمة و KH-11 والصور المحسنة للسواتل KH-11 أو KH-12 التي تقوم بوزع أجهزة استشعار حساسة للضوء المرئي وضوء المنطقة دون الأحمر القريبة وكذلك للإشعاع دون الأحمر الحراري لكشف الحرارة المنبعثة من المرافق الصناعية. ويمكن الكشف عن الترمويه بأجهزة الاستشعار دون الحمراء. ويمكن أيضا الكشف عن الهياكل المدفونة بمراقبة الإشارات الحرارية التفاضلية. وقد تم إطلاق أول ساتل من هذا النوع في ٢٨ تشرين الثاني/نوفمبر ١٩٩٢.

٣٧ - وللتغلب على عدم قدرة السواتل المذكورة أعلاه على الرؤية من خلال السحب، استحدثت ونشرت أجهزة الاستشعار الرادارية. والمعلومات المستقاة من الرادار المصور، من قبيل الرادار ذو الفتحة التوليفية، تختلف كثيرا عن تلك التي يحصل عليها من أجهزة الاستشعار البصرية، وذلك لأن الرادار ذو الفتحة التوليفية شديد الحساسية للخواص الجيومترية للسطح وللأجسام التي يجري رصدها وكذلك لصفاتها الثنائية

الكهربية. ويمكن للإشعاع ذي الموجات الدقيقة اختراق جسم ما إلى مسافات كبيرة، ويمكن أن يضاهي عمق الاختراق أطوال موجات الإشعاع. وبصفة عامة كلما زاد طول الموجة زاد الاختراق. وعلى سبيل المثال، يمكن للإشعاع الذي له طول موجة من النطاق الترددي C أن ينفذ إلى مسافات صغيرة جداً بينما من المعلوم أن حزمة رادارية من النوع SIR-C من النطاق الترددي L، قد اخترقت عدة أمتار من الرمال الجافة.

٣٨ - وحتى الآن لا يحتفظ بسواتل رادارية عسكرية في مدارات فضائية إلا الولايات المتحدة والاتحاد الروسي. وأحدث مركبة فضائية تابعة للولايات المتحدة تدور حول الأرض هي الساتل "لاكروس" الحامل للرادار ذي الفتحة التوليفية، وهو يدور حول الأرض على ارتفاع يقل قليلاً عن ٧٠٠ كيلومتر وتبلغ القدرة التحليلية للرادار ذي الفتحة التوليفية المركب عليه نحو متر واحد. وقد أطلقت ثلاثة سواتل من هذا النوع: الأول في كانون الأول/ديسمبر ١٩٨٨، ولم يعد يدور حول الأرض حالياً، والثاني في آذار/مارس ١٩٩١ والثالث في ١٩٩٧. وقد أطلق "لاكروس" محسن جديد في ٢٣ تشرين الأول/أكتوبر ١٩٩٧ على ميل مداري يبلغ ٦٨ درجة وعلى ارتفاع يبلغ نحو ٦٨٠ كيلومتر^(٨). ويواصل الاتحاد الروسي إطلاق سواتله الرادارية من المجموعتين "الماظ" و "كوزموس" من المركبات الفضائية.

٣٩ - وثمة فئة أخرى هامة جداً من السواتل هي المركبات الفضائية للاستطلاع الإلكتروني، ولكن لا يعرف سوى القليل في الوقت الحالي عن قدراتها لأنها مازالت محاطة بقدر كبير من السرية. وفي الولايات المتحدة، هناك أربع مجموعات من هذه السواتل يجري استخدامها، وهي، سواتل استخبارات الاتصالات "كومينت" في المدار الثابت بالنسبة للأرض وسواتل استخبارات الإشارات أو الاستخبارات الإلكترونية "إلينت" في المدار الثابت بالنسبة للأرض وفي مدارات أرضية بيضاوية مرتفعة ومدارات أرضية منخفضة. وسواتل الإلينت مصممة للكشف عن بث إشارات الاتصالات من قبيل الإذاعة بأجهزة اللاسلكي والهاتف فضلاً عن موجات الرادار والموجات الصادرة عن أجهزة القياس المستخدمة أثناء تجربة الصواريخ.

٤٠ - ومعظم سواتل الولايات المتحدة من النوع سيغينت/إلينت موضوعة في المدار الثابت بالنسبة للأرض ولا تحقق تغطية جيدة للأجزاء الواقعة في أقصى الشمال وأقصى الجنوب من الأرض. ويجري التغلب على ذلك بسواتل من مجموعة "ترومبت" موضوعة في مدارات بيضاوية بدرجة عالية ذات أوج (وهو أطول مسافة من سطح الأرض) يبلغ نحو ٣٧ ٠٠٠ كيلومتر فوق نصف الكرة الشمالي وميل مداري يبلغ ٦٨ درجة. وقد أطلق ساتلان في عامي ١٩٩٤ و ١٩٩٥ وكان هناك ساتل محسن ثالث معد للإطلاق بحلول نهاية ١٩٩٧ ويحمل هوائياً معقداً عريض النطاق الترددي وذا مصفوفات مرحلية للتصنت الإلكتروني يبلغ قطره نحو ٩٠ متر^(٩). ويمكن للساتل رصد جميع أنواع حركة الإشارات الإلكترونية العسكرية الصادرة من الصين والاتحاد الروسي. وستستخدم تكنولوجيا الهوائيات هذه نفسها في سواتل الاتصالات التجارية المتقدمة.

٤١ - وما فتئت الولايات المتحدة والاتحاد الروسي ينشران كلاهما سواتل الإنذار المبكر. وتقوم الولايات المتحدة بنشر هذه السواتل في المدار الثابت بالنسبة للأرض. وتستخدم السواتل أجهزة استشعار بالأشعة تحت الحمراء للكشف عن الحرارة الناتجة من عوادم الصواريخ فور إطلاقها أو الحرارة التي يولدها انفجار

نووي في الغلاف الجوي أو في الفضاء الخارجي. كما تقوم أيضا بتتبع الصواريخ وتحديد مسارها. وقد تبينت فعالية هذه المركبات الفضائية خلال حرب الخليج عام ١٩٩١. فقد كشفت سواتل الإنذار المبكر التابعة للولايات المتحدة عن إطلاق صواريخ سكود العراقية ووفرت إنذارا في توقيت مناسب لقوات التحالف. وسيقلل ضعف هذه السواتل أمام الهجمات على محطاتها الأرضية إلى أدنى حد بنشر نظام للاتصالات بأشعة الليزر على متنها^(١٠). ومن المتوقع أن يستخدم الجيل الجديد من أنظمة الإنذار المبكر التالية هذه النظم كما هو الحال في نظامي "بريليانز بيلز" و "بريليانز آيز" المستحدثين في إطار مبادرة الدفاع الاستراتيجي. وسيكون للأخير قدرة على تجهيز البيانات على متنه بحيث يستطيع إرسال رسائل الإنذار المبكر مباشرة إلى ميدان المعركة لاستخدامها تكتيكيا.

بعض التطورات الجديدة

٤٢ - إلى جانب التطورات التقنية من قبيل تلك المذكورة أعلاه، يجري بذل جهد كبير في الولايات المتحدة لاستحداث عدة أنظمة جديدة لجمع الاستخبارات. والسواتل التي استحدثت في المراحل المبكرة من قبيل رادار لأكروس وسواتل الاستخبارات البصرية المتقدمة KH-11 يجري دخولها حاليا في مرحلة التشغيل. وعلاوة على ذلك، يجري أيضا استحداث سائل جديد لاكتشاف إطلاق الصواريخ، وهو الذي قد يستخدم تكنولوجيا أجهزة الاستشعار التي استحدثت في إطار برنامج مبادرة الدفاع الاستراتيجي المعني بمراقبة أجهزة التعزيز وبنظم التتبع.

٤٣ - ومن بين التطورات الجديدة الأخرى السواتل الصغيرة خفيفة الوزن المسماة "شيبسات" وتوابع استخبارات الاشارات في المدار الثابت بالنسبة للأرض ونظام جديد يعمل في الفضاء للمراقبة الواسعة النطاق لأغراض المراقبة الأرضية والجوية والبحرية. وعلى سبيل المثال، يجري النظر في بناء منظومة سواتل تتكون من ٢٤ مركبة فضائية تحمل رادارات ذات فتحات توليفية وذلك ليستخدمها القادة في الميدان في النواحي التكتيكية وتتميز بزمان قصير للعودة إلى نفس المكان يبلغ نحو ١٥ دقيقة. ويمكن أن نتوقع أنه من المرجح استمرار بناء هذه السواتل الصغيرة القليلة التكلفة.

٤٤ - وقد تحقق تحسن كبير في نوعية السواتل المدنية للاستشعار عن بعد. ففي غضون العقدين والنصف عقد الماضية، زادت قدرات السواتل المدنية للاستشعار عن بعد نحو ١٨٠ ضعفا بحيث أصبحت درجة تحليلها تتراوح بين مترين و ٣٠ مترا. ومن الممكن حاليا شراء الصور التي تحصل عليها البلدان المختلفة. ويرد في الجدول ١ موجز لهذه السواتل التجارية.

الجدول ١ - سواتل الاستشعار عن بعد التجارية الحالية والمقبلة التي تملكها البلدان المختلفة

البلد	التحليل معبرا عنه بحجم عنصر الصورة (م)	تاريخ إطلاق أول ساتل	الصور الشاملة لجميع الألوان	الصور المتعددة الأطياف	الصور الحرارية
الصين/البرازيل					
الساتل المخصص لدراسة الموارد الأرضية التابع للصين والبرازيل CBERS	٢٠	١٩٩٨	٢٠	٢٠	١٦٠
فرنسا					
النظام التجريبي لرصد الأرض SPOT-1, -2, -3, -4	٢٠	١٩٨٦	١٠	٢٠	
النظام التجريبي لرصد الأرض SPOT-5A, -5B	١٠	٢٠٠٢	٥, ٢, ٥	١٠	
الهند					
IRS-1C, 2D	٢٣	١٩٩٥, ١٩٩٧	٥, ٨		
IRS-P6		١٩٩٨	٢, ٥		
إسرائيل					
نظام رصد الموارد الأرضية Eros-1, -2	٥ (٣-٤ موجات)	١٩٩٨	١, ٥		
ديفيد		١٩٩٨	٥		
اليابان					
"آلوس"	١٠	٢٠٠٢	٢, ٥		
روسيا					
"كوزموس"	٢٠	١٩٩١	٢		
الولايات المتحدة الأمريكية					
"لاندسات" - ٤, - ٥	٣٠	١٩٨٢			١٢٠
"لاندسات" - ٧		١٩٩٨			٦٠
"إيكونوس" - ١, - ٢	٤	١٩٩٨	١٠٠, ٨		
"كويك بيرد" - ١, - ٢	٣, ٣	١٩٩٩	١		
"أوربفيو" - ٣, - ٤	٤	١٩٩٩	١		
"إيرلي بيرد" - ١	١٥	٢٠٠٠	٣		

٤٥ - وتقوم عدة بلدان بتشغيل سواقل على متنها أجهزة استشعار بالرادار ذو الفتحة التوليفية. وترد قائمة بهذه البلدان في الجدول ٢. ولا يتوقف تفاعل طاقة الموجات الدقيقة مع المواد على ترددها فحسب بل أيضا على استقطاب الحزمة الرادارية. وعلى ذلك، فباستخدام حزم مختلفة الاستقطاب ذات ترددات مختلفة وربطها بألوان مختلفة، من الممكن توليد صورة متعددة الأطياف. وقد ولدت التجارب التي قامت بها الولايات المتحدة باستخدام الرادار ذو الفتحة التوليفية SIR-C\X-SAR في نيسان/أبريل وتشرين الأول/أكتوبر ١٩٩٤ بيانات متعددة البارامترات من هذا القبيل باستخدام هذا النوع من الرادارات من الفضاء. وبالجمع بين هذه البيانات والبيانات البصرية، يمكن أن تصبح التقنية أداة مفيدة جدا لرصد سطح الأرض. ويمكن أن تستخدم السواقل المدنية للاستشعار عن بعد حاليا لاكتساب معلومات عن أهداف عسكرية لأحد الخصوم. كما يمكن أن تستخدم أيضا لرصد اتفاقات تحديد الأسلحة فضلا عن تدابير بناء الثقة. وهذه العوامل جعلت منها حاليا أهدافا محتملة للأسلحة المضادة للسواقل المنطلقة من الجو.

الجدول ٢ - خواص بعض السواقل (الحاملة للرادار ذو الفتحة التوليفية) الرادارية التجارية السابقة والحالية والمقبلة

البلد الساتل	تاريخ الإطلاق	التحليل (م)	النطاق/التردد (جيفاهرتس)	الاستقطاب (ن)
كندا				
"رادار سات" - ١	١٩٩٥	٨-١٠٠	C/5.3	HH
"رادار سات" - ٢	٢٠٠١	٣	C/5.3	QUAD
أوروبا (وكالة الفضاء الأوروبية)				
السواقل المخصصة لدراسة الموارد الغربية ERS-1, -2				
	١٩٩١, ١٩٩٥	٢٦-٢٨	C/5.3	VV
"إنفيسات"	١٩٩٩	٣٠	C/5.3	HH, VV
اليابان				
الساتل الياباني المخصص لدراسة الموارد الأرضية JERS-1				
	١٩٩٢	١٨	L/1.3	HH
"آلوس"	٢٠٠٢	١٠	L/1.3	HH, VV
روسيا				
"ألماظ - ١"	١٩٩١	١٥	S/3.125	HH
"ألماظ - ٢"	١٩٩٨	٥	S/3.125	HH
الولايات المتحدة الأمريكية				
"سيسات"	١٩٧٨	٢٥	L/1.3	HH
SIR-C	١٩٨١	٨-٣٠	L/1.28, C/5.3	HH, VV, VH, HV

الأسلحة المضادة للسواتل وما يتصل بها من سواتل ودفاع

٤٦ - ظهرت أهمية السواتل على نطاق واسع في حرب الخليج عام ١٩٩١. ففي بداية النزاع كان للولايات المتحدة في الفضاء ساتل واحد من طراز لأكروس SAR، وثلاثة سواتل استطلاعية أقدم من طراز KH-11، وثلاثة سواتل بصرية متقدمة من طراز KH-11. وقد أتاح وجود هذه السواتل في الفضاء المرور ١٢ مرة يوميا فوق منطقة النزاع^(١١). وعلاوة على ذلك كان هناك ما بين ٥ و ٢٠ ساتلا لإشارات الاستخبارات تعترض البث المنخفض والمرتفع القوة^(١٢). وأثناء النزاع كانت توجد ثلاثة سواتل^(١٣)، برنامج سواتل للأرصاد الجوية (DMSP)، ونحو ١٥ ساتلا من السواتل المستخدمة في تحديد المواقع^(١٤)، وساتلان للاتصالات (FLTSATCOM)^(١٥)، وساتلان على الأقل من طراز DSCS-III^(١٦) تابعان للأسطول تدور في الفضاء. كما أن الولايات المتحدة استخدمت صورا حصلت عليها من الساتل لاندسات للولايات المتحدة والساتل الفرنسي المستخدم للاستشعار من بُعد وذلك لتحديث خرائط منطقة النزاع^(١٧).

٤٧ - كانت الاستخدامات المذكورة أعلاه هي أول استخدام نشط لجميع أنواع السواتل تقريبا في أي نزاع. وقد تضمنت الخطة التي نُشرت مؤخرا لبرامج الفضاء العسكرية للولايات المتحدة لغاية عام ٢٠٢٠، عدة توصيات. وإحدى هذه التوصيات هي تطوير ووزع سلاح ينطلق من الفضاء لتدمير أهداف على الأرض. أما الأخرى فتتناول طرق التصدي لهجمات ضد المنظومات الفضائية، وكيفية ردع هذه الهجمات^(١٨). وفيما يتعلق بالأولى، وهي مشروع طويل الأجل، فقد أجرت القوة الجوية للولايات المتحدة مسابقة لتصميم سلاح ليُزر يطلق من الفضاء^(١٩). وفي حين أن هذا يدل على قدرة الليزر على تدمير القذائف التسيارية في مرحلة الانطلاق الأولى، فإن الأسلحة المضادة للسواتل قد تصبح، في الأجل القصير، حقيقة واقعة.

