

# اتفاقية حظر الأسلحة البيولوجية والتكسينية الآثار المترتبة على التقدم في مجالي العلوم والتكنولوجيا



## شكر وتقدير

تلقى هذا المشروع الدعم من وزارة الخارجية والكونغرس البريطاني بموجب منحة صندوق البرنامج الاستراتيجي للجمعية الملكية ولمشروع الكلية البحرية للدراسات العليا بشأن الأنظمة والمفاهيم المتقدمة لمكافحة أسلحة الدمار الشامل (PASC) بواسطة المنحة رقم (N00244-15-1-0039) المقدمة لأكاديمية العلوم الوطنية في الولايات المتحدة، والأكاديمية الدولية لعلم الأمراض (IAP): الشبكة العالمية لأكاديميات العلوم.

لقد صُمم هذا الملخص كسجل يوثق المشكلات التي نوقشت خلال الورشة الدولية المنعقدة خلال الفترة 13 - 15 أيلول 2015. حول التطورات في مجالي العلوم والتكنولوجيا وأثرها على اتفاقية حظر الأسلحة البيولوجية والتكسينية. إن الآراء المذكورة تُعبر عن آراء المؤلفين، واللجنة التنظيمية التي يساندها كادر الأمن البيولوجي والجمعية الملكية، ولا تمثل بالضرورة إجماع آراء المشاركين في ورشة العمل، أو المنظمات الداعمة للمشروع، أو أكاديميات العلوم الـ 107 التي تُشكل الأكاديمية الدولية لعلم الأمراض. كما أن ذكر أسماء أو ممارسات تجارية أو منظمات لا يعني ضمناً إقرارها من جانب حكومتي الولايات المتحدة أو المملكة المتحدة أو غيرهما من الجهات الراعية. لقد كُلف برنامج الأمن البيولوجي (Biosecure) بإصدار المسودة الأولية.

[iapbwg.pan.pl](http://iapbwg.pan.pl)

## المقدمة

تحضيراً للمؤتمر الاستعراضي الثامن، عُقد خلال شهر أيلول 2015 اجتماع في وارسو ضم 72 وفداً من 30 دولة بهدف تحديد الاتجاهات السائدة في مجالي العلوم والتكنولوجيا والمتصلة باتفاقية حظر الأسلحة البيولوجية والتكسينية. وقد نُوه المؤتمر إلى العديد من القضايا ذات العلاقة بالمؤتمر الاستعراضي، وتوصل إلى عدة نتائج شاملة.

# المحتويات

5	المقدمة
6	الآثار المترتبة على التقدم في مجالي العلوم والتكنولوجيا وصلتها باتفاقية حظر الأسلحة البيولوجية والتكسينية
8	متابعة التطورات في مجالي العلوم والتكنولوجيا
9	لقد تعززت القدرة الدولية على التعامل مع الأمراض
9	فهم المرض
9	اكتشاف المرض
9	التشخيص والرصد
10	الوقاية من الأمراض والتخفيف من أثرها ومعالجتها باستخدام اللقاحات والأدوية
12	تحويل التقنية البيولوجية إلى صناعة مستقلة
12	إيصال الأدوية
12	مقاومة المضادات الحيوية
13	الاستجابة للأمراض ودورها والتعافي منها
14	تطورات تُخفف من المخاطر ذات الصلة باتفاقية حظر الأسلحة البيولوجية
	تطورات في مجالي العلوم والتكنولوجيا تُشكّل مخاطر مستقبلية بالنسبة
15	لاتفاقية حظر الأسلحة البيولوجية
15	الحصول على مسببات مَرَضِيَّة أو تكسينات
15	تحسين فوعة مسببات أمراض موجودة طبيعياً
16	التكسينات
16	إنتاج وتخزين العوامل البيولوجية
17	نثر وإيصال العوامل البيولوجية
17	تزايد المخاطر

## المربع رقم 1: أحد الأمثلة على التميز في مجال الإرشاد العلمي المسؤول اجتماعياً (Synbio LEAP)

إنّ برنامج تسريع التميز في مجال القيادة (LEAP) هو عبارة عن برنامج زمالة خارجي مدته سنة. حيث يُشارك في الجولة الواحدة 22 زميلاً في ورشتي عمل خارجيتين، يعمل خلالها الزملاء سوياً على تطوير استراتيجيات لمعالجة أهم التحديات التي تواجه مزاولة البيولوجيا التخليقية، تحت توجيه خبراء عالميين في مختلف التخصصات والقطاعات.

يوفر برنامج تسريع التميز في مجال القيادة (LEAP) للأعضاء إرشاداً ومهارات عملية وشبكة مستدامة بهدف مساعدتهم على تصدّر مستقبل مسؤول اجتماعياً في مجال البيولوجيا الاصطناعية. فهو بمثابة حاضنة للقيادات الناشئة في جميع التخصصات والقطاعات من أجل تطوير استراتيجيات تقنية بيولوجية جديدة تصب في الصالح العام.



### الصورة:

مشاركون في اجتماع (LEAP) في مركز "ويلسون" في العاصمة واشنطن.  
تصوير ستوديو ديفيد صن كونج.

# الآثار المترتبة على التقدم في مجالي العلوم والتكنولوجيا وصلتها باتفاقية حظر الأسلحة البيولوجية والتكسينية\* (BWC)

سوف ينظر المؤتمر الاستعراضي القادم بما استجد منذ المؤتمر الاستعراضي السابع من تطورات تُتيح المجال لأنشطة غير متوافقة مع أهداف وغايات المعاهدة، أو لم تشملها تغطية اتفاقية حظر الأسلحة البيولوجية (المادة رقم 1) أو التفاهات الإضافية التي تم التوصل إليها خلال المؤتمرات الاستعراضية اللاحقة.

الأمر الذي قد يستدعي تمحيص الإنجازات المُحرزة في هذا الميدان قبل انعقاد المؤتمر الاستعراضي التاسع، والذي يؤكد مجدداً على أهمية استحداث عملية مرنة من أجل إجراء مراجعات متواصلة (أنظر الصفحة رقم 7).

