

قائمة المحتويات

رسالة رئيسة مجلس الإدارة

رسالة وكيلتان الامينه العامه

المقدمه

الجانب التقني

1. التكنولوجيا الحيوية وتكنولوجيا النانو

1.1 التعريف والتطور التاريخي

2. التطورات التقنية الحديثة في مجال الطب

2.1 تقنيات تعديل الجينات

2.2 التطورات في علم الأحياء الاصطناعي

2.3 التقدم في الروبوتات النانوية وأنظمة الدواء النانوية

2.4 تطورات في مجال بيوسنسورات

2.5 تعزيز البنية التحتية للعلاجات المُخصَّصة

2.6 تكنولوجيا الاستنساخ (في الإنسان والحيوان والأعضاء)

2.7 هندسة الأعضاء والأنسجة

3. المستقبل المتوقع والتطور المحتمل للتقنية الحيوية-النانوية

3.1 إمكانات استخدام تقنية النانو (في التكنولوجيا الحيوية) في مجالات الصحة والبيئة والغذاء/الزراعة

3.2 دمج الذكاء الاصطناعي مع التقنية الحيوية-النانوية

3.3 الآثار البيئية للتقنية الحيوية-النانوية

3.4 التوافق والثقة في التكنولوجيا الحيوية النانوية (حالة تحقيق التوافق/عدم تحقيقه وضمان سلامتها على المدى الطويل)

4. تقنيات الاستخدام الصناعي

4.1 تكنولوجيا المعالجة الحيوية

4.2 الزراعة وإنتاج الغذاء (الكائنات المعدلة وراثيًا والأسمدة الحيوية)

4.3 تنظيف البيئة: الترشيح النانوي، الحديد النانوي، البلاستيك الحيوي، الطلاء النانوي والتحفيز الضوئي النانوي

4.4 المواد النانوية الذكية

الجانب الأخلاقي

5 قضايا أمن البيانات وبراءات الاختراع

5.1 حماية البيانات وأمنها

5.2 تنظيم براءات الاختراع في مجال التكنولوجيا الحيوية النانوية

5.3 المشاكل في تحديد المعايير الدولية

6. الآثار الاجتماعية والاقتصادية والقانونية

6.1 عدم المساواة الاجتماعية والاقتصادية

6.2 الرقاقات النانوية المزروعة وحقوق الإنسان

7 المعضلات الأخلاقية

7.1 التلاعب بالجينات البشرية ونقاشات حول "الأطفال المصمَّمين" (التجارب على البشر)

7.2 عملية تطوير اللقاحات والأدوية وبعض مستحضرات التجميل

7.3 خصوصية المريض وحماية الحقوق

7.4 استخدام التكنولوجيا الحيوية-النانوتكنولوجية في الصناعة الدفاعية

7.5 المسؤولية في اتخاذ القرار في أنظمة التشخيص والعلاج المدعومة بالذكاء الاصطناعي

7.6 تأثيرات التكنولوجيا الحيوية النانوية على البيئة

8. الإدراك العام وتأثير الإعلام

8.1 كيف يتشكل إدراك الجمهور تجاه البيو-نانو تكنولوجيا؟

8.2. فهم الاستنساخ والتدخلات الجينية في نظم المعتقدات المختلف

8.3 تأثير وسائل الإعلام والثقافة الشعبية على البيو-نانو تكنولوجيا

رسالة من رئيسة مجلس الإدارة

إلى من يجرون على تخیل المستقبل وصياغته،

لقد كانت أولتيك (ULTEK) على الدوام المقصد الأمثل لكل من يحمل شغفاً بالتكنولوجيا، ويتطلع إلى صقل مهاراته، ويتهياً لمشاركة إبداعاته. واليوم، وبعد توقف دام خمسة أعوام، نعود أكثر قوةً ورسوخاً وشمولاً من أي وقت مضى — ويشرفني أن أرحب بكم في أولتيك، المؤتمر الدولي الرابع للتكنولوجيا والمجتمع.

على امتداد ثلاثة أيام، ستتاحون مع نخبة من العلماء المرموقين، وتتبادلون رؤى مستقبلية، وتضيفون لبنات جديدة إلى صرح المعرفة الذي يجسر بين التكنولوجيا والمجتمع. إن أولتيك ليس مجرد منبر لتبادل الأفكار، بل هو فضاء للفعل والإنجاز — حيث تتحول الرؤى إلى حلول، وتتولد من التعاونات آثارٌ باقية. أهلاً بكم في أولتيك 2025 — حيث يبدأ المستقبل. نيلغون نيهال تشاليك.

رئيسة مجلس الإدارة

رسالة وكيلتان الامينه العامه

أيها المندوبون الكرام،

نرحب بكم بكل احترام ومحبة. اهلا و سهلا بكم إلى مؤتمرنا ULTEK'25. نحن طالبتان من مدرسة محمد أمين سراج للأئمة والخطباء. نحن مسرورات لنكون وكيلتان للأمينه العامه لهذه الجنة المثيرة ويشرفنا أن نكون معكم في هذا المؤتمر الرائع.

نحن اسسنا هذه اللجنة لمناقشة تأثيرات التكنولوجيا الحيوية والنانو على صحة الإنسان والبيئة والأخلاقيات بشكل عميق، ولتحديد المعايير الدولية وآليات الرقابة في هذا المجال. نطلب منكم قراءة دليل الدراسة بعناية، والمشاركة الفعالة في النقاشات. وستساهم القرارات النهائية في توجيه استخدام التكنولوجيا الحيوية والنانو بشكل آمن، أخلاقي، ومفيد للمجتمع. مشاركة أفكاركم واقتراحاتكم داخل الجنة تشكل أهمية كبيرة بالنسبة لنا وسنكون مسروران بذلك.

لقد أتينا إلى نهاية رسالتنا،نحن نود أن نشكر الأمانة العامة Nilgün Nihal Çalık، المديرية العامة Vildan Leyla Çalık، رئيسة الأكاديمية Shamam Musa و جميع الفريق لمساعدتهم المستدامة و دعمهم.

نتوق شوقا للقاءكم...

وكيلتا الأمانة العامة

Hanne Meryem Aldı- Khadija Mukhammadjon

إذا كان لديكم أي سؤال لا ترددوا في التواصل معنا عن طريق البريد الالكتروني

hannemeryemaldi@gmail.com

hadijam.m@icloud.com

المقدمة

التطورات السريعة في مجالات العلوم والتكنولوجيا، وخاصة التكنولوجيا الحيوية والنانو، أوجدت بعضًا من أكثر الابتكارات قدرة على تحويل المستقبل. تشمل هذه المجالات الهندسة الوراثية، علاجات الخلايا، الأعضاء الصناعية، النانوروبوتات، والمواد النانوية، وجميعها لها تأثيرات كبيرة على صحة الإنسان، البيئة، المجتمع، والقيم الأخلاقية. هذه التطورات تجلب أيضًا تحديات أخلاقية، حاجة إلى تنظيم دولي، ومسؤوليات جديدة عند حدوث الأزمات.

تم إنشاء لجنة التكنولوجيا الحيوية والنانو لتوفير منصة للمنوبين لمناقشة فوائد هذه التقنيات والمخاطر المحتملة لها، الحدود الأخلاقية، وآليات الرقابة الدولية. الهدف الرئيسي للجنة هو تمكين المنوبين من تقديم أفكار وحلول حول الأطر الأخلاقية، آليات الرقابة، المعايير الدولية، والاستخدام المسؤول للتكنولوجيا.

تتيح اللجنة للمنوبين تقييم ليس فقط التطورات التكنولوجية، بل أيضًا تأثيرها على المجتمع، البيئة، وصحة الإنسان. سيناقدش المنوبون أي الحدود الأخلاقية يجب الحفاظ عليها، أين يجب تطبيق آليات الرقابة الدولية، وكيفية اتخاذ القرارات في أوقات الأزمات.

تعتبر التكنولوجيا الحيوية والنانو مجالات تتطلب تقييمًا مستمرًا وتوجيهًا للتحديات الأخلاقية والمخاطر البيئية والمناقشات المجتمعية المستقبلية. لذلك، توفر اللجنة منصة للمنوبين لمقارنة وجهات النظر المختلفة، مناقشة سبل التعاون الدولي، وتطوير قرارات مسؤولة.

تمنح اللجنة المنوبين فرصة للتفكير والتحليل وصياغة توصيات سياسية من منظور علمي وأخلاقي. ستساهم النتائج التي يتم التوصل إليها في توجيه استخدام التكنولوجيا الحيوية والنانو بطريقة آمنة وأخلاقية ومفيدة للمجتمع. سيشارك المنوبون في تشكيل المعايير الدولية وآليات الرقابة، وسيكتسبون خبرة مباشرة في اتخاذ القرارات المسؤولة على المستويين الفردي والدولي.

1. التكنولوجيا الحيوية وتكنولوجيا النانو

1.1 التعريف والتطور التاريخي

تعد التكنولوجيا الحيوية وتكنولوجيا النانو مجالين تكنولوجيايين يُستخدمان اليوم في العديد من المجالات، من الطب والزراعة إلى البيئة والصناعة. ورغم تطور هذين المجالين بطرق مختلفة إلا أنهما أصبحا طريقتين متكاملتين و يؤثران أكثر عند استخدامهما معاً.