٤٨ - الأسلحة المضادة للسواتل - يجري حاليا تطوير واختبار نوعين من الأسلحة المضادة للسواتل، وهي الأسلحة ذات الطاقة الحركية التي تدمر الأهداف بالاصطدام بها، والليزر الكيميائي المتقدم الذي يستطيع إما تدمير أجهزة الاستشعار أو تدمير الساتل بأسره. وتجرى دراسة عدة أنواع من الأسلحة المضادة للسواتل ذات الطاقة الحركية. وتشمل المدفع الشريطي rail gun، والمركبة الكهربائية المغنطيسية القاتلة، والمركبة الكهربائية المغنطيسية الموجهة الدقيقة. ويمكن إطلاق المركبتين الأخيرتين من الفضاء، أو الجو، أو الأرض.

٤٩ - وكان يوجد لكثير من منظومات أسلحة الفضاء الأمريكية منظومات مناظرة في الاتحاد السوفياتي السابق وإلى حد ما في الاتحاد الروسي في الوقت الحاضر. والفارق الرئيسي هو أن الاتحاد الروسي يركز كثيرا على دور هذه الأسلحة بوصفها أسلحة مضادة للسواتل. وفي مطلع السبعينات كان يتم تطوير أسلحة الفضاء في مرحلتين. وكان الاسم الرمزي للمرحلة الأولى "Fon-1"، وهدفها هو تطوير المفاهيم والتكنولوجيات المتقدمة. أما هدف المرحلة الثانية "Fon-2"، فكان ترجمة هذه المفاهيم والتكنولوجيات إلى حقيقة واقعة^(٢٠). وقد بدأت المرحلة Fon-1 رسميا حوالي عام ١٩٧٦ مع تركيز معظم الجهود على الأسلحة المضادة للسواتل، بدلا من التركيز على دفاع القذائف التسيارية. وقد ركزت البحوث على أسلحة الليزر التكتيكية والاستراتيجية التي توضع على الطائرات والعربات المدرعة والسفن. وبالإضافة إلى الأسلحة

التقليدية ذات الطاقة الحركية المضادة للسواتل والتي تستخدم قذائف معترضة تطلق من الأرض، تم بناء نموذج أولي لليزر ذي الكترون حر في ستوروشيفايي، فقد تم إنشاء ليزر غازي قدرته ميغاواط واحد في ترويسك بالقرب من موسكو، ومجمع كبير لليزر في ساري شارغان. وقد اعترف الاتحاد الروسي بامتلاك منظومات مضادة للسواتل.

٥٠ - دفاع القذائف التسيارية - مع أن هذه القذائف أرضية، إلا أنها تذكر هنا لأن بعض المعدات الفضائية مثل سواتل الاستطلاع والاتصالات والملاحة تكون جزءاً مهماً من النظام. فعلى سبيل المثال يمكن لسواتل المراقبة تحديد مواقع وزع القذائف، بينما يمكن لوساتل الإنذار المبكر التحذير من إطلاق قذيفة ما؛ ويتم تداول جزء كبير من هذه المعلومات وما يستتبعها من اتصالات بواسطة سواتل عسكرية للاتصالات؛ وأخيراً فإن أي سلاح مضاد للقذائف يطلق يتم توجيهه بواسطة سفينة فضائية. وعلاوة على ذلك فإن بعض القذائف التي تتعين مواجهتها تسير عبر الفضاء الخارجي.

٥١ - يتكون برنامج دفاع القذائف التسيارية الحالي للولايات المتحدة من دفاع القذائف المسرحية، ودفاع القذائف الوطنية، وتكنولوجيات دفاع القذائف التسيارية المتقدمة ويمكن لبعض هذه القذائف الوصول إلى الفضاء الخارجي ولذلك يمكن اعتبارها أسلحة ويمكن اعتبارها أيضاً قذائف مضادة للسواتل. والبرنامج الأكثر أهمية لدفاع القذائف المسرحية الأمريكي يسمى دفاع المناطق المرتفعة (ثاد). ويُقصد منه أن يكون دفاعاً ضد قذائف ذات مدى يبلغ عدة مئات من الكيلومترات. كما تهدف قذائف (ثاد) إلى الاصطدام بالقذائف التسيارية بدلاً من تدميرها عن طريق الانفجار بالقرب من الهدف. ولذلك فإن قذائف (ثاد) تنشر معترضات تصيب لتدمير إما المعدات الباحثة عن الأشعة دون الحمراء الموجودة على المركبات التي تصيب لتدمير توفر توجيهها نهائياً إلى الهدف. ويجري الاعتراض إما عالياً في جو الأرض أو فوقه بمسافة كبيرة في الفضاء الخارجي. ومن المتوقع أن يصل مدى نظام (ثاد) إلى ٢٠٠ كم أفقياً و ١٥٠ كم عمودياً. وهذا يجعل النظام نظاماً محتملاً مضاداً للسواتل.

٥٢ - وختاماً، ستجرى في إطار تكنولوجيات دفاع القذائف التسيارية المتقدمة بحوث عن المعترضات المتقدمة التي تصيب لتدمير والمزودة بأجهزة استشعار محسنة، وعن هياكل المقذوفات، ونظم التوجيه والمراقبة. كما ستجرى بحوث في مجال فحص أسلحة الطاقة الموجهة، ولا سيما أجهزة الليزر الكيميائية، بغية تقديم خيار للقدرات الفضائية الشاملة للاعتراض في مرحلة التعزيز. وتتطلب هذه النظم أجهزة استشعار ذات تكنولوجيات متقدمة مثل الرادار الذي يعمل بالليزر. وسيكون من المهم دراسة شكل أعمدة الدخان المنبعثة من القذائف المتقدمة وخصائصها الأخرى وإعداد كتالوجات لها لاستخدامها في التعرف على القذائف ومتابعتها. أما سلاح الطاقة الموجهة فهو جهاز ليزر محمول جواً. وسوف تطير الطائرة YAL-1A على ارتفاع يزيد قليلاً عن ١٢ كم. ويتصور أنه إذا لم توجد البصرييات المطورة فإن مجال التدمير بواسطة الليزر قد يصل إلى ما يقرب من ٢٤٠ كم، وإذا وجدت هذه البصرييات فقد يزيد هذا المدى إلى ٤٠٠ كم. وفي التجربة الأولى يمكن لجهاز الليزر المحمول جواً أن يسقط أول قذيفة تسيارية مسرحية في عام ٢٠٠٢^(٢٢).

٥٣ - لا تتوفر معلومات عامة كثيرة عن نظم دفاع القذائف المسرحية TMD. غير أن الاتحاد الروسي قرر عدم تركيب رؤوس حربية نووية على قذائف غالوش SH-11 وقذائف غازيل SH-8، في نظام الدفاع المضاد للقذائف التسيارية الموجود حول موسكو^(٢٣). وفي مطلع السبعينات، بموجب برنامج Terra-3، أنشأ الاتحاد السوفياتي السابق في إطار برنامج تيرا - ٣ جهاز ليزر تجريبي للدفاعات الجوية في ساري شاغان. وفي حين أن الاتحاد السوفياتي حصل على معلومات كثيرة عن التفاعل بين الليزر ومركبات القذائف العائدة فإن برنامج تيرا - ٣ لم يكن واعدًا كسلاح عملي.

بعض الاستنتاجات

٥٤ - تحققت إنجازات كبيرة خلال السنوات الثماني الماضية في القدرات الفضائية العسكرية وتطبيقاتها. وكان أحد أهم هذه التطبيقات الاستخدام الفعلي للمعدات الفضائية في الحرب التقليدية أثناء أزمة الخليج عام ١٩٩١، عندما استخدم ٤٠ ساتلا على الأقل لتعزيز قدرة القوات الأرضية على جمع المعلومات المتعلقة بالاستخبارات. وقد أصبح الحصول على هذه القدرات أكثر جاذبية للبلدان الأخرى، لأن هذه المعلومات التي يتم الحصول عليها عن طريق السواتل الاستطلاعية لا تتداول إلا نادرا. وقد يسفر هذا عن انتشار الرغبة في الحصول على هذه القدرات من جانب أولئك الذين لا تتوفر لديهم هذه القدرات بالفعل. ولذلك، فمن غير المستبعد أن تسعى دول أكثر للحصول على سواتل عسكرية.

٥٥ - وسوف يتزايد انتشار هذه السفن الفضائية إذا تبين أن السواتل الصغيرة ذات التكلفة المعقولة يمكن بناؤها ووضعها في مدارات حول الأرض دون انخفاض كبير في أدائها. وتؤدي هذه السواتل إلى زيادة الشفافية التي يمكن أن تؤدي دورا بالغ الأهمية في التحقق في المعاهدات الثنائية والمتعددة الأطراف للحد من الأسلحة. وفي هذا السياق، تصبح زيادة قدرات سواتل المراقبة المدنية مهمة للغاية. ويستطيع أي شخص أن يشتري بيانات من هذه السواتل إذا كان قادرا على شراء الصور. بيد أن انتشار هذه القدرات أثار بعض القلق مما دفع بعض الدول إلى الشروع في الحصول على قدرات الأسلحة المضادة للسواتل، وهذا قد يؤدي بدوره إلى سباق آخر للتسلح في الفضاء الخارجي. وأحد الوسائل لتجنب هذه الحالة قد تكمن في تشجيع إنشاء وكالات إقليمية للتحقق من الحد من الأسلحة. فعلى سبيل المثال، أنشأ الاتحاد الأوروبي الغربي، في أوروبا، مركز سواتل للاتحاد بالقرب من مدريد للتحقق في المعاهدات، ورصد الأزمات، والرصد البيئي^(٢٤). وإذا قامت وكالة متعددة الجنسيات أو وكالة دولية بتدابير التحقق وبناء الثقة، فإن البيانات المأخوذة من السواتل قد تصبح أقل تعرضا لإساءة الاستخدام.

٥٦ - المجال الآخر الذي يتم فيه إحراز بعض التقدم هو قدرات الدفاع الاستراتيجية. وعلى الرغم من معاهدة عام ١٩٧٢ المعنية بالحد من منظومات القذائف المضادة للقذائف التسيارية المبرمة بين الولايات المتحدة والاتحاد السوفياتي السابق، لا تزال تجرى بحوث بشأن بعض أنماط الأسلحة وتطويرها وإلى حد ما اختبارها. ومثال ذلك أسلحة الليزر وأسلحة الطاقة الحركية الفضائية والأرضية، فهي مستمرة لأن بعض هذه المنظومات يعتقد بأنها منظومات دفاع قذائف مضادة للقذائف التسيارية التكتيكية وليست منظومات دفاع قذائف مضادة للقذائف التسيارية الاستراتيجية. وعلى أية حال، يسمح الآن بالأولى لأن الولايات

المتحدة والاتحاد الروسي قد اتفقا على أن معاهدة الحد من منظومات القذائف المضادة للقذائف التسيارية لا تحظر هذه المنظومات. غير أنه توجد فجوة كبيرة في التكنولوجيات المطلوبة بين منظومات دفاع القذائف المضادة للقذائف التسيارية والتكتيكية، وبين المنظومات المضادة للسواتل، وقد عرفت كثير من هذه الأسلحة بوصفها أسلحة فضائية^(٧٥). ولذلك، مع أن الحرب الباردة قد انتهت فإن هناك إمكانية حقيقية بأن يكتسب سباق التسلح في الفضاء الخارجي زخماً.

جيم - تكنولوجيا المواد*

٥٧ - يختص علم المواد بدراسة المبادئ التي تحكم الخصائص النافعة للمواد. وتكنولوجيا المواد هي تكنولوجيا استغلال المواد للأغراض التجارية من خلال أي منتج أو عملية. وهذا التأكيد على المنفعة معناه أن تكنولوجيا المواد تدفعها التطبيقات بصورة أساسية. وخلال العقد الأخير، اكتشفت تطبيقات جديدة، أساساً، في الأسواق التجارية المدنية، حيث تمثل التكاليف وقابلية التكيف للإنتاج الكبير الحجم اعتبارات فائقة الأهمية. وقد أصبح شرط توفر الأداء الفائق لعدد صغير من المنتجات الغالية الثمن، اللازمة أساساً لاحتياجات الدفاع، أقل أهمية نسبياً كحافز لتطوير المواد.

٥٨ - ويعتمد أداء المواد المتقدمة وموثوقيتها على تركيبها وبنيتها المجهرية التي تضفي قدرة وظيفية فريدة على المنتجات والأجهزة. وفيما يلي الاتجاهات التقنية الرئيسية الثلاثة في تكنولوجيا المواد المتقدمة، وكلها مدفوعة بضرورة إحكام تشكيل البنى المجهرية بحيث تشمل التكوينات الطبيعية والكيميائية المطلوبة:

(أ) الاتجاه إلى البنى المتناقصة الحجم. مع تناقص الحجم الطبيعي لمادة ما أو للبنية المجهرية المكونة لها، تتغير خصائصها عادة. وقد قيست الخصائص الميكانيكية والكهربائية والحرارية والكيميائية المعززة في المواد ذات البنى النانومترية، بالمقارنة بالمواد المماثلة التي يتضمن تكوينها بلورات أو جسيمات أكبر حجماً. ويعمل الباحثون حالياً على تطوير أساليب فعالة من حيث التكاليف من أجل الوصول إلى البنى النانومترية الحجم المرغوبة:

(ب) إنتاج وتعيين خصائص المواد المستحدثة اللازمة للتطبيقات البالغة التخصص. حددت الخطط المستقبلية للصناعة والمؤشرات الأخرى الاحتياجات المقبلة في عدد كبير من المجالات السريعة النمو مثل الأجهزة الطبية البيولوجية ومكونات الحواسيب والاتصالات. ويجري بانتظام استحداث مواد جديدة أو مواد محسنة من حيث الأداء والموثوقية لتلبية هذه الاحتياجات. وبالإضافة إلى ذلك، تجرى بحوث مكثفة على جزيئات مستحدثة اكتشفت مصادفة لبحث إمكانية استغلال خصائصها غير المألوفة:

* كتب هذا الجزء الدكتور ليزلي أ. سميث، مدير مختبر علم وهندسة المواد، المعهد الوطني للمعايير والتكنولوجيا، ميريلاند، الولايات المتحدة الأمريكية.

(ج) الاسترشاد بعلم الأحياء الذي يستخدم التكوين الجزيئي لمادة من المواد لبناء البنية المجهرية المطلوبة تلقائياً. يشير تجهيز المواد في صورة أشكال محكمة بدقة وصغيرة جداً، في أغلب الأحيان، عقبات هائلة أمام إنتاج أجهزة التكنولوجيا الرفيعة بكميات كبيرة وتكاليف منخفضة. وتنشأ البنى البيولوجية بتجمع الجزيئات التي تتضمن معلومات توجه تجمعها برموز موجودة في تركيبها الجزيئي. إن فكرة التشكيل التلقائي للبنى المجهرية التي لها قدرة وظيفية نافعة تدفع بحوث المواد، لا سيما في المجالات التي التي ينتظر أن يكون لها تطبيقات في مجال الطب والإلكترونيات.

٥٩ - وتتضح هذه الاتجاهات في الأجزاء التالية التي تصف بإيجاز عدة أنواع محددة من المواد، من حيث وضعها الراهن وقضايا البحوث التي تؤثر فيها.

المواد ذات البنية النانومترية

٦٠ - تشمل هذه المواد البنى التي يتراوح حجمها، عموماً، بين ١ و ١٠٠ نانومتر. وقد لوحظت بعض الخصائص غير المألوفة والنافعة في نطاق هذا الحجم. ويمكن أن تختلف الخصائص الطبيعية والكيميائية والميكانيكية للمواد ذات البنية النانومترية، بدرجة كبيرة، عن خصائص المواد الأكبر حجماً ذات التركيب المماثل. وأهم العوامل أن تعود إليها هذه الاختلافات عن سلوك المواد الأكبر حجماً هي الحجم والتوزيع الحجمي للأطوار والبنى، والتركيب الكيميائي للأطوار، والتفاعلات بين الأطوار عند الأسطح البينية.

٦١ - تعد المواد المؤلفة ذات البنية النانومترية التي بها عناصر معززة نانومترية الأبعاد ضمن طور متصل من الفلزات أو البوليمرات أو الخزف طائفة هامة من المواد ذات البنية النانومترية. والمواد المؤلفة على نطاق نانومتري ذات الأساس الخزفي متوفرة تجارياً للتطبيقات المتخصصة. وقد أظهرت بعض البوليمرات المقواة بالطفل التي تقشر لإنتاج صفائح ذات فواصل نانومترية، تزايداً كبيراً للخصائص الميكانيكية وارتفاعاً في درجة حرارة الخدمة بالإضافة نسبة مئوية ضئيلة من المادة الطفلية. فإذا تسنى تفهم هذا السلوك واستخدامه في بوليمرات السلع الشائعة، يمكن أن تنافس هذه المواد المؤلفة على نطاق نانومتري اللدائن المستخدمة في الأغراض الهندسية الأعلى ثمناً، منافسة فعالة، وأن تجد تطبيقاً واسع النطاق. ويرتبط مستقبل جميع المواد ذات البنية النانومترية، في نهاية المطاف، بتطوير أساليب إنتاج، لها مقومات البقاء تجارياً، لتلك المواد.