تُعتبر التقنية البيولوجية من تقنيات التصنيع العالمية التي تزايد أهميتها يوماً بعد يوم. ولطالما كان تراجع البنى التحتية والقدرات التصنيعية أداة من أدوات الحرب والعصيان والنزاعات المسلحة. وعلى ذلك، فإنّ "الاقتصاد البيولوجي" بحد ذاته هدف محتمل للأسلحة البيولوجية.

تحظر الاتفاقية حالياً الأسلحة التي تُسبب الأذى للإنسان والحيوان والنبات، وينبغي استطلاع ما إذا كانت هناك أية مخاطر تتعلق بأسلحة قد تُسبب الضرر للمعدات أو التجهيزات أو المواد المقترنة بالاقتصاد البيولوجي، ولم تشملها المعاهدات والقوانين القائمة.

لقد لاحظ المؤتمر تزايد ضرورة التثقيف والتوعية بغية الترويج لأهداف وغايات اتفاقية حظر الأسلحة البيولوجية داخل المجتمع العلمي، علاوة على توفير إرشاد مسؤول للباحثين حديثي العهد. وينبغي للدول الأعضاء بذل جهود إضافية، وتعميم "الممارسات المُثلى" رغم وجود بعض الأمثلة على التميُّز في هذا الميدان (أنظر المربع رقم 1).

لم تُسفر مراجعة الأدبيات أو المناقشات التي جرت خلال الاجتماع عن تحديد أية أمثلة ملموسة بشأن مثل هذه التحديات.

ولكن، تم تحديد عدد من السيناريوهات المستقبلية المحتملة التي تستدعي القلق. ومن بين هذه المستجدات، من قبيل المثال، أنّ آلية عمل الأسلحة لم تعد تدل بوضوح على أنها أسلحة "كيميائية" أو "بيولوجية"، حيث المكونات التي تختلف كثيراً عن الأنظمة البيولوجية الموجودة، أو المواد غير العضوية التي تحاكي الوظائف البيولوجية، وتُحدث بالتالي أثراً بيولوجياً.

فيما سبق، كان يسهل تصوّر العواقب التي قد يسفر عنها التقدم الذي تشهده بعض المجالات، مثل التقاء العلوم وتقنية النانو والتصاميم العلاجية. وكان يوسع الدول الأعضاء استباق دراسة تبعات هذه السيناريوهات قبل وقوعها، موفرةً بذلك فرصة لتطوير عمليات الاستجابة ووضع الإجراءات المناسبة.

ونظراً لتزايد سرعة التقدّم بالإضافة إلى احتمالية حدوث إنجازات "غير نمطية" في مختلف مجالات البحوث، فإنه من الصعب تقدير متى يمكن أن تصبح مثل هذه السيناريوهات المحتملة ذات صلة باتفاقية حظر الأسلحة البيولوجية والتكسينية.

\*تويوه: يحتوي هذا التقرير على مصطلحات علمية وتقنية قد لا تكون مألوفة للقراء أو تختلف ترجمتها باختلاف البلد. وعليه، فقد حرصنا على أن تكون ترجمتها استناداً إلى المصطلحات الأكثر استخداماً في المؤتمرات الدولية ذات الصلة.

# لقد تعززت قدرة العالم على التعامل مع الأمراض

أشار الاجتماع إلى أنَّ قدرتنا الجماعية على التعامل مع الأمراض قد تحسنت تحسناً ملحوظاً منذ انقضاء المؤتمر الاستعراضي السابع، بصرف النظر ما إذا كان التفشي قد حدث لأسباب طبيعية أو نتيجة لعمل كيدي. وقد ساهم في ذلك عوامل عدة.

## التشخيص والرصد

بوسع التحسينات التي طرأت على مجالي تشخيص الأمراض ورصدها أن تُحدد العوامل المُسببة بسرعة أكبر، مما يُعجل من انتقاء خيارات المعالجة المثلى والحؤول دون انتقالها. إنَّ هذه التطورات تُعزز من القدرات المتوافقة مع المادة رقم 7 ورقم 10 من اتفاقية حظر الأسلحة البيولوجية. ومن بين التطورات ذات العلاقة نذكر التشخيص السريع للمسببات المرضية المجهولة، ومعايير التسلسل، وتشخيص تفاعل البوليميراز المتسلسل (PCR)، وأدوات التشخيص الموزعة (أنظر المربع رقم 2)، وأجهزة موقع تقديم الرعاية الطبية، وتمركز بعض أنواع القدرات المخبرية، وعلم الأوبئة الوراثي والجزيئي، واستخدام معدات رخيصة الثمن يتم التخلص منها بعد الاستعمال. وقد لاحظ الاجتماع التحسينات التي طرأت على سرعة التشخيص ودقته.

## فهم طبيعة الأمراض

لقد أدى التحسن الذي طرأ على آليات فهم الأمراض إلى رفع قدرتنا على اكتشاف حالات التفشي والاستجابة لها والتخفيف من أثرها، بصرف النظر عن مصدرها. فمن شأن مثل هذه التطورات أن تعزز القدرات ذات العلاقة بالمادة رقم 7 ورقم 10 من اتفاقية حظر الأسلحة البيولوجية. ومن بين القدرات التي يجدر ذكرها تحديداً، تحسين فهم انتقالية الأمراض ونطاق عوائلها، والإمراضية وفوعتها، والتكسينات، ومسببات المرض غير الاعتيادية (بما في ذلك البريونات (جزيئات بروتينية تُسبب العدوى، والفطريات)، وعلم المناعة والتفاعلات بين العائل والمُمرض، ودور الميكروبيوم (الميكروبات المتعايشة مع الإنسان وغيره من الكائنات والبيئة)، وأهمية "الأغشية الحيوية الرقيقة" في استدامة المسبب المرضي.