التكنولوجيا الحيوية تعني استخدام الكائنات الحية أو الأنظمة البيولوجية مع تقنيات مختلفة لتطوير منتجات وحلول لصالح الإنسان. في الحقيقة، تبدو التكنولوجيا الحيوية فكرة جديدة، لكن الناس استعملوا طرقاً بيولوجية منذ زمن قديم دون أن يعرفوا ذلك. على سبيل المثال، صنع اللبن والجبن والخبز باستخدام الخميرة، واختيار النباتات والحيوانات الجيدة في الزراعة وتكثيرها، كلها أمثلة قديمة للتكنولوجيا الحيوية. لكن هذه الأعمال لم تكن مبنية على أساس علمي، لذلك لا تُعتبر "تكنولوجيا حيوية حديثة".

حدثت التطورات الكبيرة في التكنولوجيا الحيوية بعد سبعينات القرن العشرين. بعد فهم تركيب الـ DNA وتطور تقنيات الهندسة الوراثية، بدأ العلماء يغيرون التركيب الجيني للكائنات ويعطونها صفات جديدة. في هذه الفترة صُنعت البكتيريا لإنتاج الأنسولين لأول مرة، وتم تطوير نباتات معدلة وراثياً (GDO)، وظهرت تطبيقات مثل العلاج الجيني في الطب. اليوم تُستعمل التكنولوجيا الحيوية في مجالات كثيرة مثل علاج السرطان، إنتاج اللقاحات، تنظيف البيئة، وحتى إنتاج الطاقة.

أما تقنية النانو فهي تعني العمل على أصغر أجزاء المادة، أي الذرات والجزيئات. كلمة "نانو" تعني جزء من المتر يساوي واحدًا على مليار (نانومتر). يعمل العلماء في تقنية النانو على دراسة المواد في هذا الحجم الصغير جدًا، ويستطيعون تغييرها وصنع مواد جديدة بخصائص مختلفة تمامًا.

ظهرت فكرة تقنية النانو لأول مرة سنة 1959 مع الفيزيائي الشهير ريتشارد فاينمان. في خطابه "هناك مساحة كبيرة في الأسفل"، قال إن الذرات يمكن التحكم بها واحدة واحدة، وبذلك يمكن صنع آلات صغيرة جدًا. في ذلك الوقت لم يُطبق هذا الكلام، لكن في ثمانينات القرن العشرين، وبعد اختراع أجهزة مثل STM (المجهر النفقي الماسح) وAFM (المجهر بالقوة الذرية)، أصبح العلماء قادرين على رؤية الذرات والعمل بها. وهذا كان بداية عصر تقنية النانو.

منذ تسعينات القرن الماضي حدثت تطورات كبيرة في مجالات مثل المواد النانوية، الأدوية النانوية، والروبوتات النانوية. واليوم تُستخدم تقنية النانو في أشياء كثيرة: نقل الأدوية داخل الجسم، صناعة مواد أكثر قوة، تصغير الأجهزة الإلكترونية، وتطوير تقنيات تحافظ على البيئة.

أما البايو-نانو تكنولوجيا فهي علم يجمع بين خصائص الأنظمة الحية وطرق تقنية النانو ليصنع حلولاً جديدة. الهدف الأساسي هو التحكم في المكونات البيولوجية مثل الخلايا، البروتينات، والـ DNA في المستوى النانوي، واستخدامها في التشخيص، العلاج، نقل الأدوية أو إنتاج مواد حيوية جديدة. البايو-نانو تكنولوجيا تساعدنا على فهم أفضل للأنظمة الحية، وصنع تقنيات تُقلد الوظائف البيولوجية وتُفوّيها.

2. التطورات التقنية الحديثة في مجال الطب

2.1 تقنيات تعديل الجينات

تُعتبر تقنيات تعديل الجينات من أبرز التطورات العلمية الحديثة في مجال التكنولوجيا الحيوية. وتُمكن هذه الطرق من إجراء تغييرات مستهدفة، مُتحكم بها، وغير قابلة للرجوع في تسلسل الجينوم للكائنات الحية، مما يجعل لها تأثيراً واسعاً في كل من الأبحاث والمجال العلمي. تقوم الفكرة على إحداث كسور مزدوجة في مناطق محددة من الـ DNA لإزالة التسلسلات الجينية الخاطئة أو غير الفعالة أو غير المرغوبة، واستبدالها بتسلسلات مرغوبة. ولتحقيق ذلك تُستخدم غالباً إنزيمات النوكلياز، حيث إن دقتها وقدرتها على العمل بانتقائية عالية تُعتبر مهمة لفعالية الطريقة.

أما النظام الأكثر بروزاً اليوم في هذا المجال فهو تقنية CRISPR-Cas9. وقد طُوِّرت هذه التقنية بالاستلهم من آلية المناعة التكيفية لدى البكتيريا، حيث تعتمد على استخدام إنزيم Cas9 القادر على التعرف وقطع تسلسلات الـ DNA بدقة عالية، بمساعدة جزيئات من الـ RNA المرشدة. قُدِّمت هذه الطريقة لأول مرة عام 2012 من قبل إيمانويل شارينتييه وجينيفر دودنا، ثم جعلها فنغ زانغ وفريقه قابلة للتطبيق بكفاءة في الخلايا البشرية.

إن تميّز CRISPR-Cas9 بسرعه العالية، وانخفاض تكلفته، وسهولة استخدامه مقارنة بتقنيات تعديل الجينات الأخرى، جعله أداة رئيسية في كل من الأبحاث الأكاديمية والصناعية. ومع ذلك، فإن التطبيقات على الأجنة البشرية، والتلاعب بالشفرة الجينية بهدف ما يُسمى بـ "تحسين الإنسان"، إضافة إلى المخاطر المتعلقة بالبيوجينية، تثير نقاشات حول البعد الأخلاقي لهذه التكنولوجيا.

إلى جانب تقنية CRISPR في الهندسة الوراثية، توجد تقنيات أخرى تقدم حلولاً مبتكرة في مجالات مختلفة. من بين هذه التقنيات DNA Origami، التي تقوم على برمجة سلاسل الـ DNA وطيها بأشكال هندسية محددة لتشكيل هياكل على المستوى النانوي. هذه الهياكل توفر إمكانيات استخدام واسعة مثل المجسات الجزيئية، أنظمة نقل الأدوية الموجهة، والدوائر البيولوجية. ومع ذلك، فإن مستوى التوافق الحيوي طويل الأمد لهذه الهياكل داخل الأنظمة الحية، إضافة إلى مخاطر السلامة البيولوجية، لا يزال غير واضح؛ كما أن احتمال استخدامها لأغراض عسكرية يُعتبر مصدر قلق على المستوى الدولي.

وبالمثل، تُعد تقنيات نقل الأدوية الموجهة (Targeted Drug Delivery) من المجالات التي تزداد أهميتها في الطب الحديث. يهدف هذا النهج إلى إيصال العوامل الدوائية فقط إلى الخلايا المرضية، مما يزيد من فعالية العلاج ويقلل من الآثار الجانبية. يتم تنفيذ هذه الطريقة من خلال ناقلات نانوية، جزيئات نانوية دهنية، أو بوليمرات متوافقة حيوياً. وقد أظهرت نتائج واعدة بشكل خاص في علاج السرطان وأمراض الجهاز العصبي المركزي. ومع ذلك، فإن تراكم الجزيئات النانوية في الأنسجة، واحتمال أثارها السامة على المدى الطويل داخل الأنظمة البيولوجية، بالإضافة إلى التكلفة العالية للتكنولوجيا، تشكل عوامل تُعيق انتشار هذه الطريقة عالمياً.

ومن المجالات الأخرى التي تطورت في السنوات الأخيرة أنظمة الضمادات الذكية. هذه المواد الطبية القائمة على المستشعرات تستطيع مراقبة عملية التئام الجروح بشكل لحظي، كما يمكنها إطلاق الأدوية بشكل متحكم عند الحاجة. وتُظهر هذه الأنظمة قدرة على تسريع عملية الشفاء خاصة في حالات قرح السكري والحروق الشديدة. ومع ذلك، فإنها تجلب معها تحديات تقنية وأخلاقية مثل أمن البيانات، خصوصية المرضى، والتكاليف العالية للإنتاج.

في تطوير وتطبيق هذه التقنيات، تلعب بعض الدول دوراً حاسماً على المستوى العالمي. تحتل الولايات المتحدة الأمريكية موقع الريادة بفضل استراتيجيات البحث والتطوير القائمة على السوق الحرة والقطاع الخاص، وسرعة عمليات التسويق، إضافة إلى الاستثمارات الرأسمالية الضخمة. أما الصين، فهي تحقق تقدماً تقنياً سريعاً من خلال برامج ابتكار واسعة النطاق مدعومة من الدولة، لكنها غالباً ما تُهمَل آليات الرقابة الأخلاقية. بينما تتبنى ألمانيا نهجاً حذراً وتمعنوراً حول الأخلاقيات، مع تطبيق عمليات موافقة سريرية منتظمة، وإعطاء الأولوية لمعايير السلامة والقبول المجتمعي. وتبرز اليابان في مجالات دمج التكنولوجيا المتقدمة، التصغير (Miniaturization)، والابتكار في الأجهزة الطبية. أما الهند، فهي تحقق تقدماً في تطوير حلول منخفضة التكلفة ومنتجات بيولوجية تتناسب مع احتياجات الأسواق النامية. في حين تنتهج البرازيل سياسات تكنولوجية حيوية تركز على مبدأ المساواة في الوصول إلى الرعاية الصحية.