الطبقات والأسطح الرقيقة

٦٢ - يتميز سطح المادة بخصائص مختلفة عن خصائصها الداخلية وتزداد أهمية الخصائص السطحية مع تناقص حجم المادة. وتحكم البنى المجهرية للأسطح ولأسطح البينية أداء وموثوقية كثير من المواد المتقدمة. وقد أوجدت احتياجات الإلكترونيات والاتصالات المتقدمة اهتماماً هائلاً بإنتاج وتعديل طبقات الأسطح ذات البنى والتركيبات المحكمة بدقة.

٦٣ - وقد جرى استحداث عدة تكنولوجيات تجهيزية لإعداد هذه المواد، على نطاق واسع. وقد تطور الترسيب الكيميائي للبخار، والترسيب الفيزيائي للبخار والأساليب التي تستخدم أشعة الليزر والحزم الإلكترونية والحزم الأيونية، فأصبحت تقنيات موثوقة لتكوين الطبقات الرقيقة. والترسيب الكيميائي للبخار أسلوب تقني لترسيب طبقة رقيقة بدرجة حرارة مرتفعة، يستخدم أساساً على السليكون أو المواد الخزفية أو المواد المكونة من الكربون. ويحتاج الترسيب الفيزيائي للبخار إلى درجة حرارة أقل في التشغيل (أقل من ٥٠٠ درجة مئوية). وبالتالي يمكن استخدامه في وضع طبقات خارجية على المواد الحديدية.

٦٤ - والطرق التخليقية لإنتاج الماس بالضغط العالي معروفة منذ ٥٠ سنة تقريباً. غير أنه جرى مؤخراً استحداث عمليات فعالة وعمليات منخفضة الطاقة نسبياً (في بعض الأحيان) لتحضير طبقات من الماس والكربون شبيه الماس. وقد أدى الاستعمال المحتمل لطبقات الماس والكربون شبيه الماس في الدوائر الإلكترونية حيث تجعلها الموصلة الحرارية المرتفعة والعزل الكهربائي فريدة، وكذلك في أسطح أدوات القطع والتجليخ، إلى تزايد الاهتمام والنشاط على الصعيد التجاري.

البنى الكربونية غير البلورية

٦٥ - كان المعروف منذ وقت طويل أن الكربون موجود في شكلين أساسيين فقط، ممثليين في الماس والغرافيت. وبنية الماس عبارة عن بلورات ثلاثية الأبعاد، بينما يتخذ الغرافيت شكل من رقائق ثنائية الأبعاد. وفي عام ١٩٨٥، أدى الاكتشاف المذهل لفئة جديدة من الجزيئات الكربونية الصرفة مشكّلة في أقواس بدرجة حرارة مرتفعة إلى ظهور نشاط مكثف لاستغلال خصائصها الفريدة. وهذه المركبات تسمى الفوليرينات لأن أضلاعها المنحنية مماثل للأشكال التي يستعملها المهندس المعماري الشهير، باكمنستر فولر. وأكثر الأشكال تماثلاً الشكل ك_{٦٠} الذي يتخذ هيئة جسم كروي مجوف يتضمن ٦٠ ذرة كربون. وتظهر هذه الأشكال بعض الخصائص غير العادية، بما في ذلك القابلية العالية للذوبان في المذيبات، والارتفاع غير التقليدي لضغط البخار بالنسبة لمركبات الكربون فقط. واكتشفت طرق اصطناعية جديدة للوصول إلى هذه المركبات تجعلها متوفرة بكميات كبيرة كافية لإجراء بحوث مستفيضة. وقد دفعت هياكلها القفصية الفريدة العلماء إلى استعمال الفراغ الموجود بداخلها في احتواء مجموعة متنوعة من الذرات التي يمكن حمايتها أو تسليمها لمواضع أخرى. وقد تجد هذه المواد استعمالاً في المستقبل كعوامل حفز، أو كمواد فائقة التوصيل أو مواد لتخزين الهيدروجين أو المواد الكهربائية الضوئية. وعلى سبيل المثال، يمكن احتواء ثلاث ذرات فلزية قلوية داخل جسيم ك_{٦٠} وتكون للموصلات الفائقة التوصيل الناتجة عن ذلك درجات حرارة انتقالية للتوصيل الفائقة لا يضاهيها سوى مواد التوصيل الفائقة الخزفية.

٦٦ - والأنابيب النانومترية هي فوليرينات ضخمة ذات بنية أنبوبية تتألف من عدة أنابيب متحدة المحور. وتنشأ خصائص كهربائية وحرارية وميكانيكية غير عادية من شكلها الهندسي وارتفاع نسبتها الباعية. إن الفوليرينات ومشتقاتها لم تستغل تجارياً حتى الآن. ولكن النتائج المثيرة للبحوث المنشورة على مدى السنوات الأربع الأخيرة تشير إلى أنه ستحدث تطبيقات هامة لهذه المواد في مجال المنتجات والأجهزة خلال العقد القادم.

المواد الخزفية ذات الخصائص الفائقة

٦٧ - تستعمل المواد الخزفية المتقدمة ذات الخصائص الفائقة في التطبيقات التي يكون فيها ارتفاع المقاومة الميكانيكية في درجات الحرارة العالية، ومقاومة البلى، وانخفاض الكثافة، ومقاومة التآكل، والصلادة والجساءة وخفة الوزن برامترات حاسمة في الأداء. وهذه الخصائص تجعل المواد الخزفية المتقدمة المواد المفضلة بالنسبة لكثير من تطبيقات الطاقة والتطبيقات الفضائية الجوية والتطبيقات المتصلة بالدفاع. وهي تستعمل حاليا في صنع القطع المقاومة للبلى (الحلقات الكاتمة والصمامات)، وعدد القطع وكراسي التحميل والطلاءات الحاجزة للحرارة. ويوجد أكبر سوق للمواد الخزفية المتقدمة في القطع المقاومة للبلى.

٦٨ - وعلى مدى العقد المقبل، ستجد المواد الخزفية المتقدمة استعمالا متزايدا في منتجات مثل المبادلات الحرارية والمحركات الحرارية والخزف الحيوي. وفي الولايات المتحدة، من المتوقع أن تصل قيمة الطلب على هذه التطبيقات وغيرها إلى مبلغ يتراوح بين بليونين وثلاثة بلايين دولار، غير أن هذا النمو يعتمد على قدرة الصناعة على التغلب على أهم العقبات التقنية والاقتصادية التي تحول دون استعمال هذه المكونات على نطاق أوسع. وتشمل هذه العقبات تحسين أداء وموثوقية المواد الخزفية المتقدمة من خلال تحسين تكنولوجيا التجهيز وتخفيض تكاليف المكونات من هذه المواد حتى تنافس المواد التقليدية بقدر أكبر.

المواد المركبة

٦٩ - تزايد الاهتمام، خلال الثمانينات، بالمواد المركبة وأعزى ذلك، إلى حد كبير، إلى الوعي بإمكانية تحقيق تغييرات جذرية في الخصائص الميكانيكية والكهربائية والبصرية والكيميائية لتلك المواد إذا كانت نسبة التبلور فيها جزء من ألف من المليون. ويتم إنتاج المواد المركبة بإدماج مادة مقوية للبنية في مادة ثانية أو أي نسيج آخر، ويحدد سلوك المواد المركبة وخصائصها ببنية المكونات وترتيبها البنوي وتركيبها وأي تفاعلات بين المكونات.

٧٠ - وتجري البحوث، على نحو مثبت، في مجال المركبات ذات النسيج الخزفي والمواد المركبة من فلز واحد أو أكثر، والمواد المركبة ذات النسيج اللدائي. وتصنف المواد المركبة ذات النسيج الخزفي إما في عداد المواد المركبة المتقطعة التقوية أو المواد المركبة المتصلة التقوية. وتوجد المواد المركبة ذات النسيج الخزفي المقواة بشكل متصل، في الوقت الراهن، في مرحلة ما قبل التسويق لاستخدامها في التطبيقات التي تستلزم تحمل درجات حرارة مرتفعة أو إجهاد شديد (مثل: المبادلات الحرارية ذات الضغط العالي، وغرف الاحتراق في العنفات الغازية وفوهات ومسدات العنفات الغازية). أما المواد المركبة ذات النسيج الخزفي التي تتكون من طور نسيجي مضافا إليه طور تقوية، فتوجد في مرحلة التسويق المبكر. وتشمل تطبيقاتها الراهنة أدوات القطع والأجزاء المعرضة للتآكل وقوالب تشكيل الصفائح المعدنية وقوالب البثق والتدريج وقبب الرادار. وتقدر حاليا قيمة سوق المواد المركبة الخزفية في الولايات المتحدة بما يفوق ٢٠٠ مليون دولار، وتتعلق في معظمها بضئة التقوية المتقطعة.

٧١ - وتكنولوجيا المواد البوليمير ذات النسيج اللدائي أكثر تقدماً في الوقت الراهن من تكنولوجيا المواد المركبة ذات النسيج الخزفي. وقد استخدمت تلك المواد للأغراض التجارية في صناعات كثيرة، منها صناعات الأدوات الطبية واستخراج النفط من عرض البحر، والنقل والبناء والأنشطة البحرية. وسوف يقتضي استخدام المواد المركبة ذات النسيج اللدائي، على نطاق أوسع، توافر قدرة أفضل على التوقع فيما يتعلق بالأداء على المدى الطويل واستحداث طرق صناعية أكثر فعالية من حيث التكلفة.

٧٢ - والمواد المركبة ذات النسيج الفلزي هي مواد مبتكرة تتضمن طوراً واحداً أو أكثر للتقوية الداخلية أقحم في الفلز في النسيج المكون من عدة فلزات خلال عملية المعالجة. وقد ثبت أن هذه المواد تتفوق على السبائك المعدنية غير المقواة بأنها أخف وزناً وأكثر مقاومة للتآكل والصدمات ولها معامل أقل فيما يخص التمدد الحراري وقوة وصلابة أكثر. وتكلفة إنتاج هذه المواد مرتفعة جداً ولذلك فهي لا تستخدم سوى في أسواق مخصصة (مثلاً القذائف ومكونات السفن الفضائية وطائرات معينة). وسوف تشمل التطبيقات المقبلة لهذه المواد أجزاء هياكل الطائرات وأجزاء السطح الخارجي، والمحركات التوربينية المتطورة للجيل المقبل من الطائرات العسكرية وكذا الطائرات الفضائية الوطنية. ومن شأن انخفاض تكلفة المعدات الصغيرة الحجم أن يؤدي إلى زيادة الطلب على هذه المواد، ولا سيما من أجل السيارات، خلال سنتين أو ثلاث سنوات.

الأغشية الرقيقة المغنطيسية

٧٣ - حلت الأغشية الرقيقة المغنطيسية، خلال العقد المنصرم، محل جسيمات الأكاسيد الفلزية كمصدر للدفق المغنطيسي في وسائط الخزن المغنطيسية بالأقراص الجاسئة. وتتسم الأغشية المتعددة الطبقات ذات البنية الدقيقة، هذه، بمقاومة مغنطيسية عملاقة وهائلة، وبتغير كبير في الموصلية الكهربائية عندما ينعكس اتجاه المغنطيسية. وهذه الظاهرة مفهومة عموماً ولكن العوامل العديدة التي تحكم استجابة النظم العملية لا تزال محل دراسات مكثفة. وقد أتاحت التكنولوجيا الراهنة المتعلقة بالتحكم في البنيات المجهرية لهذه المواد إنتاج أقراص تصويرية بسعة ٥٠٠ ميغابايت في البوصة^٢ ومن المتوقع أن تصل إلى ١٠ غيغابايت في البوصة^٢ خلال العقد القادم.

المواد الذكية

٧٤ - المواد الذكية هي المواد القادرة على "استشعار" المؤثرات الخارجية (مثلاً الحرارة والضغط والجهد الكهربائي والضوء الخ) وعلى الاستجابة بطرق فائقة التحديد ومرغوبة. وتشمل أنواع المواد الذكية البوليميرات الكهربائية الإجهادية والبوليميرات الموصلة والخزفيات الكهربائية الإجهادية وخزفيات الحصر الكهربائي، وموائع الجريان الكهربائي وموائع الجريان المغنطيسي والطلاءات الكهربائية اللونية ومواد الحصر المغنطيسي والأجهزة المندمجة المشكّلة مجهرية والبوليميرات والعلامات التي تتسم بالقدرة على المحاكاة البيولوجية، والسبائك والبوليميرات ذات الذاكرة التشكيلية. وتوجد كل هذه المواد في مراحل مختلفة من البحث أو التطوير أو التسويق.

٧٥ - وتحظى الكهربيائيات الإجهادية، وهي المواد الميكانيكية الكهربية التي تستجيب للتيار الكهربائي المستخدم عن طريق تغيير أبعادها، بالنصيب الأوفر في سوق المواد الذكية. وقد ساهمت تطبيقات تلك المواد والتي شملت أساساً منتجات استهلاكية مثل أجهزة التوقيت ووحدات التركيز الآلي في الفيديو كاميرا ومحددات موضع الرأس في الأقراص الصلبة للحواسيب، في ارتفاع قيمة صناعة الكهربيائيات الإجهادية إلى بليون دولار.

٧٦ - وتغير المواد اللونية لونها استجابة للمؤثرات الخارجية. وتتناول معظم الجهود الجارية حالياً في مجال البحوث المواد اللونية الكهربية (الجهد الكهربائي) والمواد اللونية الحرارية (الحرارة) والمواد اللونية الضوئية (الضوء). وقد توفر الطلاءات اللونية المستخدمة في السيارات والزجاج المعماري أكبر إمكانات النمو الاقتصادي للمواد الذكية. غير أن أكبر نمو ستشهده الأسواق على المدى القريب سوف يشمل أجهزة الاستشعار المدمجة المشكلة مجهرية من السليكون. كما أن المواد الذكية ستشهد نمواً كبيراً في المستقبل في أسواق أجهزة الأمان الذكية والأجهزة الذكية لمكافحة الضجيج والذبذبات والبنىات الذكية وذلك بفضل استخدام أجهزة الاستشعار المصنوعة من الألياف البصرية. وتقتلص أسواق المواد الذكية للأغراض العسكرية والدفاعية مما سيؤدي إلى تزايد أهمية التطبيقات المزدوجة في المستقبل.

٧٧ - وتستجيب مواد المحاكاة البيولوجية للمؤثرات الكيميائية والكهربية عن طريق تغيير حجمها أو من خلال الانتشارية الكيميائية. وتعمل كمحاكيات من الطراز الأول للنظم البيولوجية. وبالرغم من أن بوليميرات وهلامات المحاكاة البيولوجية توجد حالياً في مرحلة البحث والتطوير فإن استخدامها مستقبلاً كمواد استشعار بيولوجية وأعضاء اصطناعية عصبية، أمر ممكن.

٧٨ - ويمكن للسبائك والبوليميرات ذات الذاكرة التشكلية أن تسترجع شكلها الأصلي لدى تسخينها في درجات حرارة مرتفعة بعد تشكيلها في ظروف ميكانيكية حرارية. وتستخدم السبائك ذات الذاكرة التشكلية تجارياً في الأسلاك المستخدمة لتقويم الأسنان وإطارات النظارات والمشغلات الحرارية للنبائط اللولبية. وتتوفر البوليميرات ذات الذاكرة التشكلية، تجارياً، في عدد من الحالات الطبيعية التي يسهل الحصول عليها مثل الكريات والمحاليل والسوائل. وتستخدم هذه الخصائص في تطبيقات طبية وصناعية واستهلاكية تشمل أنابيب القسطرة والمسندات الوقائية المشكلة حسب الطلب.

٧٩ - ويمكن للبوليميرات الموصلة أن تغير لونها وموصلتها استجابة للمؤثرات الكيميائية والإلكترونية. وتستخدم تجارياً في البطاريات والطلاءات الثانوية للوقاية من الترددات اللاسلكية والتداخل الكهرومغناطيسي.