## اكتشاف الأمراض

لقد مكنت التطورات في مجال التكنولوجيا من اكتشاف وتشخيص حالات تفشي الأمراض بشكل أسرع وأدق، مما يسهل تنفيذ عمليات التدخل بسرعة وفعالية. وبغض النظر عن مصدر حالة التفشي، فإنَّ هذه التطورات سوف تحد من أثرها، داعمة بذلك المادة رقم 7 ورقم 10 من اتفاقية حظر الأسلحة البيولوجية. وبهذا الصدد، حدد الاجتماع عدة تطورات مهمة، لا سيما في مجال أجهزة الاستشعار البيولوجي، والمؤشرات البيولوجية، ومطيافية الكتلة، والفحص والتصوير المجهرية. ولكنَّ الضرورة تستدعي وجود بيانات خط أساس شاملة بهدف المساعدة في عقد المقارنات ووضع "معياري" لمقارنة الحوادث غير الاعتيادية معه.

تتزايد مع الأيام قدرتنا على التمييز بين حالات التفشي المتعمدة والطبيعية، كما أنَّ استخدام علم المجين، وتفاعل البوليميراز المتسلسل (PCR)، ومطيافية الكتلة، وتخصص "الأدلة الجنايئة الميكروبية" الناشئ من شأنه أن يساعد في إسناد الحالات وعزوها إلى عملية نشر كيدي، إن أشبه في ذلك. حيث تستلزم مثل هذه النتائج واجبات والتزامات تقع على عاتق دول أعضاء أخرى بموجب المادة رقم 7 إلى جانب الاتفاقات الإضافية التي تم التوصل إليها خلال المؤتمرات الاستعراضية المتعاقبة.

## المربع رقم 2: أدوات التشخيص الموزعة

إنَّ التطورات التي شهدتها تقنيات ترتيب التسلسل الجيني لم تُسرَّع وتُيسر الترتيب التسلسلي للمجين فحسب، بل جعلت بالإمكان تنفيذ هذه العملية في جميع أرجاء العالم أيضاً.



عام 2015، وزعت المختبرات الأوروبية المتنقلة جهاز السلسلة ذا الفتحة الدقيقة (MinION) في غينيا، كجزء من جهودها الرامية إلى معالجة حالة التفشي الواسعة لمرض فيروس إيبولا. وقد مكنت هذه المنصة الجديدة السلطات في غينيا من الحصول على معلومات تشخيصية ووبائية مهمة خلال 48 ساعة فقط دون الحاجة إلى إرسال العينات إلى خارج البلاد.

### الصورة:

على اليسار: جوش كويك من جامعة بيرمنغهام في المملكة المتحدة. وفي الوسط: د. نفالي ماجاسوبا، من دائرة الأمراض المعدية والاستوائية التابعة لمستشفى دونكا الوطني في غينيا. وعلى اليمين: البروفيسور مايلز كارول، من مؤسسة الصحة العامة لمنطقة بورتون داونز في المملكة المتحدة.

## متابعة التطورات في مجالي العلوم والتكنولوجيا

من المستحسن بالطبع أن تكفل اتفاقية حظر الأسلحة البيولوجية عدم تمكين المعارف والتقنيات الجديدة من تيسير انتهاك المعاهدة، بينما تُسرّع بذات الوقت من تطبيقاتها السلمية. مما يستلزم الوصول إلى تفاهم حول الطريقة التي قد تؤثر فيها تطورات علوم الحياة والتقنية البيولوجية على المعاهدة.

وأياً كانت العمليات المُنفذة في نهاية المطاف، يجب أن تكون:

- **مرنة** - قابلة للتكيف مع الاحتياجات والأولويات المتغيرة.
- **شاملة** - قابلة للاستفادة من الخبرات، أينما وجدت.
- **مطواعة** - قابلة للتعديل بسرعة لانتهاز كافة الفرص المتاحة.
- **مستجيبة** - قابلة للتغير فعلياً عند الحاجة.
- **قادرة على تشجيع المشاركة بشكل أكبر** - تُشجع بشكل فعال وتدعم المساهمات من أكبر مجموعة ممكنة من الأطراف المعنية.
- **شفافة** - تكفل استفادة أكبر مجموعة ممكنة من الأطراف المعنية من النتائج التي تحقّقها هذه العمليات.

وقد أشار المؤتمر إلى أنّ تطوير أسلوب لتقييم مخاطر التطورات العلمية الجديدة بشكل منهجي سيكون مفيداً جداً في تقييم التهديدات التي تُشكلها الاتجاهات المستقبلية. وقد يكون من المفيد أيضاً أن تأخذ مثل هذه العملية بالاعتبار وضع معايير لتحديد التطورات ذات العلاقة أو المهمة.

ولهذا، ثمة حاجة ماسة لوضع ترتيبات فعالة ومستمرة وتخصيص الموارد اللازمة لها من أجل:

- صياغة أسئلة محددة يمكن الإجابة عليها عن طريق مراجعة التطورات في مجالي العلوم والتكنولوجيا.
- تحديد القدرات العلمية والفنية المتعلقة بهذه الأسئلة.
- دراسة تأثير هذه التطورات ضمن سياق اتفاقية حظر الأسلحة البيولوجية والتكسينية.
- اتخاذ القرارات أو الإجراءات التي تستدعيها هذه التطورات.

ويمكن كذلك تطوير النماذج التي تستخدمها هيئات دولية أخرى لهذا الغرض، بما فيها منتديات نزع السلاح، والمعاهدات البيئية أو الصحية. وينبغي الوقوف على محاسن ومساوئ مختلف هذه النماذج حسب سياق إطار صلاحية اتفاقية حظر الأسلحة البيولوجية.

المربع رقم 3: مثال على أثر رقمنة علم البيولوجيا على تسريع تطوير اللقاحات. استجابة شركة نوفارتيس المتمثلة في إنتاج لقاح لإنفلونزا الطيور (H7N9) - الجمع بين توليد فيروس مخلق بواسطة منصة استزراع خلية أنفلونزا.



## الوقاية من الأمراض والتخفيف من أثرها ومعالجتها باستخدام اللقاحات والأدوية

بصرف النظر عن مصدر الأمراض، فإنَّ الاستعمال الفعال للقاحات والأدوية في الوقت المناسب يحول دون تفشيها أو يحد من أثرها. ويُعتبر ذلك وثيق الصلة بالمادتين رقم 7 ورقم 10 من الاتفاقية. كما يُقلل الاكتشاف والتشخيص السريع للعوامل المُعدية من الوقت اللازم لتطوير اللقاحات والعقاقير وغيرها من التدابير المضادة.