إن هذا التنوع الناتج عن اختلاف استراتيجيات وأولويات الدول يؤثر بشكل مباشر في سرعة انتشار الهندسة الوراثية والتقنيات البيوتكنولوجية المرتبطة بها عالمياً، وكذلك في مستوى التعاون الدولي ومدى تبنيها ضمن إطار أخلاقي. وبالتالي، فإن مستقبل هذه التقنيات لا يعتمد فقط على نجاح الابتكارات العلمية، بل أيضاً على توجهات السياسات الوطنية، والاعتراف العالمي بالمعايير الأخلاقية، ومواقف المجتمعات تجاه هذه التطورات.

2.2 التطورات في علم الأحياء الاصطناعي

علم الأحياء الاصطناعي هو مجال علمي يهدف إلى إعادة تصميم العمليات الطبيعية باستخدام طرق هندسية، وليس فقط تقليدها، وهو نشأ من دمج علم الأحياء والهندسة. يتجاوز هذا المجال ما توفره التكنولوجيا الحيوية التقليدية، حيث يمكن جمع المكونات الجينية وتنظيمها بطريقة جديدة، وحتى بناء أنظمة حيوية جديدة تماماً. بهذا الشكل، يصبح من الممكن منح الكائنات الحية وظائف غير موجودة في الطبيعة، أو "برمجتها" لأداء مهام محددة. على سبيل المثال، يمكن برمجة البكتيريا المصممة خصيصاً لتنظيف المعادن

الثقيلة من المياه الملوثة أو لإنتاج أدوية مهمة مثل الإنسولين. من هذا المنظور، يمكن اعتبار علم الأحياء الاصطناعي مجالاً أكثر تقدماً من الهندسة الوراثية، حيث تقوم الهندسة الوراثية بإجراء تغييرات محدودة على الـDNA، بينما يستطيع علم الأحياء الاصطناعي تصميم دوائر جينية كاملة، تسلسلات جديدة، وحتى أشكال حياة جديدة.

على الرغم من أن علم الأحياء الاصطناعي يبدو مجالاً جديداً، إلا أن جذوره تعود إلى منتصف القرن العشرين، عندما بدأ علم الأحياء الجزيئي بالتقدم بسرعة. في السبعينيات، ساعد حل بنية الـDNA وتطوير تقنية الـDNA المؤتلف العلماء على تعديل المادة الوراثية مباشرة، ووضعوا أسس الهندسة الوراثية. في أوائل الألفية الثانية، بدأت التطورات العملية التي تستحق اسم علم الأحياء الاصطناعي بالظهور. خاصة في مؤسسات مثل MIT وUniversity of California، حيث تم تطبيق فكرة تجميع قطع الـDNA بطريقة تشبه "قطع الليغو الحيوية". أدى هذا النهج إلى ظهور مفهوم "مكتبة القطع الحيوية" (BioBrick)، ومهد الطريق لبناء دوائر حيوية معيارية مثل الدوائر الإلكترونية.

في عام 2002، تم إنتاج أول جينوم بوليوفيروس اصطناعي في المختبر، مما أظهر إمكانيات هذه التقنية ومخاطرها. وفي عام 2010، أنشأ كريغ فنتنير وفريقه أول "شكل حياة اصطناعي" في العالم باستخدام بكتيريا *Mycoplasma mycoides* ذات جينوم اصطناعي كامل. هذا التطور أثار حماس المجتمع العلمي، وفي الوقت نفسه زاد النقاشات الأخلاقية وأمنية.

اليوم، يستخدم علم الأحياء الاصطناعي في مجالات واسعة مثل الصحة، الطاقة، البيئة، الزراعة والدفاع. في قطاع الصحة، من الأمثلة المهمة لقاحات mRNA التي طورت خلال جائحة كوفيد-19. تمكنت شركات مثل Moderna وPfizer-BioNTech من إنتاج لقاحات سريعة وفعالة باستخدام علم الأحياء الاصطناعي. في مجال البيئة، تم تطوير بكتيريا تحلل البلاستيك أو تنظف تسربات النفط في البحار. في الزراعة، توفر النباتات المعدلة وراثياً التي تحتاج إلى ماء وأسمدة أقل حلاً لتعزيز الأمن الغذائي.

تتخذ الدول نهجاً مختلفاً تجاه علم الأحياء الاصطناعي. الولايات المتحدة تصدر المجال أكاديمياً وتجارياً، وتستثمر مليارات الدولارات عبر مؤسسات مثل DARPA وNIH. الصين تعتبره أحد المجالات الأساسية في خطة "صنع في الصين 2025"، وأنشأت حدائق تكنولوجيا حيوية كبيرة. الاتحاد الأوروبي يتبع نهجاً أكثر حذراً، حيث يدعم البرنامج Horizon Europe، وفي الوقت نفسه يطبق تنظيمات صارمة بشأن الأخلاق والبيئة. المملكة المتحدة، بعد بريكست، سعت لتسهيل الاستثمارات في هذا المجال من خلال قوانين أكثر مرونة.

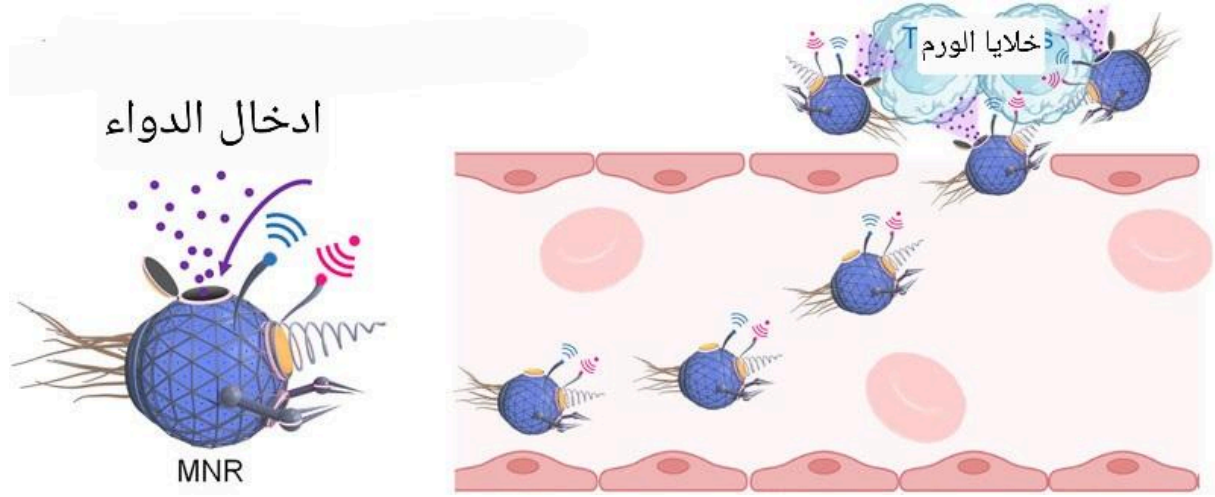
على الرغم من الفرص الكبيرة، يجب عدم تجاهل المخاطر. إطلاق أشكال حياة جديدة في الطبيعة قد يسبب تأثيرات لا يمكن عكسها على النظم البيئية. كما أن احتمال استخدام الأشخاص السيئين للتكنولوجيا لإنتاج مسببات أمراض خطيرة يزيد من مخاوف الإرهاب البيولوجي. لذلك، تعد الأخلاقيات العلمية والقوانين الدولية مهمة لضمان تقدم هذا المجال بشكل آمن ومسؤول. مع السياسات الصحيحة والتعاون العالمي، يمكن لعلم الأحياء الاصطناعي أن يكون أداة لجعل حياتنا أكثر استدامة وصحة وأماناً في المستقبل.

2.3 التقدم في الروبوتات النانوية وأنظمة الدواء النانوية

الروبوتات النانوية وأنظمة الدواء النانوية هي واحدة من الأبواب التي فتحتها تكنولوجيا النانو في مجال الصحة. هذه التقنيات صغيرة جداً بحيث لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة، لكنها فعالة للغاية؛ ولديها القدرة على إحداث تغييرات في مجالات متعددة، بدءاً من التشخيص المبكر للأمراض، وصولاً إلى العلاجات المستهدفة، وآليات توصيل الدواء، والطب التجديدي. تم تطوير هذه الأنظمة لتجاوز حدود الطب التقليدي، مما يجعل التدخل على مستوى الخلية ممكناً، ويجعل العلاجات أسرع وأكثر أماناً. وهكذا، لا تقتصر الفائدة على زيادة مدة الحياة فقط، بل تعمل أيضاً على تحسين جودة الحياة بشكل كبير.

الروبوتات النانوية هي روبوتات صناعية ميكروسكوبية مصممة على مقياس النانو وقادرة على أداء مهام محددة وفقاً للبرمجة. غالباً ما يكون حجم هذه الروبوتات مئات النانومترات، وبعد حقنها في الجسم، يمكن توجيهها عبر الدورة الدموية أو داخل الأنسجة لأداء مهامها. تشمل هذه المهام فتح انسداد الأوعية الدموية، القضاء على مسببات الأمراض أو الخلايا السرطانية، توصيل الأدوية مباشرة إلى الأنسجة المصابة بالأورام، وحتى نقل المادة الوراثية إلى خلايا محددة. من أهم مزايا الروبوتات النانوية هو قدرتها على الوصول إلى المنطقة المستهدفة بدقة عالية، وتفعيلها فقط في الخلايا المريضة. وبهذا يقل خطر إلحاق الضرر بالأنسجة السليمة، وتزداد فعالية العلاج.