المواد الإلكترونية

٨٠ - يبدو، في الوقت الحالي، أنه صار للأجهزة الإلكترونية البوليمرية الفعالة بعض الإمكانات التجارية إن لم تكن إمكانات هائلة. وقد حققت الصمامات الثنائية البوليمرية الباعثة للضوء، بالفعل، مستويات أداء مقاربة للصمامات الثنائية غير العضوية الباعثة للضوء. ويمكن ترسيب المواد البوليمرية على قواعد مرنة

خفيفة الوزن بحيث تعطي المصممين قدرا كبيرا من الحرية في تصميم الأجهزة الجديدة. ويتحدد اللون الذي تصدره المادة عن طريق جزيئ مؤشب مما يتيح إصدار ألوان مختلفة من نفس البوليمير الأساسي. وقد استحدثت ترانزستورات بوليميرية يمكن استخدامها في دارات مندمجة بسيطة إلى حد ما. وبالرغم من أن هذه الأجهزة لا يمكنها أن تنافس، على المدى القريب، الأجهزة السليكونية إن هي نافستها إطلاقا، من حيث السرعة أو الكثافة، إلا أنها تتميز بالمرونة إلى حد ما إذا ما وضعت على قاعدة تتسم بقدر من المرونة. وقد جرى تجريب مجموعة متنوعة من المكونات الكهربائية البصرية الأخرى مثل نبائط التوجيه الموجي والمبدلات والمضخمات ويمكن إلى حد كبير أن يستخدم بعضها في إنتاج بعض المكونات غير المكلفة لنظم الاتصالات والحوسبة المصنوعة من الألياف البصرية.

٨١ - ويمكن التحدي التقني فيما يتعلق بهذه المواد في تمديد مدد تشغيلها وتطوير طرق المعالجة اللازمة لإنتاج كميات كبيرة من الأجهزة بتكلفة متدنية. وقد تحقق بالفعل تحسن كبير في مدد التشغيل مع تطور تكنولوجيات التصنيع.

التجميعات فوق الجزيئية

٨٢ - يمكن تصميم البوليميرات الطبيعية والاصطناعية على السواء لتشكيل تجميعات ضخمة من الجزيئات ذات خصائص مفيدة. والتجميع الذي حظي بأكبر قدر من الدراسة هو الرقاقات الأحادية الجزيئ الذاتية التجميع حيث تصطف الجزيئات ذات البنية الملائمة، تلقائيا، لتشكل طبقات موحدة متراصة بأحكام على قاعدة مناسبة. وبما أن تلك الطبقات تتشكل تلقائيا، فيمكن صنع الأجهزة التي تضم تلك المواد بتكلفة منخفضة وبكميات كبيرة. وبوسعها أيضا أن تصلح بنفسها الطبقات المصابة بأضرار عن طريق تجميع جزيئات إضافية في الأماكن المناسبة لإصلاح الأعطاب. ويمكن لهذه الطبقات أن تحمل طائفة واسعة من المجموعات الوظيفية على سطحها بغرض أداء مهام محددة. وبوسعها، على سبيل المثال، أن تحمل موقع ربط لمادة كيميائية مستهدفة وتعمل كوسيلة استشعار. ويمكنها أن تحمل موقعا يقلد عاملا فسيولوجيا من أجل إحداث الاستجابة المرغوب فيها داخل الجسد. ويمكن استخدام تلك السطوح كمواد شعالة لإنتاج أنسجة بديلة. واقتراح استخدام الرقاقات الأحادية الجزيئ الذاتية التجميع كنماذج مجهرية للدارات الالكترونية عن طريق الاستفادة من خاصياتها التبيلية لحماية سطح السليكون، كبديل للثيوغرافيا الضوئية. أما إنتاج تجميعات ثلاثية الأبعاد بواسطة طرق اصطناعية معقدة فهو أكثر تعقيدا. وكلما تزايد الإلمام بالمبادئ التي تنظم تجميع تلك الجزيئات كلما كان بوسعها، بالمقابل، أن تؤدي وظائف أكثر تعقيدا.

آثار الاتجاهات التكنولوجية

٨٣ - إن التطبيقات التي تتيحها هذه الاتجاهات في مجال تكنولوجيا المواد هي التي تحدد آثارها الاجتماعية والاقتصادية والسياسية. وأيسر التطبيقات المتاحة للبحث هي الالكترونيات والاتصالات حيث أن اتجاهات تطوير الأجهزة واتجاهات السوق مستقرة ولا تبدو عليها أي علامات ضعف. ولا تزال القوة الحاسوبية مقابل سعر معين تنمو بالسرعة نفسها التي نمت بها في العقد الماضي. والاتصالات اللاسلكية واسعة الانتشار وتنمو بسرعة كبيرة إذ أصبحت الحواسيب وأجهزة الهاتف المحمولة أصغر حجما وأخف

وزنا. وذلك ما يجعل المعلومات في متناول عدد من الناس في العالم أكثر بكثير من ذي قبل، ويغير بالتأكيد الطريقة التي ينظر بها الأفراد لأنفسهم والأساليب التي تراقب بها الحكومات مواطنيها وتقودهم. وسيؤدي التقدم المحرز في المواد الذكية وأجهزة الاستشعار التي يعتمد عليها استخدامها إلى استحداث نظم كشف عالية التخصص يمكن أن تحمي من المخاطر الكيميائية والبيولوجية سواء أكانت طبيعية أم من صنع الإنسان. ويتوقع أن تكون أوجه التقدم الممكنة في مجال الطب القائمة على المواد المتطورة ثورية حقا. ونمو الخلايا الحية على سقالة اصطناعية لإنتاج خلايا جديدة أو أنسجة أو ربما أجهزة كاملة لا يبدو فقط ممكنا بل وربما يوشك أن يتحقق.

٨٤ - ولا يزال الحافز الأكبر في تكنولوجيا المواد هو الحاجة إلى استحداث وتجهيز مواد تتسم بأداء وموثوقية يمكن التنبؤ بهما. وحجم وتركيب البنى الدقيقة للمواد عاملان حاسمان في أدائها في المنتجات النهائية، ويجري حاليا تجميع جميع الأجهزة والمواد على المستويين الذري والجزيئي باستخدام تكنولوجيات المعالجة المتحكم فيها. ولا تزال المواد المتطورة تنفذ إلى السوق، وعادة ما تظهر أول مرة في الأسواق المخصصة حيث يكتسب الأداء أهمية أكبر من التكلفة. وسيتوقف اتساع مجال تسويق المواد المتطورة أو المكيفة جزيئيا على قدرتنا على استحداث تكنولوجيات معالجة موثوقة بإمكانها أن تنافس المواد التقليدية من حيث التكلفة.

دال - تكنولوجيا المعلومات*

٨٥ - أقل ما يمكن أن يقال في المشغلات ومحولات البيانات هو استمرار انخفاض سرعتها وحجمها وسعرها أُسِّيا. وحدثت تطورات ثورية في مجال توزيع المعلومات بالشكل الرقمي، وتحقق ذلك بفضل التحسينات في الهياكل الأساسية للاتصالات، وتطوير بروتوكولات التبادل والبرامج الحاسوبية المستقلة عن نوع الآلة. وأحرز تقدم كبير في تخزين المعلومات الرقمية غير الأبجدية العددية، وتجهيزها وتطبيقها، وقابلت قدرتنا على الإحساس بالبيئة، بواسطة أجهزة أصغر وأكثر تكاملا تطورات في مشغلات العامل الآلي (الروبوت). بيد أن تعقيد إنشاء نظم كبيرة لا يزال يعوق التحرك نحو بناء شبكات المعلومات العالمية.

٨٦ - ويستهل هذا الجزء في معالجته التغييرات التي حدثت منذ تقرير ١٩٩٠، بالتقييم الأول الذي مفاده أنه نظرا لأن تكنولوجيا المعلومات توفر الأدوات والأساليب اللازمة لإدارة المعلومات وتطبيقها، فإنها تهتم بجميع الأنشطة المجتمعية والعسكرية، بدءا برفع معلومات التحكم في المستوى الأدنى في تشغيل الآلات ووصولاً إلى دعم البرهان الاستراتيجي أو الفلسفي في المستوى الأعلى.

* هذا الجزء من تأليف الأستاذة جانيت إسبت، رئيسة مدرسة الإدارة ومدرسة تكنولوجيا المعلومات، جامعة نيوكاسل، نيوكاسل، أستراليا.

٨٧ - وتكنولوجيا المعلومات، شأنها شأن جميع التكنولوجيات لا يمكن وصف تأثيرها إلا من حيث تطبيقاتها. ويتوقف تأثير التطبيق بدوره على الجمع بين تكنولوجيا المعلومات وتكنولوجيات أخرى في أجهزة أو نظم، وعلى الإجراءات المتبعة في تطوير هذه الأجهزة أو النظم واستخدامها، وعلى رد الفعل البشري والتنظيمي على التطبيقات الناشئة عن ذلك. ولا يزال انتشار تكنولوجيا المعلومات يزداد في كل مؤشر من المؤشرات الرئيسية: انتشار التطبيق؛ ومجموعة السلع والمنتجات التي تسهم فيها؛ وسرعة تبنيها؛ ودعم المستثمرين لها^(٩٦). وأدى التوسع الكبير في قاعدة موارد البيانات الرقمية العالمية في العقد الماضي، والمعبر عنه بـ "عصر المعلومات"، أدى إلى الاعتماد على نظم المعلومات اقتصاديا وعسكريا^(٩٧). لذلك فإن الازدواجية بين الميزة التنافسية لتكنولوجيا المعلومات وضعفها الاستراتيجي يثير مسائل أمنية جديدة في القرن المقبل.

التقدم المحرز في تكنولوجيات التجهيز والاتصالات

٨٨ - وحدة التجهيز الإلكتروني هي السبب الأساسي في توسع تكنولوجيا المعلومات. وأُبقي على المعدل الأسّي لتصغير وحدة التجهيز الإلكتروني مما أدى إلى تحقيق معدلات مناسبة في خفض أوقات التجهيز، والتكاليف، والأحجام والأوزان^(٩٨). ويتوقع أن يتواصل تحسين الأداء مع ازدياد تكامل الأداء على الرقاقة نفسها.

٨٩ - بيد أن التطورات الرئيسية التي حدثت في السنوات الثماني الماضية تمثلت في ربط شبكات الحاسوب والتكنولوجيات المرتبطة بشبكة الإنترنت. وساعد الابتكار في الصناعات الحاسوبية والإلكترونية وصناعات وسائط الإعلام، مقرونا بالاتفاق بشأن معايير دعم قابلية التشغيل المشترك، ساعد على إحداث ثورة في استخدام شبكة إنترنت. وتم نشر العديد من الإحصاءات عن انتشار شبكة الإنترنت. ووفقا لبعض التقديرات^(٩٩)، يتوقع أن يبلغ عدد المستخدمين ١٢٢ مليون مستخدم في منتصف عام ١٩٩٨، منهم ٦٠ في المائة في أمريكا الشمالية. وتبلغ نسبة المستخدمين حاليا في أفريقيا ٠,٧٥ في المائة فقط.

٩٠ - وسيظل انتشار شبكة الإنترنت يتوقف على توسيع نطاق الهياكل الأساسية للاتصالات. ففي الدول المتقدمة النمو أخذت الألياف الضوئية ذات نطاق التردد العالي محل شبكات النحاس الحالية، بالإضافة إلى أن تكنولوجيا البصريات المتكاملة تبشر بالتغلب على مشاكل التحويل في الاتصالات. وأصبحت تتوفر للخدمات المنزلية ساعات تقدر بالعديد من الميغابت.

٩١ - وسيتوقف انتشار شبكة الإنترنت في الدول ذات الهياكل الأساسية الرديئة من الخطوط البرية على خفض التكاليف وزيادة سعة الاتصالات التي تعتمد على استخدام السواتل. وسيتحقق ذلك من خلال استخدام محولات أكبر قوة، وتحسين الانضغاط الرقمي، وخفض تكاليف بدء التنفيذ، وبناء محطات أرضية أرخص ثمنا. ومن التطورات المحتملة الأخرى خدمات الاتصالات اللاسلكية المقامة على منصات طيرانية عالية الارتفاع، مما سيسمح بتعجيل نشر خدمات الاتصالات ذات نطاق التردد العالي.

٩٢ - ويمكن أن يُعزى النجاح الخاص الذي حققته الشبكة العالمية بوصفها تكنولوجيا تابعة لشبكة إنترنت إلى تسخيرها الابتكارات في تكنولوجيا الوسائط المتعددة الرقمية المتفاعلة. وحققت الشبكة تحسنا جذريا

في المرونة التي يمكن بفضلها تبادل المعلومات مقارنة بأساليب الاتصال من بُعد، وتبادل المعلومات والتسلية مثل الهاتف، والكتب والتلفزيون. وشُرِع الآن في استغلال إمكانية تقاسم الموارد النادرة في مجالي التعليم والمهارات، من خلال الإشراف على إدارة مهام الإخصائيين مثل الجراحة عن طريق التعليم من بُعد وغيرها. ونظرا لاتساع مجال الوصول إلى الشبكة، فإن هناك إمكانية حقيقية لتصحيح الاختلال في التوازن بين "الذين يملكون" المعلومات و "الذين لا يملكونها"، وذلك على الصعيدين الداخلي والدولي.

٩٣ - وسيتمكن ذلك بفضل تكنولوجيات الانضغاط، مما يساعد على زيادة فعالية استخدام عرض النطاق الحالي للاتصالات وسعة التخزين الرقمي. وسيعزز ذلك عمل الهيئات المعنية بوضع المعايير للمستقبل مثل فريق خبراء الصور المتحركة^(٣٠). ويتحقق الانضغاط الفعال من خلال ما يسمى الطرائق "الذكية" التي تفسر جزئيا البيانات الأولية، وبالتالي لا تحول فقط الاحتياجات من الاتصالات وهياكل التخزين الأساسية، بل وتحول أيضا القدرة على التفسير التلقائي للمعلومات المضغوطة من أجل تحسين استرجاع المعلومات وترشيحها.

التكنولوجيا المتعددة الوسائط

٩٤ - ستتواصل الزيادة في نسبة جهود البحث في مجال تكنولوجيا المعلومات الموجهة إلى المسائل المرتبطة بالمعلومات، مقابل المسائل المرتبطة بالتكنولوجيا (وحدات التشغيل، والبرامج المؤلفة، إلخ). على الرغم من أنه من الصعب قياس ذلك بدقة بسبب نطاق أنشطة البحث المشمولة في هذا المجال. وتجمع تكنولوجيا الوسائط المتعددة الرقمية المتفاعلة بين آليات تجهيز المعلومات وعرضها التي جرى تطويرها سابقا بصورة منفصلة، ومن ذلك على سبيل المثال الآليات المتعلقة ببيانات الصورة والصوت والنص والحيث. ولذلك فإن التدريب على المهام المدنية والعسكرية الخطيرة أو الباهظة التكاليف تحظى بمساعدة تكنولوجيات المعلومات مثل غرف التدريس الإلكترونية، والواقع الظاهري، وبرامج المحاكاة. وشُرِع الآن في استغلال الإمكانيات التعليمية للتكنولوجيات ذات الصلة.

٩٥ - وأصبحت الطريقة التي يستخدم بها البشر هذه المعلومات مفهومة أكثر من خلال البحث في العلوم المعرفية. وستتحقق تحسينات في القدرة على الاسترجاع التلقائي للمعلومات المتعلقة بمهمة شخص ما، بصرف النظر عما إذا كانت المعلومات واردة في شكل صورة أو في ملف نصي. وستزداد باطراد فعالية ترشيح المعلومات لتفادي "التحميل الزائد للمعلومات"، وذلك نتيجة للجهود المكثفة المبذولة في مجال البحث. وتترتب على تحسين القدرة على تحديد موقع المعلومات وترشيحها آثار أمنية وذلك فيما يتعلق بتطبيقاتها على الرصد المأذون به وعلى الجوسسة.

الاتجاهات في مجالي الاستشعار من بُعد وتكنولوجيا الروبوت

٩٦ - كان لتقدم تكنولوجيا المعلومات أثره في تصاعد أنشطة جمع المعلومات التجارية والعسكرية لأغراض الاستخبارات والمراقبة. فعملية جمع الاستخبارات من جميع أنحاء كوكبنا مستمرة طوال الـ ٢٤ ساعة وذلك بفضل الاتصال بشبكة الإنترنت والتحسينات في وسائل تحديد المواقع والاستشعار من بُعد والرصد. وقد استفادت تلك الوسائل من مزيج من الابتكارات في ميادين تكنولوجيايات أجهزة الاستشعار الفعالة والسلبية، وهياكل المعالجة الأساسية وخوارزميات المعالجة البالغة التطور التي تستند إلى نماذج مركبة للبيئة وأجهزة الاستشعار.