لعل إسناد خطوات الإنتاج الرئيسية إلى مصادر خارجية قد قلل من ضرورة وجود بنية تحتية متخصصة لإنتاج اللقاح. فقد بات تحويل عمليات الإنتاج إلى صناعة مستقلة أسهل وأسرع وأقل كلفة. كما اختصرت المعدات ذات الاستخدام الواحد وتقنيات الإنتاج النموذجية من فترة دورة الإنتاج. ووجود قاعدة إنتاج موزعة في الصناعة يختصر من المسافة التي تقطعها المنتجات للوصول إلى نقطة الاستعمال. ولكنَّ المسائل الرقابية وتلك المتعلقة بالمسؤولية القانونية والمقرونة بأدوات التشخيص والعقاقير واللقاحات خلال حالات الطوارئ الطبية، ما زالت تحد من القدرة على إحراز التقدّم، وهي مشكلة يجب معالجتها.

ما زالت منصات الطاقة الإنتاجية العالية ونُهج "البيانات الضخمة" مستمرة في كشف النقاب عن وفرة الحالات الجديدة المستهدفة والأدوية واللقاحات المرشحة. فقد جرى تبسيط عمليات تصميم واختبار اللقاحات والأدوية وترشيدها عن طريق "رقمنة" علم البيولوجيا ودعمه بتقنيات حاسوبية محسنة، وتحسين القدرة على وضع تصاميم منطقية، وإدماج أساليب البيولوجيا التخليقية وأحدث أدوات النمذجة وتقنيات التخليق المحسنة ومنظومة واسعة من تقنيات المنصات (أنظر المربع رقم 3).

ثمة مختبرات على شبكة الإنترنت توفر حالياً جميع هذه الخدمات من موقع إلكتروني واحد، مثل خدمة "دعم تصميم الكائنات المجهرية". فقد تحسنت الطاقة الإنتاجية عن طريق استخدام قدرة الآلة على التعلم والأساليب الدلالية القائمة على أساس الشبكة العنكبوتية. كما ساعدت الفحوصات المُحسنة للأدوية المرشحة وغيرها من الأدوات المُمكنة في رفع كفاءة خط الإنتاج. ولكن ما زالت قدرات المعلوماتية في مجال البيولوجيا تُشكل التحدي الرئيسي في هذا المضمار.

منذ انقضاء المؤتمر الاستعراضي السابع، طُوّرت عدة أصناف من الأدوية الجديدة وازدادت الاستفادة من الأصناف الموجودة. ومن بين الأمثلة على ذلك: الأدوية القائمة على أساس الأجسام المضادة، وأدوية حديثة للأمراض المقرونة تقليدياً بالأسلحة البيولوجية (مثل، الجمرة الخبيثة، والخروع)، واستخدام توليفات دوائية، والأدوية المُستخدمة في استهداف نواقل الأمراض، وفي تحديد المؤشرات المفيدة للأدوية الموجودة التي لم تحصل على موافقة إدارة الغذاء والدواء.

طُوّرت اللقاحات من أجل مكافحة عوامل أو سلالات متعددة عبر استهداف مناطق محمية وجعلها أكثر فاعلية واستقراراً عن طريق استخدام جزيئات شبيهة بالفيروس ومواد مضافة تزيد الرد المناعي. لقد تم استطلاع عدد من السبل الجديدة لتصميم اللقاحات بالاستفادة من البيولوجيا التخليقية والحمض النووي والهيكلية النانوية وفيروسات الحمض النووي الريبي (RNA).

# الاستجابة للأمراض ودورها والتعافي منها

لاحظ المؤتمر أنّ ما يحدد الأثر الإجمالي للحدث هو سرعة القضاء على حالة التفشي واستئناف الحياة الطبيعية. وهذان الجانبان من الاعتبارات المهمة بالنسبة للمادتين رقم 7 ورقم 10 من اتفاقية حظر الأسلحة البيولوجية (BWC).

وعلى نفس الشاكلة، فقد أدى تحسن الوصول إلى الدواء واللقاح إلى تعزيز السيطرة على العدوى، مثلاً عن طريق استخدام التحصين الوقائي، في حين يمكن موائمة خيارات أكثر حفاضة بشأن سبل السيطرة على العدوى بحيث تتناسب مع حالات خاصة (مثل الحجر الصحي وفرض القيود على السفر). ويمكن استعمال "الأدلة الجنائية الميكروبية" في تحديد الرابط عند الاشتباه في حدوث نشر كيدي لهذه العوامل المرضية.

ثمة أدوات جديدة عملت على تحسين الإدارة الطبية لحالات التفشي، بما فيها حالات الإطلاق المتعمدة. ويتوفر حالياً إرشادات حسب السياق (مثلاً، إرشادات بشأن استعمال الأدوية المضادة للميكروبات، وبشأن خيارات إزالة التلوث) بغية تحسين جاهزية الاستجابة والوصول بها إلى المستوى الأمثل. كما يتوفر حالياً معدات وقائية ذات جودة عالية، مما يُخفف العبء الملقى على عاتق المستجيبين ويتيح لهم العمل لفترة أطول ويرفع من كفاءة عملية الاستجابة. إنّ وجود نطاق واسع من المُطهّرات وتوخي الفائدة المثلى من الأساليب القائمة من أجل تطويرها واستخدامها قد قلل من مخاطر الانبعاث البيئي، وحرر المواقع الملوثة من التلوث بشكل أسرع.

نظراً للتطورات المذكورة أعلاه، نوّه المؤتمر أنه في الوقت الحاضر يجب أن يكون بالاستطاعة تجميع قدرات الجهود المتفرقة ضمن نظام متكامل وواسع الانتشار بهدف مجابهة حالات التفشي على الصعيد العالمي أو المحلي، شرط أن يتم التغلب على العوائق اللوجستية والإقتصادية والتقنية المتبقية. ومن الواضح أنّ هذا الهدف السامي الذي يتوق الجميع إليه لن ينجح إلا إن ساندته إرادة سياسية وحظي برعاية ودعم وتعاون دولي.