أنظمة الدواء النانوية هي طريقة لتوصيل الدواء مباشرة إلى المنطقة المريضة. في العلاجات التقليدية، ينتشر الدواء في جميع أنحاء الجسم، مما يؤدي إلى فقدان الجرعة وظهور آثار جانبية. في أنظمة الدواء النانوية، يُوضع الدواء داخل جسيمات نانوية دهنية، أو ناقلات بوليمرية، أو كبسولات بيولوجية. هذه الناقلات تتحلل فقط في ظروف محددة (مثل مستوى حموضة معين أو درجة حرارة محددة) وتفرغ الدواء مباشرة إلى الخلايا المستهدفة. وبهذه الطريقة، يمكن الحصول على تأثير علاجي عالي بجرعات منخفضة، مع تقليل الآثار الجانبية بشكل كبير.



مؤخرًا، دخلت الروبوتات النانوية وأنظمة الدواء النانوية المدعومة بالذكاء الاصطناعي مرحلة جديدة. الروبوتات النانوية المدعومة بالذكاء الاصطناعي قادرة على التحرك داخل الجسم بمفردها، وتحليل الحالات البيولوجية التي تواجهها، والتعرف على الخلايا السرطانية والتدخل فورًا، وإرسال البيانات التي تجمعها إلى الأطباء في الوقت الفعلي. وهذا يتيح تخصيص العلاج وإدارته بشكل أفضل. بالإضافة إلى ذلك، هذه التقنيات لا تقتصر على علاج الأمراض الحالية فقط، بل لديها القدرة أيضًا على منع ظهور الأمراض لدى الأشخاص الذين لديهم استعداد جيني.

ومع ذلك، فإن تطور الروبوتات النانوية وأنظمة الدواء النانوية يثير أسئلة أخلاقية وقانونية مهمة. التأثيرات البيولوجية طويلة المدى لهذه التقنيات التي تتدخل مباشرة في الجسم غير معروفة بالكامل بعد. لذلك، يجب إجراء اختبارات السلامة قبل الاستخدام الواسع، ووضع أطر أخلاقية تحدد حدود الاستخدام، وتوضيح اللوائح الدولية. بعض الدول تستثمر بشكل كبير في البحث والتطوير لهذه التقنيات، بينما تبني دول أخرى نهجًا أكثر حذرًا. على سبيل المثال، تنصدر الولايات المتحدة واليابان الأبحاث السريرية في هذا المجال، بينما يفضل الاتحاد الأوروبي التقدم مع تنظيمات صارمة. في المستقبل، قد تحدد هذه الاختلافات في النهج المناطق التي ستطبق فيها التكنولوجيا بسرعة أكبر.

2.4 تطورات في مجال بيوسنسورات

المستشعرات الحيوية (البيوسنسورات) هي أجهزة التي تكشف مواد داخل الجسم (كالسكر أو الهرمون أو البكتيريا...) و تنتج إشارة قابلة للقياس بحسب كميتها. هذا التكنولوجيا يتميز بارتفاع الحساسية والسرعة، والبساطة، وانخفاض الكلفة. وتشمل مجالات استخدامها التكنولوجيا الحيوية، والطب، وتقنية النانو، والهندسة الوراثية، وتكنولوجيا الغذاء.

تاريخ المستشعرات الحيوية تعود إلى منتصف خمسينيات القرن العشرين، حيث ابتكر ل. س. كلارك جهازًا لقياس كمية الأكسجين في الدم باستخدام قطب كهربائي. وفي عام 1962، قام كلارك ولايونس بدمج قطب الأكسجين مع إنزيم غلوكونز أو أكسيداز لحساب كمية الغلوكونز في الدم، مما أدى إلى تطوير جهاز جديد. و تم جمع نظامين مختلفين لإيجاد هذه التقنية؛ نظام بيولوجي ونظام فيزيائي ذو حساسية قياس مرتفعة. مما يعطيه استخدامات واسعة. ومنذ ذلك الحين وحتى يومنا هذا، تطورت مجالات استخدام الأجهزة الحيوية وقدراتها وإمكاناتها مثل أي تقنية أخرى. ومن بين هذه التطورات المهمة: الأسلاك النانوية، القضبان النانوية، أنابيب الكربون النانوية، النقاط الكمومية، والمواد النانوية المتنوعة.

حول عام ٢٠٠٠، تم تطوير المستشعرات النانوية الحيوية بهدف زيادة الحساسية والدقة في القياس بدمج تكنولوجيا الحيوية مع تكنولوجيا النانوية. والفرق بين هذه التقنية الجديدة والأجهزة الحيوية التقليدية هو تصميم العنصر البيولوجي للتعرف بطريقة نانوية. أصبحت هذه المستشعرات قابلة للتطبيق بين عامي 2005 و2010، إلا أن التطبيقات العملية الميدانية بدأت تظهر بشكل أكثر نشاطاً منذ عام 2015. حوالي عام 2020، بدأ انتشار استخدام أجهزة الاستشعار النانوية القابلة للارتداء نتيجة دمج التكنولوجيا القابلة للارتداء مع التكنولوجيا الحيوية. تُستخدم هذه المستشعرات لمراقبة حركة الجسم، تتبع الحالة الصحية بشكل لحظي، رصد الإشارات الحيوية (كالنبض، الدم، نشاط العضلات)، وكشف التغيرات في البيئة المحيطة (كالرطوبة، الحرارة، الغازات). باستخدام المستشعرات المرتدفي الحياة اليومية أصبح من الممكن متابعة الحالة الصحية للفرد بشكل مستمر، ما يوفر إمكانيات للتخصيص والتدخل المبكر في الخدمات الصحية. ومع ذلك، لوحظ أن الاستخدام الطويل لهذه التقنية قد يؤدي إلى ظهور طفح جلدي مشابه للإكزيما والتهاب الجلد التماسي التحسسي.

في عام ٢٠١١، م 2011، تم اكتشاف عائلة من المواد النانوية تُعرف باسم MXene. وقد برزت هذه المواد بفضل خصائصها المميزة مثل: الموصلية المعدنية العالية، وغنى الكيمياء السطحية، والتوافق الحيوي الجيد، والبنية المحبة للماء، إضافةً إلى قدرتها الكبيرة على الارتباط بالجزيئات الحيوية. ومنذ عام 2015، بدأ استخدامها في أجهزة الاستشعار الحيوية. وتُعدّ هذه المواد النانوية واعدة من حيث تحقيق حساسية عالية، وإمكانية دمجها في الأجهزة القابلة للارتداء. ومع ذلك، فإنها تواجه بعض التحديات مثل مقاومة الأكسدة، والاستقرار البيئي، وصعوبات التصنيع.

في الآونة الأخيرة مع انتشار الذكاء الاصطناعي في السنوات ٢٠٢٠، أصبح من الممكن دمج الذكاء الاصطناعي مع أجهزة الاستشعار الحيوية لتحليل كميات ضخمة من البيانات التي تجمعها هذه الأجهزة، مما يُمكن تقييم الحالة الصحية بشكل أعمق وتقديم حلول صحية مخصصة. ويسهم الذكاء الاصطناعي في وضع تشخيصات أكثر دقة، ويُمكن من اتخاذ قرارات أكثر وعياً في مجال إدارة الرعاية الصحية.

دولياً يُشجّع استخدام أجهزة الاستشعار الحيوية بشدة، مع شرط أن يكون استخدامها آمناً. هذه الأجهزة مستخدمة خاصةً في الولايات المتحدة الأمريكية و الاتحاد الأوروبي. حين الاتحاد الأوروبي يركز على أمن الغذاء و مراقبة البيئة، الولايات المتحدة الأمريكية من الدول البارزة في استخدام الاستشعارات الحيوية في مجال الطب. صين؛ هي من المصنوعين النمايين في سوق الاستشعارات الحيوية، تصنع لإنتاجها و في نفس الوقت تتطور استشعارات الحيوية خاصة للزراعة المحلية. بالنسبة لتركيب، التي تعمل على مشاريع محددة من سبب نقص قدرة الإنتاج والتسويق التجاري. ويُلاحظ أن يتركز على المشاريع البحثية بتركيز خاص على الدراسات المتعلقة بالأجهزة الحيوية الطبية والزراعة.

2.5 تعزيز البنية التحتية للعلاجات المخصصة

الطب المخصص، هو طريق طبي، يتم باستخدام بيانات النمط الظاهري والنمط الجيني لتكييف استراتيجية العلاج الصحيحة للشخص المناسب في الوقت المناسب ولتحديد القابلية للإصابة بالمرض أو لتوفير التدابير الوقائية المستهدفة في الوقت المناسب.