٩٧ - وسيظل التصغير يسهم مقترنا بالتطورات التي تشهدها تكنولوجيايات الاستشعار في خفض تكلفة أجهزة الاستشعار وتقليص حجمها مثلما هو الحال تماما فيما يتعلق بأجهزة المعالجة والواقع أن وجود شبكات منسقة من أجهزة الاستشعار الصغيرة الحجم يوفر قدرات معززة منخفضة التكلفة في مجالات جمع المعلومات الاستخباراتية، والمراقبة والاستطلاع. كما أن تحسين الموارد الحاسوبية وكذلك تحسين عملية وضع نماذج لأجهزة الاستشعار ونماذج بيئية من شأنه أن يسهم في زيادة جدوى البيانات المدمجة .. مثل البيانات الكهربائية الضوئية، والبيانات المستمدة من الأشعة تحت الحمراء، والبيانات الصوتية والبيانات السيزمية التي تجمع بواسطة أجهزة استشعار برية ذاتية التشغيل أو بيانات الأشعة تحت الحمراء والبيانات الرادارية المستخدمة في نظم المراقبة الجوية. فبيانات من هذا القبيل يمكن معالجتها في الموقع ليجري بعد ذلك ضغطها ونقلها وتحليلها وفي نهاية المطاف تخزينها في مستودعات للبيانات مما يساعد على خفض تكلفة مهام الرصد والتتبع المضطلع بها لأغراض مدنية وعسكرية ولأغراض حفظ السلام بما في ذلك رصد مسارات الأسلحة وعملية التخلص منها.

٩٨ - وقد كان للتحسينات المضطلع بها تطويرا لتكنولوجيايات النقل جنبا إلى جنب مع تصغير أجهزة الاستشعار، أثرها في تشجيع استحداث وحدات رصد أصغر حجما ذاتية التشغيل وقابلة للحركة بقدر أكبر. وسوف يفضي هذا الاتجاه إلى "روبوتات متناهية الصغر" حجمها دون السنتيمتر يمكنها متى اجتمعت أن تؤدي مهام معقدة. وتتيح أجهزة الاستشعار المزودة بوسائل تحكم واتصال ذكية، استحداث مركبات أعلى قدرة تسير بلا سائق اعتمادا على التشغيل الذاتي، ولم تبدأ تلك المركبات إلا مؤخرا، في أداء الأدوار العسكرية والتجارية الهامة، التي ظلت موضع تنبؤ لعدة عقود. وتجدر الإشارة في هذا الصدد إلى أن الطائرات التي تعمل بلا طيار أو المركبات الذاتية التشغيل التي تُسوق من أجل مهام مثل رصد حوادث المرور يمكن أن يعاد استخدامها في الأغراض العسكرية أو الإرهابية. وبوجه عام فإن ازدياد قدرة المركبات ذاتية التشغيل يفسح المجال أمام الدول للقيام بأعمال حربية دون أن تتقيد برد فعل شعوبها إزاء الخسائر في الأرواح. وفي هذا الصدد ثمة شاغل يتبدى فيما يتصل بإمكانية الحصول على تلك التكنولوجيايات بسبب انخفاض تكلفتها.

٩٩ - ويحقق الإنسان، حاليا، في طائفة من المجالات، المزيد من كفاءة الأداء بفضل تطور "المفكرات الرقمية الالكترونية الشخصية". فما يسمى "الكساء المعلوماتي" أي ما يحمل في طيات الملابس أو ما يتخذ

كملايس من أجهزة التقاط المعلومات ومعالجتها وتوزيعها، قريبا ما سيخرج من حيز مجالات الاستخدام المحدود مثل مجالي الرصد الطبي أو العسكري. وبوجه أعم فإن الأدوات المعلوماتية المكرسة لأداء مهام بعينها، مثل رصد محركات السيارات أو تدفقات المرور، ستغدو أوسع انتشار نتيجة تيسر شرائها وازدياد متانتها مع ظهور جيل جديد من "المنظومات المركبة على رقائق"، ومن أجهزة الاستشعار الداعمة مثل الشبكة العالمية التفاضلية لتحديد المواقع. ويجري تطبيق أسلوب الجمع بين تكنولوجيات الاستشعار والمعالجة والتشغيل على عملية استحداث أسلحة ومنظومات أسلحة ذاتية التشغيل.

حرب المعلومات والاستخدام غير المشروع للمعلومات

١٠٠ - إن صعوبة الحصول على مردود من احتلال مركز متقدم في مجال استحداث الأسلحة وضعف هذا المردود نسبيا سيظلا يتسببان في اعتماد الدول الفقيرة وكذلك الإرهابيين على الأسلحة الرخيصة وغير المتطورة نسبيا (بل وربما اعتمادها على الاستعانة بقوات مرتزقة مزودة بتكنولوجيا رفيعة المستوى). ولنفس الأسباب المتعلقة بالتكلفة قد يثبت للدول الفقيرة والجماعات الإرهابية أن المزايا السياسية المترتبة على زعزعة الاستقرار تشكل خيارا مغريا مقارنة بعملية تحديد الأسلحة البالغة التطور واستخدامها.

١٠١ - ويتردد أن زعزعة الاستقرار في عصر المعلومات باتت أمرا ميسورا بالنظر إلى أن القطاع المدني يستهين بالتأثير الذي يمكن أن تحدثه حرب المعلومات، وذلك مثلا^(٣٣) رغم المكانة البارزة المخصصة في وسائط الإعلام وعبر شبكة الإنترنت لمسألة الاعتداء على المعلومات. والواقع أن الحماية التي ستستمد من الجيل الجديد من أجهزة وبروتوكولات التشفير لن تصد المعتدي الفائق الحذق أو مرتكب الاعتداءات المادية الشديدة الفجاجة. فثمة امكانية حقيقية لأن تتسبب الجماعات الإرهابية والدول الصغيرة ذات الميزانيات الضئيلة في وقف خدمات حيوية. بيد أن الأساليب الشفرية المحسنة التي اقتضتها الضرورات التجارية ستيسر رصد تحركات تجار الأسلحة والمجرمين والإرهابيين.

١٠٢ - وفي القطاع العسكري، أدت الفوائد المتأنية عن تواصل الشبكات وتطابق نظم تشغيلها إلى إدراك ضرورة تغليب استراتيجيات التصرف حيال المخاطر الأمنية على استراتيجيات درء المخاطر، ويصدق هذا، بوجه خاص، على نظم القيادة والمراقبة والاتصالات والاستخبارات. فرغم أن تلك النظم ما زالت، بوجه عام، مؤمنة تأميناً شديداً في بلدان منظمة حلف شمال الأطلسي (الناطو) أو في البلدان المماثلة لها، اجتذبت حرب المعلومات أموالاً ضخمة في تلك الدول وأفسحت المجال لانتشار مجموعة من المفردات التي يظهر فيها تعبير ذاتية التحكم (cyber)؛ ومن مفردات العمليات ذاتية التحكم؛ والهجمات ذاتية التحكم، والذخائر ذاتية التحكم، الخ. وحرب المعلومات شأنها شأن الإرهاب من حيث أنه يصعب تحديد المعتدين المتعين أن توجه لهم الضربة المضادة. والنظم الحاسوبية العسكرية وكذلك المدنية، تتعرض، بصفة منتظمة، لاعتداءات منخفضة المستوى يرتكبها مبتدؤون.

١٠٣ - وفي اتساق مع تأثيرها على الاتجاهات في مجال الاتصالات القانونية أسهمت تكنولوجيا المعلومات في تدعيم الشبكات الإجرامية الدولية، حيث أنها تتيح لقلّة من الفئات تشمل المزاويلين لأنشطة إباحية، تبادل

المعلومات بغرض التدريب وغير ذلك من الأغراض غير القانونية. وقد تغيرت وسائل ارتكاب الجرائم حيث باتت عمليات التزوير المالي الكترونياً، والتخريب الصناعي وغير ذلك من عمليات الغش المتصلة بوسائل الاتصالات السلكية واللاسلكية تجري على نطاق عالمي^(٣٣).

اتجاهات التطوير في مجال تكنولوجيا المعلومات

١٠٤ - وفي سياق تطوير تكنولوجيا المعلومات، سيستمر المنحى صوب تحويل تركيز البحث والتطوير عن القطاع العسكري إلى القطاع المدني، مع إرساء علاقات وثيقة فيما بين الشركاء على صعيد الصناعات والجامعات والحكومات. وقد اقترن ذلك بإنتاج متكامل للمعدات العسكرية في مرافق تجارية واستخدام مكونات تجارية في المنظومات العسكرية. فالحلول الجاهزة دائماً ما تكون أقل تكلفة من نظم البرمجيات المعدة وفقاً لمواصفات مطلوبة، وفي ظل الاتجاه نحو التصغير غدت المعدات الجاهزة أكثر متانة.

١٠٥ - وقد سجلت، على نطاق واسع زيادة في عدد الجهات الصغيرة المتخصصة في تطوير وإنتاج تكنولوجيا المعلومات الأمر الذي يرجع، في جانب منه، إلى انخفاض تكلفة الدخول في صناعات التكنولوجيا رفيعة المستوى نتيجة الهبوط العام في أسعار المكونات وأدوات التطوير مثل هندسة البرمجيات المستعان فيها بالحاسوب وقد يفضي هذا الاتجاه إلى صعوبة في مراقبة إنتاج الأجهزة التكنولوجية المتوسطة ذات القدرة العسكرية الهامة.

١٠٦ - وأبدت، أيضاً، جهات بيع وتطوير تكنولوجيا المعلومات نشاطاً قوياً في اتجاه استحداث هياكل للنظم في القطاعين المدني والعسكري تكون مفتوحة لأي تركيبات^(٣٤). الأمر الذي أسفر عن تغييرات جذرية في هياكل منظومات الأسلحة وأجهزة الاستشعار حيث باتت تنطوي على إمكانيات لتعزيز نظام الوحدات القياسية الجاهزة على مر الزمن. بيد أن استمرار تعذر احتواء عثرات التكاليف والوقت في عمليتي تنفيذ وصيانة نظم البرمجيات الكبرى من قبيل تلك المتصلة بنظم القيادة والمراقبة والاتصالات والاستخبارات، سيظل يتعارض تعارضاً صارخاً مع انخفاض تكلفة المكونات المستخدمة في الأجهزة المعلوماتية وتزايد تطورها. ويعد هذا من نتائج تزايد تعقيد متطلبات التكامل أو التواصل السلس، وعدم فاعلية أوساط بحوث النظم المعلوماتية^(٣٥).

١٠٧ - وبالنسبة للقطاعين العسكري والمدني كانت عملية استحداث نظم ضخمة مشكلة كبرى تمثل أسلوب التصدي لها في الاتجاه مؤخراً صوب إضفاء المركزية على عمليتي استحداث تلك النظم وتشغيلها. وقد اكتسبت جهات بيع الحلول المتكاملة قوة هائلة في السوق المدنية على نطاق عالمي، مما يتبدى بوجه خاص في سيطرة شركتي Microsoft و SAP AG على مختلف قطاعات السوق وأيضاً في تكوين تحالفات. وقد باتت قوة هاتين الشركتين تتحدى السلطات التقليدية للدولة. ويتجسد الاتجاه الراهن صوب تكوين شركات ضخمة تسيطر على إنتاج البرمجيات في بعض القطاعات، في صعود نجم الدور الكبرى المتعددة الجنسيات التي توفر الدعم لنظم المعلومات. ويمكن أن يعزى هذا إلى فشل الجهات التقليدية (المحلية) التي توفر الدعم مدى الحياة لنظم المعلومات. بيد أنه من المرجح أن يعكس مسار الاتجاه صوب إضفاء المركزية

خلال العقد القادم نتيجة لاستحداث أساليب أذكى لاجتياز حدود النظم والنظم الفرعية المعلوماتية عن طريق الوساطة والترجمة.

المستقبل

١٠٨ - إننا نعيش الآن في عصر التواصل العالمي الذي لا يمكن فيه من الناحية الواقعية منع انتقال المعلومات عبر الحدود الوطنية. فنشر المعلومات دونما مانع حدودي عبر شبكة الإنترنت سيكون له دور في تثبيت الاستقرار وزعزعته بما ينطوي عليه ذلك من آثار ثقافية وسياسية وقانونية وتجارية معقدة. والواقع أن امكانيات استخدام الشبكة في التصدي للدعايات أو المعلومات المعادية تتمثل في طائفة متنوعة من التطبيقات المثبتة للاستقرار، بدءاً من إدارة الأزمات وانتهاءً بزيادة الوعي بقضايا مثل قضية الأسلحة البيولوجية. وهكذا فحاجزي اللغة والوقت، وكذلك المسافة تتضاءل إلى حد كبير في عالم الإنترنت. وقد كانت الأوساط الأكاديمية العالمية من أول المستفيدين بالشبكة؛ فعلى الأقل أصبح الآن بوسع بعض تلاميذ المدارس في معظم أنحاء العالم الاتصال مباشرة بآثراهم.

١٠٩ - وكان لتطبيق تكنولوجيا المعلومات في المجال التجاري أثره في تغير ميزان القوى بين الدول والشركات. فثمة عدد متزايد من الشركات يحقق انتاجاً سنوياً يفوق النواتج القومية الاجمالية. والدول المتقدمة تتودد إلى مثل تلك الشركات. فالشركات المنتجة لتكنولوجيا المعلومات يمكنها بوجه خاص التحرك بحرية بين مقدمي العروض المغرية الذين يسعون إلى اجتذاب الشركات المصنعة لتكنولوجيا المعلومات والدور المنتجة للبرامجيات.

١١٠ - وقد أدت التطورات في مجال تكنولوجيا المعلومات إلى تغيير طبيعة الخدمات المالية وأسواق المال، حيث توفر الوسيلة لجمع المعلومات العالمية الكترونياً، ورصد الأسعار وتنفيذ الكثير من الصكوك المالية. ويجري الآن تغيير طابع أسواق التجزئة العالمية عن طريق انجاز التحويلات المالية للمستهلكين بالوسائل الالكترونية وأداء بعض الخدمات بالاتصال المباشر. وثمة منافسة متزايدة على الأموال المضمونة من الحكومة.

١١١ - وإزاء مثل تلك التغيرات، لا بد من التنقيح المستمر للتشريعات المتعلقة بالممارسة التجارية وبحمائية المستهلك وما شابهها من تشريعات تقليدية تنصب على الصعيد الوطني^(٣٦). وسوف تضطر الدول إلى التكيف والاتفاق على الأساس الذي بناء عليه تزيد الضرائب على المنتجات والخدمات والصفقات عبر الوطنية وسوف يصبح انفاذ القوانين الوطنية في مجالات عديدة أمراً متعذراً أو مستحيلاً.

١١٢ - بيد أن الأساس المنطقي التجاري المتمسم بخاصية ثقافية أو وطنية في مجال المعلومات يمكن أن يكون أقوى حجة من القانون. فقد أثبت التنوع الثقافي والديني والعنصري، فيما سبق صموده أمام التكنولوجيا. وعصر التكنولوجيا بما ينطوي عليه من امكانيات تعزيز مثل تلك الفروق مع القضاء في الوقت نفسه على أي سوء تفاهم ينشأ عنها، يتيح لنا أكبر أمل في إيجاد رؤية مشتركة للسلام.

هـ - التكنولوجيا الحيوية*

١١٣ - منذ عام ١٩٩٠، عندما نشر تقرير الأمين العام "التطورات العلمية والتكنولوجية وآثارها على الأمن الدولي" ارتفع كثيرا مستوى اهتمام الجمهور على نطاق العالم بشأن انتشار الأسلحة البيولوجية وإمكانية استخدامها من جانب الزعماء الوطنيين العدوانيين ومن جانب الإرهابيين. وقد حدث هذا التطور لأسباب رئيسية ثلاثة: (أ) أعمال الجماعة الإرهابية أوم شينريكيو في اليابان؛ (ب) والكشف عن البرنامج المعقد والكبير للحرب البيولوجية للاتحاد السوفياتي السابق؛ و (ج) اكتشافات اللجنة الخاصة للأمم المتحدة المتعلقة بقدرات العراق في مجال الحرب البيولوجية. كما أن كثيرا من المقالات ظهرت أيضا في المجلات والصحف بشأن تهديدات الأسلحة البيولوجية، وكذلك بشأن التقنيات التكنولوجية الحيوية التي يقوم بتطبيقها علماء لا ضمير لهم بهدف إيجاد بكتيريا وفيروسات ممرضة تُركب على هذه الأسلحة. والواقع أن التهديد الذي تنطوي عليه أساليب البيولوجيا الجزيئية التي يجري تطبيقها لأغراض عسكرية أو شريرة يظل في الوقت الحاضر نظريا عموما.