قد يتراوح حجم هذا النظام من الاستجابة للاحتياجات المحلية إلى الاحتياجات الدولية. وهي هيكلية جعلت تحسين كفاءة وفاعلية تبادل البيانات ممكناً، مثل بيانات تسلسل مسببات الأمراض، مما يسّر تنفيذ الاستجابة بسرعة وكفاءة. تظهر فرص الطفرات التكنولوجية عادة في الوقت الذي تنضج فيه الخبرات والمعرفة الفنية، كما حدث في أنظمة الإتصالات. وعندها، تستطيع الدول النامية الوصول إلى الفرص والقدرات التي تضاهي تلك الموجودة في الدول المتقدمة، إن لم تتفوق عليها حتى.

لا يمكن أن تكون الاستجابة المنسقة لحالة تفشي مرضي فعالة إلا إذا كانت المجتمعات المعنية مهيّئة للعمل مع المستجيبين للطوارئ. وقد حددت دراسات علم الانسان وطوّرت مبادئ توجيهية "لممارسات مثل" بشأن الحصول على تعاون المجتمع.

## تحويل التقنية البيولوجية إلى صناعة مستقلة

لقد قلّت المساحات والموارد اللازمة لإنتاج المواد البيولوجية، كما صغر الحجم المادي لمعدات الإنتاج إلى حد كبير. إنّ المنشآت الصغيرة التي تستعمل معدات صغيرة تزيد من نطاق المساحات المحتملة وتقلل من التحديات اللوجستية، وفي بعض الحالات قد تختصر من التكلفة أيضاً. وقد تم تبسيط عملية التوسع والارتقاء بالإنتاج إلى مستويات صناعية، حيث يمكن حالياً إنجاز ذلك بسرعة أكبر رغم أنّ إتمام العملية قد يستغرق سنوات.

وفي بعض الحالات، هبطت تكلفة التوسع الصناعي بسبب أساليب التطور الموجهة المحسنة، من قبيل المثال. وفي حالات أخرى، قد يترتب على تحسين الفعالية والكفاءة زيادة في التكاليف، مثل التحسينات المتعلقة بالأتمتة والتصغير.

أصبح الإنتاج والتخليق البيولوجي من المنهجيات الشائعة، يساندهما في ذلك تطورات معينة تتعلق باستعمال "الخاصيات" و "الدعامات" البكتيرية والخميرية للسيطرة على الترتيب الزمني-الفضائي للمكونات. كما شهد مجال التعبير اللقحي تحسينات عديدة، لا سيما عن طريق استعمال خط خلايا الحشرات والزرع المعلق للخلايا، ومواد الإنتاج السائبة.

ويجدر الإشارة أيضاً إلى تنامي استعمال المعدات والتي يتم التخلص منها بعد الاستخدام أو المُعدة للاستخدام الواحد. كما ازداد نطاق العمليات التي توفرت لها مثل هذه المعدات من ناحية العدد والتعقيد وتوحيد معايير القطع، مما سهل التوجه إلى استعمالها لأنها تُخفف من رأس المال الإنتاجي الابتدائي لعدم الحاجة إلى أنظمة للتنظيف والتعقيم. كما تقلل من احتمالية حدوث تلوث ترافقي، مما يزيد من كفاءة الأنظمة.

ومن الحقائق التي أمست شائعة منذ انقضاء المؤتمر الاستعراضي السابع، الاستعانة بمصادر خارجية في مجال الإنتاج بما في ذلك ظهور المرافق الدولية المفتوحة

المعنية بتقدم التقنية البيولوجية (biofabs). كما تم تحسين أو تبسيط خطوات التنقية التي تسبق الإنتاج نتيجة تزايد الاهتمام الرقابي الذي يركز على التخلص من الفيروسات أو تعطيلها.

## إيصال الأدوية

لقد تم التغلب على العراقيل الكبيرة الماثلة أمام تخزين وشحن المستحضرات الدوائية العطوية. وثمة قصص نجاح ملحوظة في مجال استبدال السلاسل الباردة ورفع درجة الاستقرار البيئي للقاحات والأدوية، وجعلها، في بعض الحالات، قابلة للتخزين على درجة حرارة الغرفة. كان من شأن استراتيجيات التصميم المؤتمت وغيرها من الأدوات أن سهلت هندسة وتصميم أنظمة إيصال الأدوية. وتوسع كذلك نطاق منصات إيصال الأدوية، مثل النواقل الفيروسية و "الإبر المجهرية" المحسنة والجديدة. تتميز أنظمة الإيصال عبر الجلد بفعاليتها العظيمة، فمنذ انقضاء المؤتمر الاستعراضي السابع توسع بواسطتها نطاق المواد التي يمكن إيصالها بنجاح مما أتاح فرص استعمال طيف أوسع من الأدوية والقاحات بطريقة غير تدخلية. كما طرأت تحسينات على أنظمة الإيصال الاستهدافية بحيث تكفل نفاذ الدواء أو اللقاح إلى المواضع أو الأنسجة المرادة أو إلى أنواع معينة من الخلايا بعد إعطاء الدواء أو اللقاح.

أدى شرح العلاقة بين هيكلية ووظيفة الجزيئات النانوية إلى تحسين وسائل إيصال الأدوية. فقد توسع نطاق منصات إيصال الأدوية القائمة على أساس الجزيئات النانوية، وأصبح يشمل حالياً على تركيبات تتخطى وتخرق حواجز المواضع التي كانت بعيدة المنال في السابق. حيث يمكن حالياً تصميم الجزيئات النانوية بحيث تُعزز نشاط المواد المُحملة عليها أو تغلب على سرعة تعرضها للاستقلاب. مما يُقلل من التكاليف ويزيد من الكفاءة عن طريق تقليل كمية الحمولة اللازمة، أو التقليل من متطلبات درجة المفعول اللازم لكي تصبح الحمولة فعالة، أو إطالة مدة مفعولها عن طريق زيادة فترة صلاحية مفعولها. إنّ الإطلاق التدريجي للحمولة، مثلاً عن طريق التفعيل عن بُعد أو الاستجابة للبيئة المحيطة، يحد من التأثيرات الجانبية.