يُعتقد أن الأبحاث الجينومية التي تُجرى بفضل التكنولوجيا الحيوية قد رفعت مفهوم العلاج المخصص إلى مستوى أعلى. ففي الطب التقليدي، يُتبع نهج يركز على المرض مع تجاهل الفروقات الفردية، بينما بدأت تبرز تدريجياً فلسفة "لا يوجد مرض، بل يوجد مريض" كأساس للطب المخصص. ويساهم استخدام الأجهزة البيوتكنولوجية مثل تقنيات التصوير، وأجهزة PCR، والأجهزة الحيوية الاستشعارية في رصد تأثير المرض ذاته على أشخاص مختلفين، ووضع خطط علاج فردية. وفي نفس الوقت، تهدف علم الدواء الوراثي (Pharmacogenomics)، الذي يدرس تأثير الأدوية حسب التركيب الجيني لكل شخص، إلى تحديد الدواء والجرعة الأنسب لكل مريض. ويُعدّ هذا تجسيداً لفكرة تخصيص العلاج من خلال التركيز على كون الأفراد مرضى، وليس على مجرد ظهور أعراض المرض لديهم.

بفضل الاستشعارات النانوية الحيوية يمكن متابعة حالة المرضى بشكل حي وهذا يعطي فرصة لاتخاذ التدابير الوقائية قبل ظهور المشاكل الصحية. ومن المتوقع أن تصبح هذه التقنية أكثر سهولة للوصول إليها مع دمج أجهزة الاستشعار النانوية الحيوية المحمولة التي طوّرت مؤخراً في الحياة اليومية.

يمكن لإدراج أجهزة الاستشعار النانوية الحيوية في الأنظمة الطبية الرقمية أن يزيد من فعالية عمليات التشخيص والفحص. يقوم نظام إنترنت الأشياء الطبية (IoMT)، الذي يتعامل مع الأجهزة الطبية المتصلة بالإنترنت والتطبيقات الصحية؛ بجمع البيانات

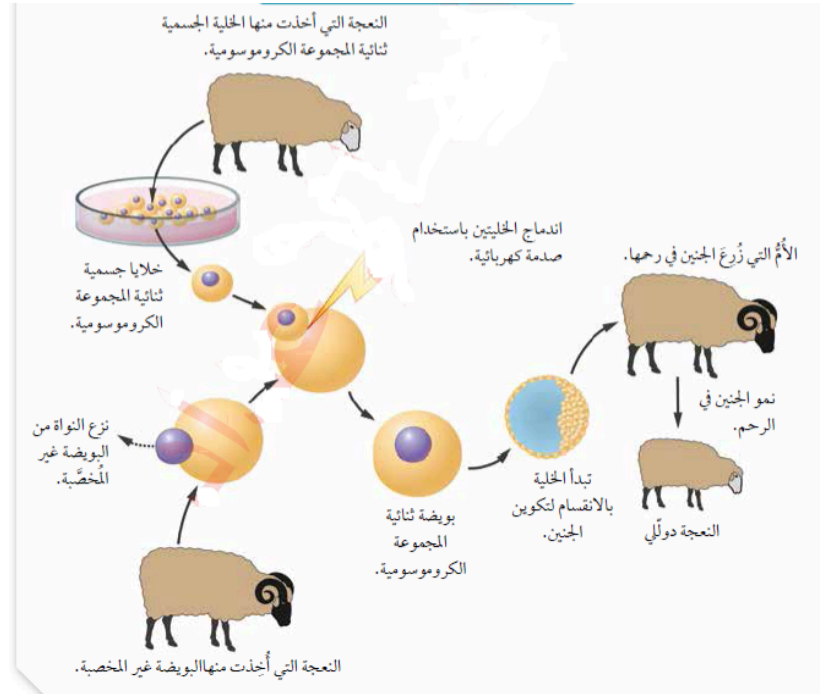
الصحية وتحليلها ونقلها عبر الإنترنت إلى الأطباء أو الخوادم السحابية أو أنظمة الذكاء الاصطناعي. استخدام هذا النظام بالتوازي مع الأجهزة الحيوية الاستشعارية يمكن أن يعزز تطبيقات الطب المخصص المبني على البيانات، ويسمح بمراقبة المرضى من منازلهم، فهذا يسهل إدارة الأمراض المزمنة. لكن هذه التقنية تسبب قلق لبعض الأشخاص بشأن أمن البيانات والخصوصية.

يُعتبر الاتحاد الأوروبي من الأوائل في هذا المجال. وفي مختلف المناطق والمنظمات والدول التي تجري دراسات حول الطب المخصص، يُلاحظ أن المجتمعات في دول الاتحاد الأوروبي عموماً على وعي بالتقنيات المستخدمة في تطبيقات الطب المخصص، وتبدي ردود فعل إيجابية تجاهها. وقد بدأت الأبحاث والدراسات تنتشر في دول مثل السويد، ألمانيا، وسويسرا. أظهر استبيان أجري في المملكة المتحدة أن 63٪ من البالغين أعربوا عن قلقهم بشأن استخدام الذكاء الاصطناعي والبيانات الطبية، ومع ذلك تهدف الدراسات التي تتم في مملكة المتحدة وتحلل جينومات مرضى الأمراض النادرة والسرطان إلى دعم العلاجات المخصصة. غير ذلك، لوحظ في اليابان زيادة الأبحاث والمنظمات منذ عام 2015.

2.6 تكنولوجيا الاستنساخ (في الإنسان والحيوان والأعضاء)

الاستنساخ هو الحصول على خلايا أو كائنات متطابقة جينياً عن طريق التكاثر اللاجنسي. للاستنساخ ثلاثة أنواع: الاستنساخ الجزيئي، هو نسخ جين أو جزء من الـDNA؛ الاستنساخ التكاثري، هو إنشاء نسخة مطابقة وراثياً من كائن حي؛ الاستنساخ العلاجي، وهو إنتاج خلايا جذعية لاستخدامها في علاج الأمراض.

في الاستنساخ العلاجي يُؤخذ خلية من جسم المريض المراد استنساخه، ثم يُخَرَج نواتها (وبالتالي الـDNA) وتُوضع داخل بويضة فارغة. تبدأ البويضة بالانقسام كما في بداية تكوّن الجنين، ولكن خلال 5-6 أيام تصل إلى مرحلة تُسمى الكيسة الأريمية (blastosis). هذا الجنين لا يُزرع في الرحم، بل تُستخرج منه الخلايا الجذعية. هذه الخلايا قادرة على التحول إلى أي نوع من الخلايا في الجسم، ولذلك يمكن استخدامها لصنع أعضاء أو لتجديد الأنسجة الخاصة بالمريض. أما في الاستنساخ التكاثري (الإنجابي) فالعملية مشابهة تقريباً، لكن بعد تكوّن الكيسة الأريمية (blastosis) الجنين تُزرع في الرحم، وبعد فترة الحمل يولد كائن حي و جديد مطابق وراثياً. ولكن تطبيق هذه العملية على البشر محظور وممنوع.



من أوائل تجارب الاستنساخ تم بين عامي 1950 و1959 على الضفادع من طرف روبرت بريغز وتوماس كينغ بنقل النواة. وحتى عام 1995 كانت معظم عمليات الاستنساخ تتم باستخدام خلايا جنينية. غير أنه في عام 1996 نجح إيان ويلموت لأول مرة في استنساخ حيوان ثديي باستخدام نواة خلية جسمية، فتمكّن من استنساخ النعجة المشهورة المسماة دولي، وذلك من خلال خلايا أخذت من غدد ثديية لنعجة أخرى يبلغ عمرها ست سنوات. و بعد السنوات ٢٠٠٠، تم استنساخ العديد من الحيوانات من خلايا

جسدية. وعندما انتشرت أخبار استنساخ الحيوانات، طُرحت فكرة استخدام هذه التقنيات لاستنساخ الحيوانات المهددة بالانقراض، لكن هذا لم يُعتبر مناسباً، من سبب أنّ عدد البويضات الموجودة يساوي عدد الأفراد المتبقين من النوع ذاته. والدليل على ذلك أنّ دولي كانت الوحيدة التي تطوّرت من بين 29 جنيناً نُقلت أنويتها من نِجاج مختلفة. غير استنساخ الحيوانات، يوجد ادعاءات عن استنساخ البشر إلا ان لا يوجد أي دليل ملموس على ذلك. وكثير من العلماء يتعامل مع هذه الادعاءات بشك.

في عام 2011 أُجريت دراسة تم فيها نقل الحمض النووي المستخرج من خلايا جسدية لإنسان إلى بويضة، مما أدى إلى تكوين أجنة بشرية استُخدمت لإنتاج الخلايا الجذعية لعلاج الأمراض وتوليد أنسجة وأعضاء سليمة. ورغم أنّ هذه الأبحاث فتحت المجال أمام محاولات استنساخ البشر، إلا أنّ التكنولوجيا الحالية لا تسمح بتحقيق ذلك بشكل فعلي. وحتى اليوم، لم تُنتج سوى حيوانات مستنسخة على المستوى الجيني فقط دون أن تكون متطابقة في الصفات الظاهرية (الفينوتيبية). ويرى معظم العلماء أنّ استنساخ البشر أمر مرفوض أخلاقياً، بينما يدعو آخرون إلى المزيد من الأبحاث ويشبهون الأمر بالتوائم الطبيعية التي تتكوّن عفويًا. ومع تصاعد النقاش حول هذه القضية، أصدرت الأمم المتحدة عام 2005 "إعلان حظر استنساخ البشر"، الذي دعا الدول الأعضاء إلى تجريم هذه الممارسة قانونياً.