١١٤ - أما الجانب غير النظري فهو أن بحوث البيولوجيا الجزيئية قد أسفرت عن تطوير كثير من التقنيات المتقدمة التي تستخدم في البحوث الأساسية والتطبيقية، واستحداث منتجات وعمليات جديدة، والإنتاج الصناعي للمستحضرات الصيدلانية وخاصة المواد الكيميائية وتطبيقات كثيرة أخرى. ومما له صلة بهذا التقرير، أن البيولوجيا الجزيئية تزود موظفي قطاع الصحة العامة بطرق ناجعة للكشف عن العوامل المسببة للأمراض (الباثوجينات) والتكسينات في البيئة وفي الهياكل التي هي من صنع الإنسان، ولتشخيص ومعالجة الأشخاص المصابين، والحيوانات والنباتات المصابة؛ ورصد حركة مسببات الأمراض أثناء انتشار الأوبئة والأمراض الجائحة. وكما هو مبين أدناه، فإن هذه التقنيات التي تم تطويرها عموما من خلال عمليات سلمية، متاحة أيضا للذين يشتركون في الدفاع الحيوي وتحديد الأسلحة على الصعيد الدولي^(٣٧).

١١٥ - وقد تضمن تقرير عام ١٩٩٠ وصفا ومناقشة للاتجاهات السائدة في التكنولوجيا الحيوية. بيد أنه أثناء الأعوام الثمانية التي انقضت، تم إنجاز تطورات جديدة هامة في هذا الميدان، مما يستلزم استكمال التقرير الأصلي؛ ويرد هذا الاستكمال أدناه. وعلى ذلك، يتكون التقرير الحالي من أربعة أجزاء. يقدم الجزء الأول خلفية مختصرة عن الأنشطة ذات الصلة في مجال تحديد الأسلحة. ويستعرض الجزء الثاني أهم التقنيات البيولوجية الجديدة. ويناقش الجزء الثالث تطبيقات التقنيات البيولوجية الجديدة على قضايا الدفاع البيولوجي وقضايا تحديد الأسلحة. أما الجزء الرابع فيختص بالتطورات المحتملة المقبلة.

* كتب هذا الفرع ريموند زيلينسكاس، أستاذ مشارك، المركز المعني بالقضايا العامة المتعلقة بالتكنولوجيا الحيوية بمعهد ميريلاند للتكنولوجيا الحيوية، جامعة ميريلاند، ميريلاند، الولايات المتحدة الأمريكية.

معلومات أساسية عن الأنشطة الدولية ذات الصلة لتحديد الأسلحة

١١٦ - استخدم مفتشو اللجنة الخاصة العاملون في العراق طائفة واسعة من التقنيات البيولوجية والكيميائية والفيزيائية في أعمالهم التي يقومون بها للكشف عن التفاصيل المتعلقة بأسلحة الدمار الشامل العراقية^(٣٨). وثمة مثال يرتبط ارتباطا وثيقا بسياق هذا التقرير. فقبل تدمير مصانع العراق الرئيسية لإنتاج الأسلحة البيولوجية في الحكم والمنال^(٣٩) كانت أفرقة اللجنة الخاصة قد جمعت ٣٥٠ عينة من المعدات، والأرض وشبكات المجاري والبيئة المحيطة بالمرافق. وقد تم تحليل هذه العينات في مختبرات مرجعية في ثلاث دول، بما فيها معهد البحوث الطبية التابع للبحرية الأمريكية في باتيسدا بولاية ميريلاند. وقد استخدم علماء المعهد طائفة من الطرق المتقدمة (يرد فيما يلي وصف أكثر تفصيلا لها)، بما فيها التقدير المناعي، وتفاعل البوليميريز المتسلسل (PCR) للكشف عن عاملين من عوامل الأسلحة البيولوجية هما - تكسين البوتولينوم وعصاة الجمرة - في ١٥ عينة. وقد أثبتت نتيجة اختبار إيجابي واحد بأنها هامة لأنها بينت أن العراقيين كانوا ينتجون عاملا معيناً في الحرب البيولوجية في مرفق كانوا يدعون بأنه لم يستخدم مثل هذا الإنتاج قط.

١١٧ - واللجنة الخاصة هي أول وكالة دولية للحد من الأسلحة تعمل في الميدان للكشف عن العوامل البيولوجية والكيميائية التي يوجد قلق بشأن الالتزام بها. وليس من غير المعقول أن نفترض أن خبرة اللجنة في هذا الشأن ستكون قيّمة بالنسبة لأولئك الذين ستناط بهم مستقبلا مسؤولية إنفاذ الالتزام الوارد في الاتفاقات الدولية لتحديد الأسلحة. وسوف تفيد هذه الخبرة منظمة حظر الحرب الكيميائية التي تشرف على اتفاقية الأسلحة الكيميائية لعام ١٩٩٧^(٤٠). كما أن خبرة اللجنة الخاصة سوف تفيد المفتشين الذين سيعملون في نظام الامتثال الذي يجري التفاوض عليه بشأن اتفاقية الأسلحة البيولوجية والتكسينية لعام ١٩٧٢^(٤١).

دراسة تقنيات التكنولوجيا الحيوية المتقدمة

١١٨ - استحدث عدد كبير من التقنيات المبتكرة خلال عقدي الثمانينات والتسعينات لاستخدامها في البحث والتطوير والاختبار والإنتاج. غير أنه سيقصر هنا على التقنيات التي لم تذكر في تقرير الأمين العام لعام ١٩٩٠ والتي يبدو أنها واعدة بوجه خاص بالنسبة للدفاع البيولوجي وتحديد الأسلحة. وتوجد ثلاث مجموعات من هذه التقنيات: وسائل الاستشعار البيولوجي وتحليل الأحماض النووية والتحليل بقياس الطيف الكتلي.

وسائل استشعار العوامل البيولوجية

١١٩ - بصورة عامة تتم القياسات عن طريق وسائل الاستشعار. وفي التجهيز البيولوجي الكلاسيكي تستخدم للاستشعار عادة أدوات تحليلية تتراوح في التعقيد من أجهزة قياس الحرارة ودرجة الحمضية إلى التقدير المناعي الإشعاعي وكروماتوغرافيا الطور الغازي. غير أن التركيز هنا سيقصر على نوع خاص واحد من وسائل الاستشعار، هو استشعار العوامل البيولوجية.

١٢٠ - تحتوي جميع وسائل استشعار العوامل البيولوجية على مكونين: مادة بيولوجية مثبتة كإنزيم أو جسم مضاد أو خلية بكاملها توصل بعنصر ناقل أو مولد للإشارات. وعندما ترتبط المادة البيولوجية المثبتة أو تتفاعل مع المادة التي يجري الكشف عنها فإن الناتج ينقل إلى محول الطاقة. ومهمة هذا الجهاز هي أن يحول المعلومات التي يتسلمها من المادة البيولوجية إلى إشارة (تيار كهربائي أو حرارة أو ضوء). وترصد معدات تجهيز البيانات رد الفعل بتحديد الإشارة وتقديم النتائج إلى المشغل في غضون ثوان أو دقائق، وهذا يتوقف على طبيعة البيانات الواردة.

١٢١ - وهناك نوعان محددان من أجهزة استشعار العوامل البيولوجية جديران بالوصف. الأول هو جهاز استشعار العوامل البيولوجية الكهركيميائي. في هذا الجهاز تكون جزيئات الاستشعار وهي غالباً إنزيمات، مثبتة في أعلى المسبار أو مثبتة في مكانها بواسطة غشاء. وتتفاعل جزيئات الاستشعار مع المواد التي يجري الكشف عنها، مولدة إشارة كهربائية تتناسب مع التركيزات المكتشفة. واعتماداً على جزيئات الاستشعار، يمكن تصميم جهاز الاستشعار بحيث يستجيب لطائفة من المواد المتفاعلة، من مادة كيميائية محددة إلى مجموعات كاملة من المركبات.

١٢٢ - النوع الثاني هو جهاز الاستشعار المناعي. وهو يتكون من عنصرين - جسم مضاد وعنصر التعرف الجزيئي. والجسم المضاد له القدرة على الارتباط الانتقائي بمولدات المضادات (الانتيجينات)، التي يمكن نظرياً أن تكون أي مادة من طائفة كبيرة من المواد المختلفة، بما فيها الجزيئات البيولوجية والعقاقير، والبكتيريا، والفيروسات والمواد الخلوية. وتعكس الإشارة والمشاهدة تفاعل الجسم المضاد - ومولد الضد بطريقة كمية.

١٢٣ - ولغرض الاستكمال يمكن تقديم وصف موجز لثلاثة أنواع إضافية من أجهزة استشعار العوامل البيولوجية. ومع أنه لا يبدو أن لها تطبيقات فورية على الأمن البيولوجي وتحديد الأسلحة، إلا أن هذا الوضع قد يتغير في المستقبل. الأول هو جهاز الاستشعار الضوئي الذي يستجيب لسلوك الضوء الذي يمر في محلول الاختبار، مسجلاً ظواهر مثل امتصاص الضوء أو تفلوره، وتشتت الضوء أو القياس الطيفي. وباستخدام أطوال موجبة مختلفة يمكن الكشف عن العدد من الجسيمات المراد الكشف عنها. وإن أجهزة الاستشعار الضوئية مفيدة بصورة خاصة في المختبرات الإكلينيكية. والنوع الثاني هو جهاز استشعار عوامل بيولوجية كهربائي ضغطي. في هذا الجهاز تستجيب الجزيئات المستشعرة للمادة المراد الكشف عنها باهتزازات ميكانيكية يمكن، بدورها، أن تترجم إلى إشارات كهربائية تتناسب مع كمية المادة. أما النوع الثالث فهو المستقبل الكيميائي. ويكون جهاز الاستشعار البيولوجي في هذه الحالة في واقع الأمر مجمعة جزيئات بيولوجية تشترك في مهام فسيولوجية، مثل الشم والذوق، وفي المسارات الكيميائية البيولوجية الأنصبه والمحايدة. وقد أظهرت أجهزة استشعار العوامل البيولوجية التي تستخدم بنى سليمة للاستقبال الكيميائية من مصادر طبيعية، مثل القشريات والأسماك، استجابات كمية للأحماض الأمينية والهرمونات، والنيوكليدات والتوكسينات.

١٢٤ - والمزايا الرئيسية لأجهزة استشعار العوامل البيولوجية على أجهزة الاستشعار التقليدية هي أنها تعطي النتائج بسرعة أكبر، ويمكن أن تكون أكثر حساسية وأكثر انتقائية. فعلى سبيل المثال، في التحكم في العمليات البيولوجية الصناعية، تتيح أجهزة الاستشعار البيولوجي للفنيين والمهندسين رصد تفاعلات معقدة آتيا عند الاقتضاء، لتعديل معدلات سير التفاعلات لبلوغ الكمية القصوى للإنتاج. وفي البيئة، يمكن استخدام أجهزة الاستشعار البيولوجي للكشف عن الملوثات في الهواء والتربة والماء وتتبع انتشارها من مصادرها، بما في ذلك المصانع، والآلات الزراعية ووحدات التخلص من النفايات وما إلى ذلك. ومع تقدم التكنولوجيا سوف يتم تطوير أجهزة غير مكلفة لاستشعار العوامل البيولوجية، إلى الحد الذي يمكن فيه التخلص منها بعد استعمالها لمرة واحدة.

١٢٥ - وهناك أيضا مساوئ وتكاليف في استخدام هذه الأجهزة. ففي هذه المرحلة من تطورها من الضروري أن يستخدمها فنيون من ذوي التدريب العالي، وخاصة في الميدان. ويمكن أن تتعطل بسهولة، فعلى سبيل المثال يمكن أن يؤدي وجود بعض المواد الكيميائية في البيئة إلى إتلاف عنصر الاستشعار أو تدميره. كما أن بعض أنواع هذه الأجهزة، التي يمكن أن تكون غالية الثمن، لا يمكن استعمالها بصورة متواترة، ومثال على ذلك، أنه حالما يكشف عنصر الاستشعار عن وجود مادة مستهدفة، يحدث تفاعل كيميائي يتعين بعده استبدال عنصر الاستشعار التالف.

تحليل الحمض النووي

١٢٦ - إن كل شكل من أشكال الحياة يحتوي على ترتيب معين في تكوينه الجيني يكون مميذاً بذلك الكائن الحي؛ ولذلك، يمكن، من الناحية النظرية، تحديد أصل أي تسلسل جيني. فعلى سبيل المثال، إذا قام مفتشو اللجنة الخاصة بجمع عينات من أوعية والتجفيف المحتوية على مادة جينية، فإن تحليلها إذا أُجري بطريقة مناسبة يمكن من حيث المبدأ أن يحدد الكائن الحي الذي ترجع إليه هذه المادة الجينية.

١٢٧ - غير أنه من ناحية عملية، كثيراً ما تنشأ صعوبات. وهناك مشكلتان تواجهان بصورة خاصة، الأولى أن كمية المادة الجينية الموجودة في العينة قد تكون صغيرة جداً. وبما أن الطرق القياسية التي تستخدمها المختبرات المرجعية تتطلب عادة كميات من المادة المحللة تتجاوز مليغرامات أو، في بعض الحالات، غرامات، فإنه لا يمكن تحليل الكميات الصغيرة بصورة حاسمة. ثانياً إن الغالبية الكبيرة من الكائنات الحية الصغيرة الموجودة في الطبيعة لم تحدد ولم تصنف وراثياً. حتى أن أصغر عينات التربة تحتوي على بلايين الكائنات الحية الصغيرة، ويستطيع علماء الأحياء المختصون في المتعضيات الدقيقة التعرف على ٥ في المائة فقط منها. وبالتالي، فإن معظم المادة الجينية الموجودة في العينات البيئية والعينات الأخرى ستكون غير معروفة، وسوف يواجه المحللون صعوبة في تحديد أصلها.

١٢٨ - يمكن استخدام ثلاث تقنيات متقدمة للتكنولوجيا البيولوجية للتغلب على الصعوبات المرتبطة بتحليل العينات، وخاصة العينات البيئية: التضخيم بتفاعل البوليميريز المتسلسل، والتحليل بتعدد أطوال الأقسام الناتجة من قصر جزيء الحمض النووي الريبوزي المنقوص الأوكسجين والتصنيف الريبوزي.

١٢٩ - وباختصار فالتضخيم لتفاعل البوليميريز المتسلسل هو طريقة لتضخيم المادة الوراثية الموجودة في عينة ما؛ أي أنه يمكن لنسخة وحيدة من قطعة ذات تتابع تكويني معين من جزئ الحمض النووي الريبوزي المنقوص الأكسجين أن تستنسخ ملايين المرات. وقد استحدثت مجموعة من التقنيات المختلفة لتفاعل البوليميريز المتسلسل^(٤٢)، ولكنها جميعا تعمل وفقا للمبدأ نفسه. فيبدأ القائم بالتحليل التفاعل بأن يضيف إلى العينة زوج من قطع صغيرة مخلقة ذات تتابع تكويني معين من جزئ الحمض النووي الريبوزي المنقوص الأكسجين والتي تسمى بادئات، وترتبط بقطع ذات تسلسل تكويني معلوم على كلا جانبي جزئ الحمض النووي الذي يراد تضخيمه. وخلال التفاعل الذي يلي ذلك، تتكون نسخة من القطعة ذات التسلسل التكويني المراد. ويكرر التفاعل حتى يصبح عدد نسخ جزئ الحمض النووي الريبوزي المنقوص الأكسجين كافيا لتحليله بالتقنيات المعتادة. وعادة، تفصل منتجات التضخيم بالتفريد الكهربائي، ويحدد التسلسل التكويني للمنتجات المفصولة ويقارن التسلسل التكويني للأجزاء الناتجة بالتسلسلات التكوينية المعروفة المخزنة في مصرف بيانات.

١٣٠ - وبالرغم من أنه لا يمكن إجراء التحليل بتفاعل البوليميريز المتسلسل إلا على الحمض النووي الريبوزي المنقوص الأكسجين، ويمكن أيضا تضخيم الحمض النووي الريبوزي في جينومات الفيروس ذي الحمض النووي الريبوزي إذا أدخل تعديل على التقنية. فإذا ظن القائم بالتحليل أن الحمض النووي الريبوزي قد يكون موجودا في عينة ما، فالخطوة الأولى هي معالجته بإنزيم النسخ العكسي "ريفيروس ترانزسكريبتيز"، الذي ينتج نسخة من الحمض النووي الريبوزي المنقوص الأكسجين المقابل للحمض النووي الريبوزي. ويمكن بعد ذلك تضخيم النسخة الناتجة باستخدام تفاعل البوليميريز المتسلسل.