## مقاومة المضادات الحيوية

أشار المؤتمر إلى أنّ التطورات الماضية التي أحرزت في مجال معالجة الأمراض أخذت بالتراجع بسبب ازدياد مقاومة الميكروبات للأدوية. فمثلاً، تزايدت مقاومة الفيروسات للمضادات، ومقاومة الأدوية المضادة للملاريا من ناحية العدد أو التوزيع الجغرافي. ورغم أنّ المشكلة ما زالت خطيرة، غير أن فهمنا لآلية حدوثها قد تحسن من تحديد وتشخيص المكونات الوراثية،

والعلاقة بين الهيكلية والوظيفة، وعمليات الاستقلاب، وسبل استجابة المجتمع. وعليه، فقد طُوّرت بعض الأدوية الحديثة بحيث تشمل على مضادات ميكروبية إضافية (تضم مضادات حيوية ومضادات فيروسية معاً)، وعلاجات لإعادة تخليق ميكروبات تلائم المضادات الميكروبية الموجودة، وأدوية تستهدف المتعضيات الباقية الأثر في الأعشية الحيوية الرقيقة أو الخلايا المُقاومة.

# تطورات في مجالي العلوم والتكنولوجيا تُشكل مخاطر مستقبلية بالنسبة لاتفاقية حظر الأسلحة البيولوجية

بوسع التطورات العلمية التي تناولها هذا التقرير أن تُيسر أيضاً كل خطوة تقريباً من خطوات برنامج الأسلحة البيولوجية، فمنذ المؤتمر الاستعراضي السابع، تداعت الحواجز التكنولوجية الماثلة أمام حياة واستعمال الأسلحة البيولوجية بشكل ملحوظ، مما يؤثر تأثيراً كبيراً على المواد رقم 1 و3 و4 من اتفاقية حظر الأسلحة البيولوجية والتكسينية.

سلط الاجتماع الضوء على قدرة تطوير عوامل مستحدثة أخرى، بما فيها تلك العوامل المُنتجة باستخدام تقنية "محركات جينية" بواسطة CRISPR/CAS9)، أو تقنية "إخماد الجينات"، أو البروتينات أو الجزيئات النانوية. لقد تم إدخال بعض أنواع هذه التركيبات في نواقل، وبرهنت أنها تستطيع إنتاج تأثيرات في العائل عند اعطاءها عن طريق الاستنشاق. كما لاحظ المؤتمر القدرة على استهداف الميكروبيوم (الميكروبات المتعايشة مع الإنسان وغيره من الكائنات والبيئة) من أجل إيجاد حالة مرضية أو مفاقتها.

## تحسين فوعة مسببات أمراض موجودة طبيعياً

بات تطوير ميزة الفوعة وغيرها من الميزات البيولوجية التي تتصف بها مسببات الأمراض واستخدامها في الأسلحة البيولوجية أسهل من ذي قبل، كما تم إنتاج بعض "مسببات الأمراض المُعززة". ولم يكن ذلك ممكناً دون تحسينات في مجال:

• تحديد وتشخيص المكونات الجينية والعناصر البنوية الرئيسية التي تتحكم في الإراضية والانتقالية ونطاق العوائل والدفاعات الميكروبية ومقاومة الأدوية، إضافة إلى الآليات التي توظفها مسببات الأمراض لتجنب نظام العائل المناعي.

• تطبيق فهم مُحسّن بشأن الباثولوجيا المناعية من أجل نمذجة ردود الفعل المناعية في العائل.

• استخدام الطبقات الخارجية والقشور لإضفاء استقرار بيئي.

• تطوير أدوات لتحديد وإدماج العوامل المرغوبة في العوامل البيولوجية.

تُعتبر العديد من هذه التطورات في مقدمة القدرات الحالية، فعملية الحصول عليها وانتقال إعادة نشرها تعتبر عملية مكلفة ومعقدة. إنَّ استغلال هذه التطورات لأغراض محظورة قد يحتاج في يومنا الحاضر إلى موارد لا تمتلكها إلا الدول، ولكنَّ هذا الوضع قد يتغير في المستقبل مما يستدعي التأكيد على ضرورة إدامة الجهود الرامية إلى مراجعة التطورات ذات الصلة في مجالي العلوم والتكنولوجيا. ومن بين الأمثلة على هذه التطورات:

## الحصول على مسببات مرضية أو تكسينات

منذ المؤتمر الاستعراضي السابع تم احراز تقدّم في الميادين التالية:

• **الحصول على عوامل من الطبيعة:** بما في ذلك نطاق موسع من العوامل البيولوجية الممكنة ومواقعها المحتملة، إضافة إلى أدوات لتشخيص الميكروبات التي لم تكن "قابلة للاستزراع" في السابق.

• **تخليق عوامل موجودة:** بوسع غير المختصين حالياً تجميع "كاسيت" تشفير جيني لعوامل فوعة و "إعادة تفعيل" بعض الفيروسات. وحالياً أيضاً أصبح بالإمكان تخليق أو إعادة تفعيل مسببات المرضية المسؤولة عن أوبئة تاريخية. وثمة العديد من الببتيدات (سلسلة أحماض أمينية) وأجهزة الضبط الحيوي والتكسينات التي يمكن انتاجها حالياً عن طريق التخليق الكيميائي.

• **تصميم وتخليق عوامل مستحدثة:** وذلك باستخدام منصات هندسة الجين، وأدوات مثل "clouds" و "biofabs"، وغيرها من الأدوات الأكثر تطوراً، وتوفر معايير تصميم ومعالجة وتوليف الميكروبات وأجزائها وبروتيناتها. وفي الوقت الحاضر، يتم إنتاج مسببات مرضية مستحدثة.

يشهد مجال البيولوجيا العصبية زيادة هائلة في المخرجات، محسناً بذلك استيعابنا لاستجابة الشبكة العصبية المربوطة بسلوكيات معينة مثل الغضب أو العدوانية، والحالات الفسيولوجية مثل الإدمان والخوف ومرض التخفيق. ويمكن حالياً التلاعب بالشبكات العصبية لحث بعض هذه الحالات، فقد بدأ العمل على ترجمة هذه النتائج إلى نماذج غير بشرية من رتبة الأساسيات.