في جميع الدول، الاستنساخ البشري لأغراض التكاثر ممنوع. أما الاستنساخ العلاجي فيُسمح به فقط بعد الخضوع لرقابة صارمة وإجراءات الترخيص. الاتحاد الأوروبي يميز بين استنساخ الحيوانات في الثروة الحيوانية وإنتاج الغذاء؛ و استنساخ الحيوانات بهدف العلمية أو الطبية الأخرى، حيث يعتمد السماح أو المنع على هدف الاستنساخ. وقد اقترح البرلمان الأوروبي منع على استنساخ الحيوانات الزراعية مثل الأبقار والخنازير والأغنام والماعز والخيول، وكذلك على تسويق الحيوانات المستنسخة ونسلها ومنتجاتها. ومع ذلك، يُسمح باستنساخ الحيوانات الأليفة، والاستنساخ لأغراض البحث العلمي، والحفاظ على الأنواع المهددة بالانقراض، وكذلك إنتاج الأدوية أو الأجهزة الطبية، بشرط الالتزام بمعايير رفاحية الحيوان والإطار الأخلاقي. لذلك فإن استنساخ الحيوانات لأغراض غير غذائية ليس محظوراً. وعلى عكس الاتحاد الأوروبي، يُمارس الاستنساخ التجاري والزراعي والبحثي في الولايات المتحدة والبرازيل والصين. وفي بعض الدول الأخرى، لا تزال التشريعات الخاصة باستنساخ الحيوانات إما غير واضحة أو تحتوي على ثغرات قانونية.

2.7 هندسة الأعضاء والأنسجة

إصابات الأنسجة والأعضاء التي نتيجة الأمراض أو جروح تشكل مشكلة اقتصادية وصحية من عدم كفاية التبرع بالأعضاء وزيادة عدد الأشخاص على قائمة انتظار الزرع. المجال الذي يركّز على علاج مثل هذه الأضرار في الجسم يُسمّى "هندسة الأنسجة"

في هندسة الأنسجة، يتم أخذ خلايا المريض نفسها أو الخلايا الجذعية كخطوة أولية لإنتاج خلايا ستحل محل النسيج التالف. بعد ذلك، يتم تصميم هيكل ثلاثي الأبعاد متوافق حيويًا لتثبيت الخلايا وتنظيمها. ولضمان نمو هذه الخلايا بالشكل الصحيح، تُستخدم الجزيئات الحيوية أو عوامل النمو. بهذه الطريقة، يتم تقليل احتمالية تعرف الجسم على العضو كمادة غريبة أو رفضه تقريباً إلى الصفر. تُطبق هذه التقنية في مجالات مثل تجديد الجلد، وتجديد الغضاريف والعظام، وتجديد الأعضاء، وتجديد الأسنان والأنسجة الداعمة للأسنان (اللثة)

في عام 2018، استُخدمت الطابعات البيولوجية (البيو براينتر) لأول مرة في عملية إنتاج الأعضاء. والفرق بين هذه الطابعات وبقية الطابعات ثلاثية الأبعاد هو أن مادة الطباعة هي حبر بيولوجي. ويتكوّن الحبر البيولوجي من خلايا بشرية حية. تُسهّم هذه التقنية في تسريع وتسهيل إصلاح الأعضاء أو الأنسجة المعقدة

تقييد هندسة الأنسجة في إصلاح الأنسجة التالفة فقط يعني تجاهل الدراسات المتعلقة بتجريب الأدوية. فالمواد البيولوجية المطوّرة لهندسة الأنسجة تهدف أيضاً إلى تقصير مراحل التجارب السريرية للأدوية. إذ يمكن إنتاج نسخة مطابقة من نسيج الإنسان في المختبر، فيصبح من الممكن اختبار الأدوية عليه بدلاً من الحيوانات. ونظراً لأن التجارب تُجرى على خلايا بشرية، فإن هذه العملية تجعل الأدوية أكثر أماناً، كما تقلل من استخدام الحيوانات

قد لوحظ تركّز الدراسات السريرية في مجال هندسة الأنسجة في بعض الدول الأوروبية مثل ألمانيا، إسبانيا، بلجيكا والمملكة المتحدة. بالنسبة للأبحاث في مجال هندسة الأنسجة، فهي تتركّز أكثر في الولايات المتحدة الأمريكية، تليها الصين، ففي الاتحاد الأوروبي فنتم بشكل رئيسي في ألمانيا، المملكة المتحدة، هولندا، إيطاليا والسويد على التوالي.

الاتحاد الأوروبي يخصص اهتماماً كبيراً لحقوق الحيوانات، ولهذا السبب أحد توجهاته يشجع على استخدام رقائق الأنسجة كبديل الحيوانات المستخدمة في الاختبارات. وفي عام 2021، اقترح الاتحاد الأوروبي وضع خطة عمل لتطوير الأنظمة الميكروفسولوجية بهدف تقليل استخدام الحيوانات الحية في التجارب. على الرغم من ذلك، لا تزال تجارب الحيوانات خطوة ضرورية في تطوير الأدوية واللقاحات. في الصين، برزت هندسة الأنسجة منذ التسعينيات. وقد أنشأت الصين مختبرات مهمة مخصصة لهذا المجال، كما زادت استثماراتها فيه.

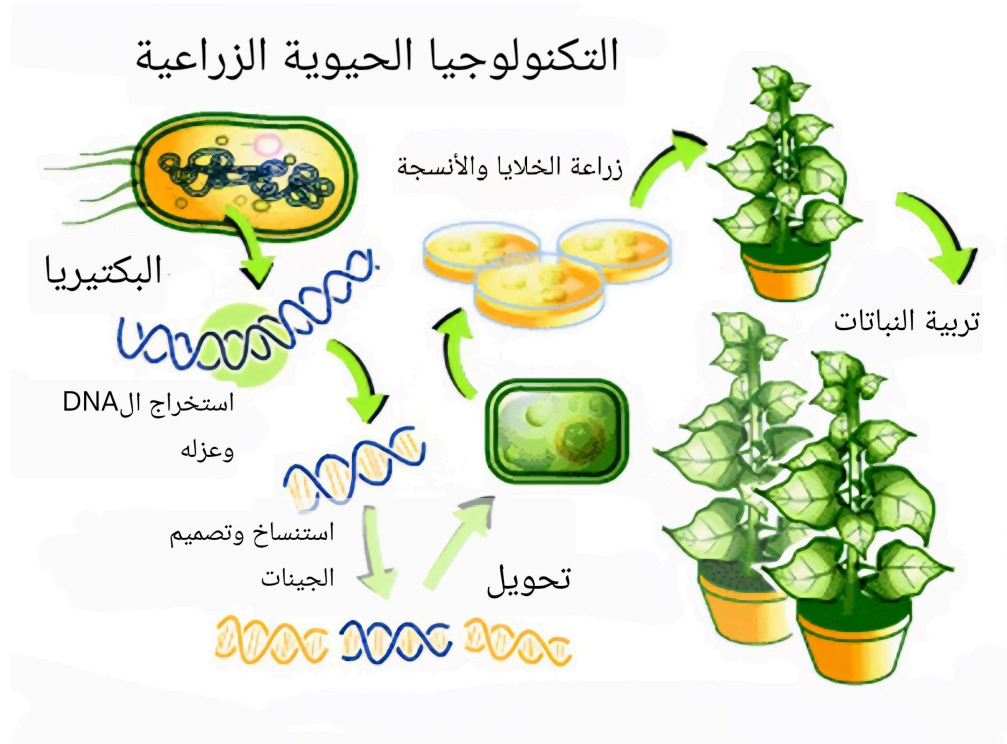
3. المستقبل المتوقع والتطور المحتمل للتقنية الحيوية-النانونية

3.1 إمكانات استخدام تقنية النانو (في التكنولوجيا الحيوية) في مجالات الصحة والبيئة والغذاء/الزراعة

تُعرف التقنية الحيوية-النانونية بأنها التفاعل بين تقنية النانو والتكنولوجيا الحيوية، وتهدف إلى تطوير مواد وأجهزة وطرق يمكنها التفاعل مع الأنظمة البيولوجية على مقياس النانومتر. وتتمثل الميزة الأساسية لهذا المجال في القدرة على التحكم في العمليات الحيوية على المستوى الجزيئي، مما يفتح آفاقاً للتطور في مجالات التشخيص والعلاج وكذلك الإنتاج الصناعي.

في المجال الصحي، تُعتبر "الطب النانوي" من أبرز التطورات. فالطب النانوي لا يقتصر على تحسين طرق العلاج الحالية؛ بل يشمل أيضاً تخصيص العلاج، الوقاية من الأمراض، وتطبيقات الطب التجديدي. أنظمة إيصال الدواء الموجهة (targeted drug delivery) تمكن الجسيمات النانوية من التعرف على علامات بيولوجية محددة والارتباط بالخلايا المريضة فقط، وهو ما يقلل بشكل كبير من الآثار الجانبية للعلاج الكيميائي ويزيد من فعاليته في بيئة الورم. أما تقنية DNA origami فهي تسمح بطي سلاسل الـ DNA بطريقة مُتحكَّم بها لتكوين هياكل نانوية ثلاثية الأبعاد يمكنها العمل كناقلات جزيئية أو أدوات لتحرير الجينات أو أجهزة استشعار حيوية. على سبيل المثال، عند دمجها مع أنظمة CRISPR-Cas9 فإنها تعزز دقة استهداف الجينات داخل الخلايا. كذلك، ظهرت الضمادات الذكية القادرة على مراقبة مستوى الحموضة (pH) ودرجة الحرارة والرطوبة للجروح، وتسريع عملية الشفاء من خلال مستشعرات نانوية مدمجة تطلق الدواء عند الحاجة، مما يمثل تقدماً كبيراً في علاج الجروح المزمنة.