١٣١ - وفي تحليل اختلاف أطوال الأقسام الناتجة من القص الإنزيمي "restriction" لجزئ الحمض النووي الريبوزي المنقوص الأكسجين تضاف إلى العينة بعض الإنزيمات التي تكسر جزئ الحمض النووي إلى أقسام ذات تسلسل تكويني معين ويجرى على المخلوط الناتج من التفاعل عملية التفريد الكهربائي لكي يتسنى فصل الأقسام ذات الأحجام المختلفة. ونمط الأقسام، الذي يكون مميزا لكل نوع من الكائنات، يطلق عليه في العادة "بصمة" للمادة التي يجري تحليلها أو بعبارة أكثر دقة، البصمة أو الجانبية الوراثية. وبعد ذلك يقارن النمط الناتج من المادة التي أجري تحليلها مع أنماط معروفة مخزنة في قاعدة بيانات. وطريقة تحليل اختلاف أطوال أقسام الجزئ الناتجة من القص الإنزيمي الفلورية مفيدة في التحليل السريع عندما يكون لدى القائم بالتحليل فكرة صحيحة إلى حد كبير عن المواد التي يمكن أن تكون موجودة في عينة ما.

١٣٢ - وثمة شكل آخر للتحليل بالطريقة السابقة هو التصنيف الريبوزي. ويبدأ التصنيف الريبوزي بأن يقوم المحلل بتفكيك (إذابة) الخلايا التي تتكون منها العينة، ثم يقوم بتقطيع جزئيات الحمض النووي الريبوزي المنقوص الأكسجين المنفردة من الخلايا المذابة إلى أقسام بواسطة أحد إنزيمات القص. ويستخدم القائم بالتحليل بعد ذلك التفريد الكهربائي في وسط هلامي لفصل الأقسام الناتجة وفقا لوزنها الجزيئي. وبعد ذلك تهجن الأقسام مع مجسات من جزئ الحمض النووي الريبوزي المنقوص الأكسجين وتضاف مادة

ذات وميض كيميائي. وتستخدم كاميرة رقمية لأخذ الصور الومضية للأقسام، وتمر الصور بعد ذلك في سلسلة من الخوارزميات المعاييرة المضبوطة بالنسبة لأدلة ذات وزن جزيئي معروف.

١٣٣ - وثمة آلة من طراز أولي تستخدم التصنيف الريبوزي معروضة بالفعل في الأسواق. والآلة المسماة بالطابعة الريبوزية، والتي استحدثتها شركة كوايكون في ولمنجون بولاية ديلاوير بالولايات المتحدة، تستخدم في الزراعة للكشف على العوامل المرضية البكتيرية التي تهاجم الحيوانات وتحديد هويتها. ويعمل حاسوب النظام ببرمجيات تمكنه من القيام بسرعة بمقارنة أنماط الكائنات المجهولة بأنماط لكائنات معروفة مخزنة في قاعدة البيانات. وإذا وجد نمط متوافق، يكون تشخيص الكائن قد أنجز. وتطبع النتائج بشكل تلقائي وتخزن في قاعدة البيانات للرجوع إليها مستقبلا. وبالنسبة لمعظم أنواع البكتيريا، يمكن إنجاز التحليل في مدة ثماني ساعات^(٤٣).

١٣٤ - وتقنيات تحليل الأحماض النووية حساسة ومتخصصة؛ أي يمكن تحديد كميات صغيرة جدا من الحمض النووي الريبوزي المنقوص الأكسجين في العينات البيئية أو الطبية بدرجة عالية من الدقة. ومع ذلك، فهذه الطرق صعبة في الأداء ويجب إجراء الاختبارات بعناية. وعلى ذلك، فهي تتطلب خدمات اخصائيين تقنيين أو علماء حاصلين على تدريب رفيع المستوى. وإضافة إلى ذلك، فيجب استخدام جواهر كشافة بيوكيميائية نقية ومكلفة حتى تحدث التفاعلات، كما تلزم معدات متطورة للتحليل. ولهذه الأسباب، لا يمكن استخدام هذه التقنيات في الوقت الحالي إلا في ظروف المختبر. ولن يصبح من الممكن إجراء تحليل الأحماض النووية بشكل روتيني في الميدان باستخدام معدات محمولة إلا بعد مرور عدة سنوات. وعلاوة على ذلك، فبالرغم من أن عدد التكوينات المتسلسلة للحمض النووي الريبوزي المنقوص الأكسجين المسجلة في قواعد البيانات يزيد بسرعة، فما زال من اللازم تحديد صفات أعداد أكبر من ذلك بكثير قبل أن يمكن إجراء الكشف عن الكائنات الدقيقة في البيئة وتحديد نوعها على نطاق واسع.

قياس الطيف الكتلي

١٣٥ - قياس الطيف الكتلي هو تقنية تقليدية شائعة الاستعمال يستخدمها الكيميائيون والفيزيائيون لتحديد صفات الجزيئات الصغيرة. ويبدأ قياس الطيف الكتلي بقيام مشغل الجهاز بتجزئ المادة المراد تحليلها فيزيائيا إلى أيونات عليها شحنة كهربائية، ولكل منها كتلة مميزة. وتحقن الأيونات وهي في الطور الغازي في الجهاز وتقاس المسافة التي تقطعها في مجال كهربائي (أو قد يقاس بدلا من ذلك الزمن الذي يستغرقه أيون ما ليتحرك مسافة محددة). والمسافة التي يتحركها أيون ما، أو مقدار الزمن الذي يستغرقه ليتحرك مسافة ما، يتناسب مع كتلته. والصورة المميزة للعيينة الناتجة من قياس الطيف الكتلي تتكون من نمط توزيع الأيونات المكونة لها، والذي يمكن أن يقارن بصور معروفة مميزة لمواد قُدرت تجريبيا. وقد تُستخدم الحواسيب لتسهيل المقارنة بين الصورة المميزة للمادة المجهولة وصور مميزة مخزنة في قواعد البيانات^(٤٤).

١٣٦ - وعادة ما تكون معدات قياس الطيف الكتلي كبيرة الحجم، ويصعب تحريكها ومنخفضة الكفاءة بالنسبة لاستهلاك الطاقة ومع ذلك فالتكنولوجيا تتطور بسرعة. وثمة ثلاثة تحسينات ذات صلة بهذا التقرير. أولاً، استُحدثت طرق في السنوات القليلة الماضية تجعل من الممكن استخدام قياس الطيف الكتلي لتحليل الجزيئات الكبيرة بما فيها البروتينات والحمض النووي الريبوزي المنقوص الأكسجين. وثانياً، أُجري الكثير من العمل لتقليل حجم المعدات اللازمة لقياس الطيف الكتلي، إلى أدنى حد؛ وقد رُكبت بالفعل أجهزة محمولة في سيارات جيب ونُقلت إلى الميدان لإجراء تحليل العينات في الموقع. وثالثاً، يجري وضع برامج لتشغيل الحاسوب تزيد بدرجة كبيرة من قدرة المحللين على تفسير البيانات الناتجة من قياس الطيف الكتلي.

١٣٧ - ومن أمثلة التقنيات المستحدثة مؤخراً التي تجعل من الممكن استخدام قياس الطيف الكتلي في تحليل الجزيئات الكبيرة هو التأين بالليزر بمساعدة وطاء. وباختصار، لأداء هذا التحليل تُرسب العينة على مادة عضوية مناسبة. ثم توجه طاقة في شكل ليزر إلى المادة المرسبة، مما يسبب انفصالها في أيونات محررة من الوطاء الذي كانت عليه. ويمكن عندئذ حقن هذه الأيونات في الجهاز على النحو الذي سبق وصفه^(٤٥).

١٣٨ - وكما هو الحال بالنسبة للمواد الأخرى، فإن التشخيص السليم للصور المميزة التي ينتجها قياس الطيف الكتلي هو أمر أساسي. ولما كانت الأيونات المحتوية على مواد بيولوجية/أو تكسينية تحتوي عادة على كثير من المادة العضوية الغريبة عنها، فهناك حاجة إلى التخلص بالمرشحات من الصور المميزة التي تنتجها هذه المواد. وعلاوة على ذلك، فنظراً لأن التكوين الكيميائي للمواد البيولوجية والتكسينية يميل إلى التعقيد، فإن الصور المميزة لها تكون معقدة أيضاً. ولهذه الأسباب، يلزم إجراء المزيد من البحوث والتطوير لتوليد برامج للحاسوب تستبعد تشويش الخلفية وتنتج أنماطاً يمكن التعرف عليها من العينات التي تحتوي على بروتينات ويجري تحليلها بقياس الطيف الكتلي. ويستلزم هذا أيضاً قاعدة بيانات كبيرة من الصور المميزة للبكتيريا والفيروسات والتكسينات المعروفة.

خاتمة

١٣٩ - يلزم أن يكون المشتغلون بالأمن البيولوجي وتحديد الأسلحة على استعداد لاستخدام تقنيات حيوية متقدمة، حتى ولو كانت هذه الأساليب لا يمكن استخدامها بسهولة في الوقت الحالي. والتكنولوجيا الحيوية الحديثة تتقدم بسرعة: فتقنيات البحوث المستخدمة في المختبرات ستصبح متاحة للأعمال الميدانية في المستقبل القريب. وستعزز أساليب الكشف هذه قدرة الحكومات على حماية مواطنيها من الأخطاء البيولوجية وتحسين مصداقية وفعالية جهود تحديد أسلحة الحرب البيولوجية.

١٤٠ - وبالنسبة للأعمال الرامية إلى حماية المجتمعات السكانية العامة من أخطار الحرب البيولوجية، فيمكن تحقيق مستوى رفيع من الحماية إذا استطاعت سلطات الدفاع المدني نشر أجهزة استشعار قادرة على الكشف عن العوامل المسببة للأمراض (الباثوجينات) والتكسينات في الوقت الحقيقي. وينبغي أن تفتقر هذه

القدرة بالتأهب في ميدان الصحة العامة، بما في ذلك على سبيل المثال، بناء شبكة اتصالات، وتخزين العقاقير العلاجية والمعدات اللازمة لإزالة التلوث. وبالنسبة للأغراض العسكرية، فإن القوات المنشورة في مواقع الخطوط الأمامية ومناطق الحشد الخلفية على حد سواء سيتحسن مدى تأهبها للدفاع عن نفسها ضد الأسلحة البيولوجية إذا كان الجنود مزودين شخصيا بأجهزة استشعار عوامل حيوية تقوم بإطلاق صوت تحذيري إذا كشفت عن عوامل مسببة للأمراض أو تكسينات محمولة على هيئة رذاذ في الهواء في المنطقة المجاورة لحاملها.

١٤١ - ولسوء الحظ، فأجهزة استشعار المواد البيولوجية الموجودة حاليا لا تستطيع الكشف إلا عن عدد صغير جدا من الباثوجينات أو التكسينات، ولا تعمل في الوقت الحقيقي. والأعم من ذلك هو أن هناك نقصا خطيرا في خطط الطوارئ التي تعالج الأحداث البيولوجية على جميع صعد الحكومة في معظم البلدان. وليس من قبيل المبالغة القول بأن معظم دول العالم ناقصة التأهب بالنسبة لمواجهة الأخطار البيولوجية، سواء نبتت من الطبيعة أو من المختبر.

١٤٢ - ونظرا لأن الاكتشاف المسبق لا يمكن تحقيقه في الوقت الحالي، فإن أول دلالة على وقوع حدث بيولوجي هو عندما يتقدم عدد كبير من الأشخاص الذين مرضوا فجأة لمستشفيات الطوارئ أو مواقع المساعدة العسكرية. وعندئذ يواجه المشتغلون المدنيون و/أو العسكريون في مجال الصحة أزمة فورية في الوقت الذي يكونون فيه إلى حد بعيد غير متأهبين للتعامل معها، كما أن الخسائر من المصابين والقتلى ستكون عالية. وعلى سبيل المثال، إذا كان العامل المستخدم هو بكتيريا "باسيللوس انثراكيس" وهو العامل المسبب لمرض الجمرة، فإن العلاج السليم بالمضادات الحيوية سيتعين إعطاؤه للأشخاص الذين تعرضوا له في خلال ساعات قليلة من ظهور الأعراض لأول مرة، وإلا سيتجاوز معدل الوفيات نسبة ٦٠ في المائة^(٤٦). ولعلاج المصابين بشكل سليم، سيحتاج القائمون على توفير الرعاية الصحية إلى وسيلة للتشخيص السريع للعامل المسبب للمرض وإمدادات كافية من المضادات الحيوية المناسبة.

١٤٣ - والأساليب المستخدمة حاليا في مختبرات الميكروبيولوجيا لا تتوصل إلى النتائج بسرعة. فعمل مزارع البكتيريا وتشخيصها يستغرق ٢٤ ساعة على الأقل؛ وقد يلزم أكثر من ثلاثة أسابيع لتشخيص فيروس ما، وستة أسابيع أو أكثر لتشخيص توكسين ما. ومن الواضح أن هناك حاجة في مجال الصحة العامة لتكنولوجيات يمكنها الكشف بسرعة عن الباثوجينات والتكسينات وتشخيصها.

١٤٤ - ما فتئت تكنولوجيات الكشف والتشخيص الجديدة تُستحدث في السنوات القليلة الماضية وهي قريبة من التطبيق. وثمة تكنولوجيتان واعدتان إلى حد بعيد: التحليل المعزز بقياس الطيف الكتلي والتطبيقات القائمة على المصفوفات.

١٤٥ - وبالرغم من أن المنهجية التقليدية لقياس الطيف الكتلي لها عدة عيوب كبيرة تقيد منفعتها كتقنية ميدانية، فأوجه التقدم المذكورة أعلاه قد تتغلب في القريب العاجل على تلك العيوب. وقد استُحدثت

تقنيات تسمح بتحليل البكتيريا والتوكسينات بقياس الطيف الكتلي؛ كما أن معدات وأدوات التحليل بقياس الطيف الكتلي يجري تصغير حجمها إلى أدنى حد وجعلها متينة بدرجة كافية لتحمل الظروف الميدانية؛ ويجري العمل لتحليل الباثوجينات والتوكسينات المعروفة بقياس الطيف الكتلي، وتسجيل الصور المميزة لهذه العوامل في قواعد بيانات واستحداث برمجيات للحواسيب لتشخيص الصور المميزة مقابل خلفية "ملينة بالتشويش". وأوجه التقدم هذه تتلاقى في نقطة واحدة. ففي غضون خمس سنوات ستكون الأجهزة المتنقلة للتحليل بقياس الطيف الكتلي متاحة بحيث تكون مجهزة خصيصا لتحليل مواد الحرب البيولوجية ومتصلة عن بُعد بقواعد بيانات للتمكين من المقارنات الفورية للصور المميزة للمواد المجموعة في الميدان مع صور مميزة معلومة ومخزنة. وسيصبح المحللون قادرون على إعداد وتحليل عينات بيئية وطبية في أقل من ٣٠ دقيقة وعمل تشخيص محدد للباثوجين أو التوكسين المسبب في أقل من ساعة واحدة.

١٤٦ - وفي الوقت الحالي، لن يستطيع مسؤولو الصحة العامة والقائمون على توفير الرعاية الصحية لدى استجابتهم لحدث بيولوجي معرفة العامل أو العوامل المسببة للحالة المرضية المنتشرة. وكنتيجة لذلك، فالقدرة على تشخيص عدد كبير من الباثوجينات والتوكسينات في الحال في تجربة وحيدة وسريعة من شأنه أن يكون مفيدا بدرجة هائلة. ومن التقنيات الواعدة استخدام مصفوفة من أجهزة استشعار العوامل الحيوية، من قبيل الأجسام المضادة، في أشكال دقيقة من قبيل الرقائق الدقيقة^(٤٧). ومن الممكن تثبيت عدد من الأجسام المضادة على سطح رقائق دقيقة يمكن غمسها في المحلول المحتوي على المادة المراد تحليلها. وينتج حدوث ارتباط بين الجسم المضاد ومادة ما من المواد المولدة للأجسام المضادة (انتيجين) إشارة يمكن نقلها بشكل مرئي لمشغّل الجهاز. ولما كانت تفاعلات الأجسام المضادة مع المواد المولدة لها متخصصة بدرجة عالية، فحدوث الارتباط سيكشف بدقة المادة المولدة للجسم المضاد. وبالرغم من أن اللعب المحتوية على المصفوفات موجودة بالفعل، فهناك مشاكل تتعلق بتحضير العينة ما زال يتعين التغلب عليها قبل أن يمكن استخدامها بشكل يعتمد عليه في الميدان. ولكن من المرجح التغلب على هذه المشكلة في غضون خمس سنوات.