# تطورات تخفض من المخاطر ذات الصلة باتفاقية حظر الأسلحة البيولوجية

رُحِبَ المؤتمِر بعدد من التطورات التي تخفض من مجمل المخاطر ذات الصلة باتفاقية حظر الأسلحة البيولوجية. ومن بينها:

- تعزيز القدرة على تحديد الأنشطة المحظورة ذات الصلة بالمادة رقم 1.
- إقامة حواجز أكثر فاعلية أمام الحصول على عوامل بيولوجية تُستعمل في أنشطة تحظرها الاتفاقية ولكن بطريقة لا تُقيد استخدامها لأغراض مسموحة (ذات صلة بالمواد 3، 4، 10 من الاتفاقية).
- إيجاد بدائل للقدرة التي قد تُستعمل في أنشطة محظورة دون أن تتأثر وظائفها المستعملة في أغراض مسموحة (ذات صلة بالمادتين رقم 3 و10).
- إيجاد بدائل للعوامل التي قد تُستعمل في أنشطة محظورة دون التأثير على استعمالها لأغراض مسموحة (ذات صلة بالمادتين رقم 3 و10).
- إحراز التقدم بهدف التعرف على الأنشطة المحتملة التي تثير القلق بشأن الأمن البيولوجي (ذات صلة بالمادتين رقم 3، 4).

### تزايد المخاطر

- حدد المؤتمر عدداً من التطورات الرئيسية الأخرى ذات الصلة بتقييم المخاطر المتعلقة باتفاقية حظر الأسلحة البيولوجية، بما في ذلك:
  - **استراتيجيات حيازة مستحدثة**. إنَّ استعمال "الشبكة الإلكترونية السوداء"، أو التجارة الإلكترونية للتقنيات البيولوجية أو اختلاق عوامل بيولوجية من أجزاء غير خاضعة للرقابة، من شأنه أن يُعقد من التزامات عدم الانتشار بموجب المادة رقم 3 و 4.
  - **تعديل مسببات الأمراض والتكسينات**. وذلك قد يُربك عملية التعرف والتدخل العلاجي، ويُعيق الجهود المبذولة وفقاً للمواد رقم 1، 7، 10.
  - **رقمنة علم البيولوجيا**. يمكن الاستفادة من مجموعات البيانات المتاحة للعامة في تحديد جدوى عملية التخليق، مما يُسهل من دراسات "إثبات المبدأ"، ويُعقد كذلك من التزامات عدم الانتشار بموجب المادة 3.
  - **"تحرير" المعجن**. يمكن استخدام ذلك لنمذجة حساسية الأدوية لدى نواقل الأمراض، مما يُعقد الجهود المتعلقة بالمواد رقم 1، 7، 10.

- **إنتاج مُوزَّع**. لقد أدَّى التفريق بين التصميم والتصنيع إلى تنامي منشآت الإنتاج والصناعة التحويلية القائمة بمفردها. ورغم أنَّ عددها وتوزيعها الجغرافي حالياً ما زال محدوداً، إلا أنَّ احتمالية تنامي هذا النوع من المنشآت وأثرها في تغيير معالم الأنشطة المحظورة قد يُبرر إيلائها انتباه شديد خلال السنوات القادمة.
- **إسناد الإنتاج البيولوجي لشركات خارجية**. إنَّ منشآت الإنتاج البيولوجي متعددة الأغراض التي تناسب إنتاج أحجام مختلفة من العوامل البيولوجية، وتناسب تخليق المادة الوراثية وتقنيات المعجن المُخلق قد أصبحت مألوفة في الوقت الحاضر. ولكن وجود العديد من شركات التقنية البيولوجية "الافتراضية" تُبرهن على القدرة الموجودة في هذا المجال.
- **تخزين العوامل البيولوجية**. إنَّ زيادة الثبات البيئي للمنتجات الطبية البيولوجية واستخدام مقاربات أخرى ينفي الحاجة إلى متطلبات سلسلة التخزين المُبرَّد وما يُصاحبها من بنية تحتية. لقد قللت التحسينات التي طرأت على أساليب الإنتاج من ضرورة "التكديس" بينما يُمكن انتشار قدرات التجفيد التي تُتيح التكديس إن كان مراداً.

### نثر وإيصال العوامل البيولوجية

- لقد بسّطت التطورات التي شهدتها عدة مجالات رئيسية من إيصال الأسلحة البيولوجية:
  - **التقنية النانوية**. ثمة طيف واسع من الجزيئات النانوية وبأحجام مختلفة بوسعها رفع فاعلية عملية إيصال حمولات معقدة إلى أهداف متنوعة، وتستطيع الجزيئات النانوية حالياً استهداف مواضع فسيولوجية وأنواع من الخلايا لم يكن الوصول إليها ممكناً في السابق (مثلاً، عن طريق عبور الحاجز بين الدم والعقل). كما بوسعها أن تضيف للعوامل خصائص مرغوبة أخرى، مثل إطالة فترة بقائها في الجسم وتجنب التحصين. ومنذ المؤتمر الاستعراضي السابع، جرى تطوير جزيئات نانوية مناسبة للإطلاق على شكل رذاذ.
  - **بيولوجيا الحيوانيات (Aerobiology)**. التي توفر أداة قوية لنمذجة إطلاق الأسلحة البيولوجية، بما في ذلك أنماط النثر في الأماكن المكشوفة والمغلقة، مما يُساعد على تحسين عملية إطلاق العامل. كما شهدت معدات توليد ونمذجة النثر بعض التقدم، إضافة إلى تطوير نمذجة النثر الرذاذي.
  - **استخدام عوامل كيميائية مساعدة بهدف زيادة امتصاص العوامل البيولوجية**. هذه العوامل مُعدَّة للاستعمال مع البروتينات النشطة بيولوجياً.
  - **ازدياد القدرة على إيصال الأسلحة البيولوجية عبر القنوات الغذائية**. إنَّ استعمال تركيبات متطورة من شأنه أن يُحسِّن من امتصاص العامل البيولوجي في القناة المعدية-المعوية.