في المجال الزراعي، تملك التقنية الحيوية-النانونية القدرة على حل مشكلات الأمن الغذائي العالمي. إذ تستطيع المستشعرات النانوية الحيوية الكشف في الوقت الحقيقي عن رطوبة التربة ومستوى المغذيات أو وجود مسببات الأمراض، ما يتيح تحسين استخدام المبيدات والأسمدة. كما أن الكبسولات النانوية ذات الإطلاق المُتحكَّم به تُطلق المادة الفعالة فقط عند تحقق ظروف بيئية معينة، مما يزيد الإنتاج الزراعي ويقلل من العبء الكيميائي على النظام البيئي.



أما التطبيقات البيئية، فهي تُعتبر محورية في إطار أهداف الاستدامة. أنظمة الترشيح النانوي أثبتت فعالية أعلى من الطرق التقليدية في إزالة الملوثات مثل المعادن الثقيلة والمبيدات الدقيقة واللدائن الدقيقة (microplastics). إضافة إلى ذلك، فإن المواد النانوية الضوئية-التحفيزية (photocatalytic) يمكنها استخدام ضوء الشمس لتنقية المياه أو تفكيك الملوثات. كما أن المواد النانوية المستخدمة في تقنيات احتجاز وتخزين الكربون (CCS) تؤدي دوراً مهماً في مكافحة التغير المناخي.

تختلف مقاربات الدول في هذا المجال وفقاً لأنظمتها السياسية وأولوياتها الاقتصادية وأطرها الأخلاقية. فالولايات المتحدة تبنت مبدأ المخاطرة العالية-العائد العالي وشجعت استثمارات القطاع الخاص، مما أتاح الابتكار السريع لكنه جلب أيضاً انتقادات تتعلق بضعف الرقابة في جوانب السلامة والأخلاقيات. أما الصين، فقد حققت تقدماً سريعاً بفضل استثمارات البحث والتطوير الموجهة من الدولة والاستراتيجيات الوطنية، وسجلت قفزات مهمة في الروبوتات الطبية النانوية، الأسمدة النانوية الزراعية، وأنظمة المعالجة البيئية. غير أن غياب الشفافية وانتهاكات حقوق الملكية الفكرية أثارت جدلاً عالمياً. بينما تبني الاتحاد الأوروبي وخاصة ألمانيا نهج "السلامة أولاً"، فافرضاً اختبارات إلزامية للتوافق الحيوي والسُميّة البيئية طويلة المدى قبل طرح المنتجات النانوية في الأسواق. ورغم أن ذلك يبطئ وتيرة الابتكار نسبياً، فإنه يعزز ثقة المجتمع.

أما القضايا المثيرة للجدل فلا تتعلق بالسلامة فحسب، بل تمتد لتشمل التأثيرات الاجتماعية والاقتصادية للتقنية. إذ يمكن لأنظمة البراءات والتراخيص أن تحد من وصول الدول النامية إلى هذه التكنولوجيات، وهو ما يتعارض مع أهداف الصحة والأمن الغذائي العالمي. إضافة إلى ذلك، فإن الاستخدامات العسكرية المحتملة لتقنية النانو – مثل الطائرات المسيّرة النانوية الحاملة لعوامل بيولوجية أو أجهزة المراقبة على المستوى النانوي – تطرح مشكلات أخلاقية وأمنية دولية خطيرة. كما أن قدرة التقنية الحيوية-النانوية على التدخل في الجينوم البشري تفتح نقاشاً جديداً يُسمّى بـ "اللامساواة البيوتكنولوجية"، وهو ما يجب التعامل معه ليس فقط من منظور السلامة الحيوية، بل أيضاً من منظور حقوق الإنسان.

3.2 دمج الذكاء الاصطناعي مع التقنية الحيوية-النانوية

إن دمج الذكاء الاصطناعي مع التقنية الحيوية-النانوية يشكّل أحد المجالات الواعدة في تقاطع العلم والتكنولوجيا. فبينما تركز التقنية الحيوية-النانوية على تطوير تطبيقات قادرة على التفاعل مع الأنظمة البيولوجية، فإن الذكاء الاصطناعي، بفضل قدراته في تحليل البيانات الضخمة والنمذجة والتنبؤ، يعزز بشكل كبير من سرعة هذه العمليات وكفاءتها ودقتها. إن اجتماع هذين المجالين سيُتيح حدوث تغييرات كبيرة وفعالة، وخاصة في قطاعات الصحة والبيئة والإنتاج الصناعي. إن تقنيات النمذجة المدعومة بالذكاء الاصطناعي تسرّع العملية التجريبية في التصميمات النانوية-البيولوجية، مما يقلل من عبء الدراسات المخبرية الطويلة والمكلفة، وفي الوقت نفسه يزيد من موثوقية النتائج. ويُعتبر ضمان التوافق الحيوي من أهم مكاسب هذا الدمج؛ إذ إن قدرة الذكاء الاصطناعي على التنبؤ المسبق بتفاعلات المواد النانوية مع الأنسجة وأجهزة الجسم تمكّن من تحديد الاستجابات المناعية المحتملة، ومخاطر السمية، والآثار البيولوجية طويلة الأمد، مما يرفع معايير السلامة بشكل خاص في التطبيقات التي تتواصل مباشرة مع صحة الإنسان، مثل الأجهزة الطبية والغرسات وأنظمة توصيل الدواء الموجهة.

إن هذا الدمج التكنولوجي يلعب أيضاً دوراً في مجال الطب الشخصي. فمن خلال تحليل البيانات الجينية والتمثيلية والبيولوجية للمرضى، يمكن لأنظمة توصيل الدواء النانوية أن تُضبط بواسطة خوارزميات الذكاء الاصطناعي بحيث توفر جرعات وسرعات إطلاق مخصصة لكل مريض. وبهذا تزداد فعالية العلاج وتُقلل الآثار الجانبية، وترتقي جودة الخدمات الصحية. إضافة إلى ذلك، فإن الروبوتات النانوية المدعومة بالذكاء الاصطناعي تستطيع التنقل في مجرى الدم والوصول إلى الخلايا المستهدفة لعلاج المناطق المريضة فقط، مما يشكل بديلاً للعلاجات التقليدية مثل العلاج الكيميائي الذي يرافقه آثار جانبية كبيرة.

كما أن دمج الذكاء الاصطناعي مع التقنية الحيوية-النانوية يقدم مزايا مهمة في التطبيقات البيئية. إذ تقوم خوارزميات الذكاء الاصطناعي بنمذجة انتشار المواد النانوية في البيئة، وإمكانات تراكمها الحيوي، وتأثيراتها على النظم البيئية، مما يساهم في تصميم عمليات إنتاج أكثر استدامة. وبهذا يمكن تطوير أنظمة تنقية المياه، وتقنيات تخزين الطاقة، والمواد الذكية الصديقة للبيئة بشكل أكثر كفاءة. كما يمكن تحسين الحلول النانوية المخصصة لإزالة النفايات الصناعية والمواد السامة من الطبيعة من خلال التحليل الذكي، لتحقيق استهلاك أقل للطاقة وتقليل الأضرار البيئية إلى أدنى حد.

غير أن الأبعاد الأخلاقية والقانونية والأمنية لهذا الدمج لا يمكن إغفالها. إن شفافية خوارزميات الذكاء الاصطناعي، وأمن البيانات، والاستخدام الأخلاقي للبيانات البيولوجية، ومنع التحيزات الخوارزمية، تُعد من القضايا الأساسية المطروحة على المستوى الدولي. كما أن احتمالية إساءة استخدام هذه التقنيات لأغراض عسكرية أو في أنظمة المراقبة تزيد من المخاوف الأمنية العالمية. إن الدول تتبنى استراتيجيات مختلفة في هذا الصدد. فالولايات المتحدة، عبر سياسات التطوير السريع بقيادة القطاع الخاص، تشجع الابتكار، بينما تحقق الصين تقدماً سريعاً بفضل المشاريع الضخمة المدعومة من الدولة في مجال الذكاء الاصطناعي والتقنية الحيوية-النانونية، لكنها غالباً ما تضع المخاوف الأخلاقية في مرتبة ثانوية. أما ألمانيا، فإنها تعتمد مقاربة حذرة في إطار لوائح الاتحاد الأوروبي الصارمة، واطاعة صحة الإنسان وأمن البيئة في المركز، وبالتالي تتحرك بخطوات أبطأ ولكن أكثر أماناً. وتُعتبر اليابان من الدول الرائدة في دمج الذكاء الاصطناعي مع حلول التقنية النانونية الطبية الموجهة نحو السكان المسنين، في حين تستفيد الهند من هذا المجال لتطوير حلول طبية منخفضة التكلفة وتقنيات زراعية. أما البرازيل، فإنها تطوّر دمج الذكاء الاصطناعي مع التطبيقات الحيوية-النانونية البيئية في إطار أهداف الاستدامة، خاصة فيما يتعلق بحماية نظام الأمازون البيئي. إن ذلك يوضح أن التقنية الحيوية-النانونية المدعومة بالذكاء الاصطناعي لا تمثل مجرد تحول تقني، بل أيضاً انعكاساً لاختلاف السياسات والمعايير الأخلاقية على المستوى العالمي.