١٤٧ - وخلافا للحالات الحادة من قبيل الهجمات البيولوجية، حيث يكون الكشف والتشخيص الفوريان للعامل المسبب لهما أقصى أولوية، ففي حالة تحديد الأسلحة يكون أمن العينات المجموعة ودقة تحليلها هما أهم الاعتبارات. فيجب ضمان أمن العينات خلال نقلها وتخزينها، وإلا فإن قيمتها كأدلة ستتضاءل أو تختفي. ويكون ذلك هو الحال أيضا بالنسبة للدقة في التحليل؛ فإذا كان من غير الممكن تقديم تأكيدات لمن سيقومون بالحكم على حالات الامتثال بأن التحليل الذي أجري على العينات كان دقيقا ومتخصصا، فالنتائج المأخوذة من التحليل لن تُقبل كأدلة.

١٤٨ - وأحد سبل علاج المشاكل المتعلقة بالعينات هي اختبار العينات في أماكن جمعها. ويساعد ذلك على تخفيف وجه آخر من أوجه القلق هو كيفية تأمين أية معلومات متعلقة بحقوق الملكية قد تحتويها العينات المجموعة عند تفتيش المرافق. فإذا قام المفتشون العاملون في نظام الامتثال لاتفاقية الأسلحة الكيميائية وفي المستقبل أولئك العاملون في نظام الامتثال لاتفاقية الأسلحة البيولوجية أيضا، بتحليل

العينات في الموقع، فإن هذه المشكلة ستتضاءل. ومع ذلك فإجراء الاختبارات في الموقع، سيلزم أن يقوم المفتشون بإحضار جميع المعدات والجواهر الكشفية والإمدادات اللازمة. فما هي المواد والمعدات التي سيحتاجونها للقيام بالاختبارات المناسبة في الموقع؟

١٤٩ - وإذا نظرنا إلى تجربة لجنة الأمم المتحدة الخاصة، التي تتضمن جمع وتحليل مئات كثيرة من العينات من المرافق، فسنرى أنه إذا كانت هناك مادة مثيرة للشكوك في عينة ما فمن المرجح أن توجد بكميات متناهية الصغر. ولهذا السبب، سيكون من المهم أن يستطيع المفتشون إجراء تفاعل البوليمير المتسلسل لتضخيم القطع الصغيرة جدا من جزيء الحمض النووي الريبوزي المنقوص الأكسجين. وعند إنجاز التضخيم، يمكن تحليل الناتج بطرق التقدير المناهية المعيارية. ومع ذلك فكما ذكر أعلاه، ففي غضون سنوات قليلة ستزداد ترسانة التقنيات التحليلية المتاحة للمفتشين زيادة كبيرة عندما تتبين فعالية الأدوات المحمولة لقياس الطيف الكتلي. وليس من غير المعقول الاعتقاد بأنه عندما يتم إنشاء نظام الامتثال لاتفاقية الأسلحة البيولوجية، فإن المفتشين العاملين فيه سيكون باستطاعتهم استخدام الكثير من هذه التقنيات في الميدان.

١٥٠ - وختاماً، فخلال العقد الماضي، حقق المجتمع الدولي أوجه تقدم كبيرة في مراقبة انتشار الأسلحة النووية، بما في ذلك استمرار معاهدة عدم انتشار الأسلحة النووية ووضع معاهدة الحظر الشامل للتجارب النووية (التي لم يبدأ سريانها بعد). وإذا لم تستطع دولة ما أو مجموعة إرهابية ما الحصول على الأسلحة النووية فقد تلجأ إلى أسلحة بديلة للدمار الشامل ولا سيما الأسلحة الكيميائية أو البيولوجية. ومع ذلك، فالحصول على أسلحة كيميائية يتضمن أيضاً عمليات مكلفة ومتقدمة تقنياً (وإن كانت أقل مما يلزم في حالة الأسلحة النووية) ويستتبع بناء مرافق متخصصة يمكن كشفها بسهولة نسبياً بالوسائل التقنية الوطنية. وإضافة إلى ذلك، فمعظم المركبات الأولية اللازمة لإنتاج العوامل المستخدمة كأسلحة كيميائية هي غير شائعة بدرجة كبيرة ولذلك فإن استيرادها أو تصديرها، ولا سيما بكميات كبيرة، يمكن اكتشافه ورصده من جانب دوائر الاستخبارات الوطنية والأمانة التقنية لمنظمة حظر الحرب الكيميائية، التي تعمل بموجب اتفاقية الأسلحة الكيميائية. ولما كان الزعماء العدوانيون للدول أو المجموعات دون الوطنية من المرجح أن يجدوا صعوبة في الحصول على أسلحة نووية أو كيميائية، فقد يسعى بعضهم للحصول على أسلحة بيولوجية. وكما سبق ذكره وتحليله في هذا الفرع، فإن تقنيات البيولوجيا الجزيئية يمكن أن تكون أدوات مفيدة في رصد الامتثال للأنظمة الدولية، والكشف عن استحداث عوامل الحرب البيولوجية غير المشروعة وفي محاولات التحديد السريع للعوامل المسببة لانتشار الأمراض. ومع النمو السريع للتكنولوجيا الحيوية وتطورها بصفة عامة، من المؤكد أن تقوم التقنيات البيولوجية الجزيئية بدور متزايد في المحاولات التي تضطلع بها الحكومات والوكالات الدولية لحماية سكان العالم من الأمراض وردع انتشار الأسلحة البيولوجية.

١٥١ - وبالطبع، فتقنيات البيولوجيا الجزيئية المتطورة لها تطبيقات تتجاوز تحديد الأسلحة. وقد أثمرت بحوث البيولوجيا الجزيئية نتائج يجري تطبيقها في الدول المتقدمة النمو والنامية على حد سواء لأغراض تتعلق بتحسين الإنتاج في الزراعة وتربية الحيوان، وتعزيز الإنتاج الصناعي بتقنيات خالية من الملوثات،

وعلاج البيئات البحرية والأرضية الملوثة، واستحداث مركّبات صيدلانية جديدة لم تكن لترى النور أبدا إذا لم يكن متوفرا سوى التقنيات الكيميائية التقليدية، ولأغراض أخرى كثيرة. ولذلك، بالنسبة لتقنيات من قبيل الاستنساخ الجزيئي للجينات، ونقل الجينات، والتغييرات الوراثية لأجنة الحيوانات وتقاوي النباتات، ونقل الأجنة، والمعالجة الوراثية للكائنات الدقيقة للكرش، وبناء الخلايا الناتجة من الهندسة الوراثية، من قبيل الأجسام المضادة أحادية المنشأ اللازمة لمركبات التشخيص المناعي والوقاية المناعية، واستحداث مجسات وراثية من الأهمية بمكان أن نضع نصب أعيننا أنه يجري استخدامها وسيجري استخدامها بمعدل متزايد، في عمليات بحثية وتطويرية وإنتاجية موجهة للأغراض السلمية لمنفعة جميع شعوب العالم. ومع وضع هذه الملاحظة في اعتبارنا، من المهم جدا أن تعمل الدول الأطراف في اتفاقية الأسلحة البيولوجية جنبا إلى جنب نحو تنفيذ المادة العاشرة التي تحت الدول التي اختارت أن تنتمي إلى المعاهدة على التعاون دوليا في مجال الميكروبيولوجيا التطبيقية للأغراض السلمية. ولسوء الحظ فقد أهملت الدول الأطراف حتى الآن تنفيذ المادة العاشرة، ربما بسبب عدم رغبتها في توفير التمويل اللازم. وربما يمكن التغلب على هذه العقبة إذا جرى توضيح أن دعم الأنشطة التعاونية التي تنص عليها المادة العاشرة في البحوث الموجهة للأغراض السلمية يمكن أن يساعد في منع الباحثين الذين قد يتعرضون بغير ذلك للإغراء من القيام ببحوث مربحة موجهة لصنع الأسلحة غير الشرعية.

الحواشي

- 1 Faga, Martin (First Secretary of the Air Force for Space and Director of the National Reconnaissance Office), "Prepared remarks to the National Space Club", 29 November 1989, p. 2.
- 2 Scott, W. B., "Army, Navy space resources focus on tactical support", Aviation Week and Space Technology, 1 September 1997, vol. 147, No. 9, pp. 56-57.
- 3 Presidential directive on GPS, Office of Science and Technology Policy, National Security Council, 29 March 1996, Washington, D.C.
- 4 Gilbert, C., "The end of Selective Availability: a signal difference, or just a different signal?", Mapping Awareness, vol. 10, No. 6, July 1996, pp. 30-32.
- 5 Klass, P. J., "New GPS policy attempts to resolve key user issues", Aviation Week and Space Technology, vol. 146, No. 24, 9 June 1997, pp. 42-43.
- 6 Dornheim, M., "Milstar 2 brings new program role", Aviation Week and Space Technology, 16 November 1992, p. 93.
- 7 McCanley, J. F., et al., "Surface valley and geoarcheology of the Eastern Sahara revealed by Shuttle radar", Science, vol. 218, No. 4576, 3 December 1982, pp. 1004-129.
- 8 Covault, C., "NRO radar, SIGINT launches readied", Aviation Week and Space Technology, vol. 147, No. 9, 1 September 1997, pp. 22-24; and "Secret relay, Lacrosse NRO spacecraft revealed", Aviation Week and Space Technology, vol. 148, No. 12, 23 March 1998, pp. 26-28.
- 9 Ibid.
- 10 Cushman, J., "AF seeks invulnerable warning satellites", Defense Week, 16 January 1984, p. 12.
- 11 Pike, J., Lang, S., and Stambler, E., "Military use of space", SIPRI Yearbook 1992, World Armaments and Disarmament, 1992 (Oxford University Press/Stockholm International Peace Research Institute, 1992), pp. 121-146.
- 12 Richelson, J., The U.S. Intelligence Community, (Ballinger: Cambridge, Mass., 1985), pp. 140-43.
- 13 Keirnan, V., "DMSP satellite launched to aid troops in Middle East", Space News, 10 December 1990, p. 6.
- 14 "Sluggers pinch hit Army GPS", Military Space, 24 September 1990, pp. 1-8.
- 15 "Last FLTSATCOM satellite planned for launch September 22", Aerospace Daily, 15 September 1989, p. 466.
- 16 "Satcom gears up for Desert Shield", Military Space, 24 September 1990, pp. 3-5.

- 17 Kierman, V., "Satellite data boosts map quality for US troops", Space News, 15 October 1990, pp. 1, 20.
- 18 Ferster, W., "U.S. Space priorities unveiled", Space News, 13-19 April 1998, vol. 9, No. 15, pp. 3, 20.
- 19 "U.S. Air Force launches laser design competition", Space News, 9-15 March 1998, vol. 9, No. 10, p. 17; and Ferster, W., "Partners TRW, Lockheed Battle for test laser", Space News, 20-26 April 1998, vol. 9, No. 15, p. 8.
- 20 Zalgo, S. J., "Re Star Wars", Jane's Intelligence Review, May 1997, vol. 9, No. 5, pp. 205-208.
- 21 Gertz, W., "Yeltsin letter reveals anti-satellite weapons", The Washington Times, 7 October 1997.
- 22 Fulghum, D. A., "Airborne laser tested, weighed for new missions", Aviation Week and Space Technology, 27 October 1997, vol. 147, No. 17, p. 26.
- 23 Aviation Week and Space Technology, 2 March 1997, vol. 148, No. 8, p. 21.
- 24 Jasani, B., and Mara, S., "The Western European Union Satellite Centre", Journal of the British Interplanetary Society, June 1993, vol. 46, No. 6, pp. 209-211.
- 25 Peaceful and non-peaceful uses of space - Problems of definition for the prevention of an arms race, Jasani, B., (ed.) 1991, (UNIDIR, Geneva, and Taylor and Francis, London, 1991).
- 26 High-Level Experts Group on the Social Aspects of New Technologies (1988), Paris.
- 27 Wriston, W. (1997). "Bits, bytes, and diplomacy", Foreign Affairs, vol. 76, No. 5, pp. 172-181.
- 28 Dipert, B. (1997). "Trends toward faster, bigger, lower power designs emerge at ISSCC", Electrical Design News, vol. 42, No. 6, pp. 16-18.
- 29 Nua Internet Surveys (1998):
<http://www.nua.ie/surveys/how-many-online/index.html>.
- 30 Chiariglione, L. (1977). "Special Issue of Image Communication on MPEG-4", Image Communication, vol. 9, No. 4, pp. 295-304.
- 31 Lamarre, L. (1998). "The digital revolution", Electronic Power Research Institute Journal, vol. 23, No. 1, pp. 26-35.
- 32 Munro, N. (1996). "Sketching a national information warfare defense plan", Communications of the Association for Computing Machinery, vol. 39, No. 11, pp. 15-18. Fraumann, E. (1997) Economic espionage: security missions redefined. Public administration review, vol. 57, No. 4, pp. 303-309.
- 33 Grabosky and Smith (1996), "Fraud: an overview of current and emerging risks", Trends and Issues in Crime and Criminal Justice (Australian Institute of Criminology, November, Canberra).

- 34 Farish, M. (1997). "Evolving solutions", *Engineering*, vol. 238, No. 10, pp. 62-64.
- 35 Fitzgerald, B. (1996). "Formalized systems development methodologies: a critical perspective", *Information systems journal*, vol. 6, pp. 3-23.
- 36 OECD (1997) *Distant Selling in a Global Marketplace: Codes of Conduct*, DAF/CP[97]8, Paris.
- 37 Zilinskas, R. A. (ed.) (1998). *Biological Warfare and Defense in the Era of Molecular Biology* (Boulder, CO: Lynne Rienner Publishers) (in press).
- 38 Zilinskas, R. A. (ed.) (1995). *Symposium of United Nations Biological Weapons Inspectors: Implications of the Iraqi Experience for Biological Arms Control. Politics and the Life Sciences*, vol. 14, pp. 229-262.
- 39 Zilinskas, R. A. (1997), "Iraq's biological weapons: The past as future?" *Journal of the American Medical Association*, vol. 278, pp. 418-424.
- 40 Tucker, J. B. (1998). "Verification provisions of the Chemical Weapons Convention and their relevance to the Biological Weapons Convention", in: Chevrier, M. I., Pearson, G. S., Smithson, A. E., Tucker, J. B. and Woollett, G. R. (eds.) *Biological weapons proliferation: reasons for concern, courses of action*. Report No. 24, pp. 77-105 (Washington, D. C.: the Henry L. Stimson Center).
- 41 Chevrier, M. I. (1998). "Doubts about confidence: the potential and limits of confidence-building measures for the Biological Weapons Convention", in: Chevrier, M. I., Pearson, G. S., Smithson, A. E., Tucker, J. B. and Woollett, G. R. (eds.) *Biological weapons proliferation: reasons for concern, courses of action*, Report No. 24, pp. 53-75 (Washington, D.C.: The Henry L. Stimson Center).
- 42 Innis, M. A., D. H. Gelfand and J. J. Sninsky (eds.) (1995). *PCR Strategies* (San Diego, CA: Academic Press).
- 43 LaBudde, Robert A. Genetic typing, microbial food contaminants USA. *Food Quality*, April 1998. 5-12-1998. (electronic citation).
- 44 Morse, S. S. (1998). "Methods for detecting biological warfare (BW) agents", in: Zilinskas, R. A. (ed.), *Biological warfare and defense in the era of molecular biology* (Boulder, CO: Lynne Rienner Publishers) (in press).
- 45 Claydon, M. A., Davey, S. N., Edward-Jones, V. and Gordon, D. B. (1996). "The rapid identification of intact microorganisms using mass spectrometry", *Nature biotechnology*, vol. 14, 1584-1586.
- 46 Friedlander, A. M. (1997). "Anthrax", in: Sidell, F. R., Takafuji, E. T. and Franz, D. R. (eds.), *Medical aspects of chemical and biological warfare*, pp. 467-478 (Washington, D.C.: Office of the Surgeon General).
- 47 Abramowitz, S. (1996). "Towards inexpensive DNA diagnostics", *Trends in biotechnology*, vol. 14, pp. 397-401.

— — — — —