## التكسينات

إنَّ المكونات الوراثية وآليات عمل التكسينات مُشخَّصة بشكل جيد. كما طُوِّرت أدوات متقدمة لإجراء البحوث على التكسينات ومعالجتها. وأصبح بالإمكان حالياً هندسة سبل الاستقلاب الخاصة بالتخليق البيولوجي بحيث توفر مسالك بديلة لإنتاج التكسينات. وتبرز أهمية ذلك تحديداً في حالة التكسينات التي يصعب استخراجها بكميات كبيرة من مصادر طبيعية.

إنَّ مواطن الضعف في مجال ضمان جودة قدرات الاكتشاف الحالية قد كشفت عن وجود ثغرات في قدرتنا على ردع استعمال التكسينات كأسلحة أو الحد منه. فمُنذ انقضاء المؤتمر الاستعراضي السابع، تم تحديد أو إنتاج عوامل مستحدثة أو عوامل خضعت خصائصها للتغيير أو التعزيز.

## إنتاج وتخزين العوامل البيولوجية

منذ المؤتمر الاستعراضي السابع، طرأت تطورات أو تغييرات ملحوظة على ما يلي:

• **إخفاء الأنشطة المحظورة.** إنَّ التغييرات التي طرأت على تواقع الإنتاج، والتحوُّل نحو استعمال مُفاعلات صغيرة متعددة يُهدد جهود تحديد مواقع إنتاج الأسلحة البيولوجية.

• **تحويل عمليات الإنتاج البيولوجي إلى صناعة مستقلة.** في الوقت الحالي، يحتاج التوسع في الإنتاج إلى مساحة ووقت أقل، مما يحد من فرصة منعه. وأصبح بالإمكان كذلك تبسيط العملية باستخدام تقنيات جديدة، رغم ما يترتب عليها من تكلفة معتبرة.

• **إنتاج عوامل بيولوجية.** إنَّ تزايد استخدام التخليق البيولوجي والإنتاج القائم على أساس بيولوجي، ودعامات تماسك الخلايا والأنسجة (scaffolds)، وإنتاج الأدوية من نباتات أو حيوانات محورة جينياً (biopharming) من شأنه تعظيم السرعة والإنتاج، ويسري ذلك أيضاً على إنتاج اللقاح.

• **تحويل الإنتاج من أنشطة مسموحة إلى محظورة.** إنَّ استعمال معدات الإنتاج ذات الاستخدام الواحد والتي يتم التخلص منها بعد الاستخدام والنموذجية يوفر إمكانيات إحراز نجاح تكنولوجي بشكل أسرع.

• **الحصول على معدات ملائمة.** في الوقت الحاضر، يمكن تصنيع مواد مخبرية حساسة مثل أوعية التفاعل (بما فيها تلك المدرجة في قوائم المراقبة حالياً) عبر استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد، مما يُخفِّض من التكاليف والحواجز الماثلة أمام الأنشطة المحظورة، الأمر الذي من شأنه أيضاً تعقيد الجهود الرامية إلى تعزيز تدابير عدم الانتشار.

غالباً لا تترك تقنيات "تنقيح" المجين الحديثة، مثل تقنية (CRISPR/CAS-9) "بصمات" تدل على خضوع العامل لتغيير. مما يُخفي معه محاولات تعزيز فعالية العضيات، ويُعرقل التحقيقات الجنائية، ويُصعِّب التفريق بين الحوادث المرضية غير الاعتيادية وغير الطبيعية. بعض المنهجيات لا تترك "بصمات" لا سيما استخدام المحرك الجيني لأنَّ القدرة على تمريره إلى الجيل الثاني يكون نتيجة لإحداث تغيير دائم على المتعضي. (أنظر المربع رقم 4).

## المربع رقم 4: مثال على عامل بيولوجي مستحدث بغرض استهداف مجتمعات نباتية وحيوانية

إنَّ تطوير "محرركات جينية" قائمة على أساس (CRISPR) من شأنه تمكين مختبرات فردية من تغيير صفات مجتمعات برية وأنظمة بيئية دون أن تحفل بالحدود الوطنية. وسوف تمتلك المئات بل الآلاف من المختبرات هذه القدرة خلال السنوات القليلة القادمة. يمكن إبطال التغييرات من حيث المبدأ، عن طريق إخضاع محرك الجين لتدابير مضادة لاحقة، ولكن ينبغي أولاً اكتشاف التغييرات عن طريق المراقبة البيئية للأصناف المهذبة. مما يستدعي طبعاً معرفة تفصيلية بشأن مدى تأثير هذه الأصناف.

في الوقت الحالي، لا يوجد إلا عدد ضئيل من المختبرات العاملة في مجال المحرك الجيني القائم على أساس (CRISPR).

لقد نادى ممثلو هذه المجموعات وغيرهم في المجالات ذات الصلة بتطبيق الشفافية والضوابط اللازمة بهدف منع حوادث الإطلاق العرضية. وحالياً يُطالب الباحثون في هذا المجال باطلاع جمهور العامة حول التصاميم التجريبية وضوابط منع الإطلاق العرضي الخاصة بالتجارب مسبقاً. فالشفافية تكفل الامتثال لاتفاقية حظر الأسلحة البيولوجية، وتُسرع تطور العلوم عبر تشجيع التعاون الدولي، وتُشجع المداورات المبكرة بشأنها وتوعية المجتمع حول تطبيقاتها المحتملة في مجال الصحة العامة، والزراعة المستدامة والمحافظة على البيئة.

## معلومات إضافية

تستند المعلومات المذكورة في هذه الوثيقة على التقرير الفني الذي يشتمل على وصف شامل لتطورات العلوم والتكنولوجيا، ومراجع مشروحة وروابط لأوراق بحثية. ويمكن الوصول إلى التقرير الفني على الرابط التالي:

[iapbwg.pan.pl](http://iapbwg.pan.pl)

ملاحظة: هذه الوثيقة مترجمة من نسختها الأصلية باللغة الإنجليزية. يمكن الاطلاع على الوثيقة الأصلية من خلال الرابط التالي:

[iapbwg.pan.pl/index.php/reports](http://iapbwg.pan.pl/index.php/reports)