3.3 الآثار البيئية للتقنية الحيوية-النانونية

إن الآثار البيئية للتقنية الحيوية-النانونية تُشكّل مجالاً واسعاً ومتعدد الأبعاد من حيث فوائدها المحتملة وما تحمله من مخاطر. فعند تطبيقها بشكل صحيح يمكن أن تساهم مساهمة كبيرة في حماية النظم البيئية وحل المشكلات البيئية؛ ولكن في حال استخدامها بشكل غير مراقب أو غير مدروس فإنها قد تؤدي إلى أضرار بيئية يصعب أو حتى يستحيل التراجع عنها.

من الجوانب الإيجابية، تطوّر التقنية الحيوية-النانونية حلولاً مبتكرة داعمة للعمليات الطبيعية. ففي الزراعة، تساعد المستشعرات النانونية-الحيوية التي تراقب صحة التربة على الكشف المبكر عن احتياجات النباتات الغذائية أو إصابتها بالأمراض، مما يقلل من الاستخدام غير الضروري للأسمدة الكيميائية والمبيدات، وبالتالي يساهم في الحفاظ على التوازن الميكروبي للتربة. أما المواد النانونية القادرة على احتجاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي فهي تعزز من فعالية تقنيات احتجاز الكربون في مواجهة تغير المناخ. وتساهم أنظمة الترشيح النانونية المستخدمة في النظم البيئية البحرية في تقليل تلوث النفط واللداّن الدقيقة والمعادن الثقيلة، مما يحسن من مواطن الكائنات البحرية. كما أن المواد النانونية المعتمدة على الفضة وثاني أكسيد التيتانيوم المستخدمة في أنظمة تنقية المياه تقضي بفعالية على مسببات الأمراض، مما يسهل الوصول إلى المياه النظيفة.

ومع ذلك، فإن المخاطر البيئية لهذه التقنيات بالغة الأهمية. ومن أخطر التهديدات السميّة المحتملة للجسيمات النانونية. فبفضل صغر حجمها تستطيع المواد النانونية عبور أغشية الخلايا بسهولة، مما يؤدي إلى تلف الـ DNA على المستوى الخلوي، أو تحفيز الإجهاد التأكسدي، أو إطلاق عمليات موت الخلايا المبرمج. كما أن انتقال هذه الجسيمات إلى الكائنات الحية عن طريق الاستنشاق أو ملامسة الجلد قد يتسبب في التهابات بأنسجة الرئة أو التلّيف أو زيادة خطر الإصابة بالسرطان على المدى الطويل. بالإضافة إلى ذلك، فإن وصول هذه الجسيمات إلى المياه أو التربة قد يؤدي إلى حدوث طفرات في التركيب الجيني للكائنات الدقيقة، مما يخل بالدورة الغذائية في النظام البيئي.

ويُعتبر خطر التراكم الحيوي (bioaccumulation) قضية خطيرة أخرى. إذ يمكن للجسيمات النانونية أن تبقى في الطبيعة لفترات طويلة دون أن تتحلل، وتدخل في السلسلة الغذائية. فعلى سبيل المثال، تؤدي المواد النانونية المعدنية (وخاصة الفضة وأكسيد الزنك وكبريتيد الكاديوم) إلى تراكمها في خياشيم وأسماك الكبد، مسببة إجهاداً فسيولوجياً، ويمكن أن تنتقل هذه التراكمت حتى تصل إلى الإنسان. وهذا يشكل تهديداً كبيراً لصحة الكائنات الحية في قمة السلسلة الغذائية.

وتتبع الدول استراتيجيات مختلفة لإدارة هذه المخاطر والاستفادة من الفرص. فالولايات المتحدة تدعم الابتكار القائم على السوق الحرة وتترك إدارة المخاطر البيئية في الغالب لمسؤولية القطاع الصناعي، لكنها في الوقت ذاته تُجري دراسات تنظيمية حول التأثيرات البيئية للمواد النانونية عبر وكالة حماية البيئة (EPA). أما الصين، فبفضل استثمارات الدولة في البحث والتطوير فهي تحقق تقدماً سريعاً في مجال التقنية الحيوية-النانونية، لكنها تضع في كثير من الأحيان النمو الاقتصادي والتفوق التكنولوجي قبل المخاوف الأخلاقية والبيئية. بينما تعتمد ألمانيا مقاربة حذرة بتطبيقها معايير بيئية صارمة يفرضها الاتحاد الأوروبي، وتُلزم بإجراء اختبارات السميّة البيئية قبل استخدام المواد النانونية. وتستخدم اليابان التقنية الحيوية-النانونية على نطاق واسع في مجال تنقية المياه واستعادة البيئة، لكنها في الوقت نفسه تنفذ برامج مراقبة بيئية شاملة لمواجهة احتمالات السمية. أما الدول النامية مثل الهند والبرازيل فهي تستهدف الاستفادة من هذه التقنية في الزراعة وإدارة المياه، لكنها تواجه مخاطر محتملة بسبب قصور معايير السلامة البيئية.

إن التعاون الدولي بشأن الآثار البيئية للتقنية الحيوية-النانونية، ووضع معايير مشتركة، وتعزيز الدراسات الميدانية طويلة المدى حول السمية البيئية، يُعتبر أمراً بالغ الأهمية. وإلا فإن الإمكانات البيئية الإيجابية التي توفرها هذه التقنية قد تنتقل إلى أضرار لا يمكن عكسها على النظم البيئية بسبب الاستخدام غير المراقب.

3.4 التوافق والثقة في التكنولوجيا الحيوية النانونية (حالة تحقيق التوافق/عدم تحقيقه وضمان سلامتها على المدى الطويل)

تُعد التكنولوجيا الحيوية النانونية تقنية مؤثرة في العديد من المجالات مثل الطب، والهندسة الطبية الحيوية، والزراعة، وعلوم البيئة. غير أن تفعيل هذا الإمكان بشكل آمن ومستدام يتطلب أن يلعب مفهوم "التوافق" و"الثقة" دوراً مركزياً. يشير "التوافق الحيوي" إلى قدرة مادة نانونية أو منتج حيوي-نانو تكنولوجي على التفاعل مع الأنسجة الحية والأنظمة البيولوجية بطريقة منسجمة دون إحداث تفاعلات سامة أو استجابات مناعية. وهذا المفهوم لا يقتصر على صحة الإنسان فحسب، بل يُعد أيضاً ذا أهمية بالغة لحماية النظم البيئية.

في التطبيقات الطبية، يُعتبر التوافق الحيوي عاملاً مباشراً في تحديد معدل النجاح في أنظمة توصيل الدواء، والعلاجات النانونية الموجهة، وهياكل هندسة الأنسجة (scaffolds)، وطلاءات أسطح الغرسات. على سبيل المثال، يقوم "Helmholtz Zentrum für Infektionsforschung" و"معهد فراونهورف" في ألمانيا بإجراء اختبارات التوافق الحيوي وفقاً للبروتوكولات المتقدمة لعلم السموم والمطابقة لمعايير ISO. أما في فرنسا، فإن الأبحاث التي تُجرى ضمن المركز الوطني للبحث العلمي (CNRS) تحلل تأثير المواد النانونية على الاستجابة المناعية على المستوى الجزيئي، مظهرة المخاطر التي قد تنشأ عند غياب التوافق الحيوي مثل عاصفة السيتوكين، أو تلف الحمض النووي، أو العمليات الالتهابية.

إن عدم تحقيق التوافق الحيوي قد يشكل تهديدات خطيرة على صحة الإنسان وعلى السلامة البيئية على حد سواء. ففي الولايات المتحدة، تنشر "المبادرة الوطنية للتكنولوجيا النانونية (NNI)" تقارير تقييم مخاطر شاملة، خاصة فيما يتعلق بالسمية طويلة الأمد لجزيئات الفضة النانونية، وأنيبيب الكربون النانونية، وبعض أكاسيد المعادن النانونية. أما في اليابان، فقد أظهرت الدراسات التي أجراها "المعهد الوطني لعلوم المواد (NIMS)" أن غياب التوافق الحيوي يمكن أن يؤدي إلى اختلال سلامة غشاء الخلية، وزيادة الإجهاد التأكسدي، وتراكم خطر الطفرات الجينية على المدى الطويل.

يُعد ضمان السلامة على المدى الطويل شرطاً لا غنى عنه للتكنولوجيا الحيوية النانونية. وينبغي ألا تقتصر هذه المقاربة الأمنية على الاختبارات السابقة للاستخدام السريري فحسب، بل يجب أن تشمل أيضاً دراسة عمليات تحليل المواد النانونية في الجسم أو البيئة، وإمكانات تراكمها الحيوي، وتأثيراتها عبر الأجيال. وقد تبنت الاتحاد الأوروبي ضمن برنامج Horizon Europe منهجية "Safe-by-Design"، التي تلزم بدمج معايير التوافق الحيوي والسلامة طويلة الأمد في مرحلة تصميم المنتجات النانونية. وتُعتبر ألمانيا، وفرنسا، وهولندا، والدول الإسكندنافية في طليعة الدول التي تطبق هذا النهج على المستوى التشريعي.

ومن الناحية البيئية، فإن غياب التوافق الحيوي قد يؤدي إلى آثار يصعب عكسها في النظم البيئية. إذ يمكن أن تتراكم الجزيئات النانونية في التربة والمياه، مسببة أضراراً للطحالب والكائنات الدقيقة الأخرى، وبالتالي إحداث اضطراب في السلسلة الغذائية. ولهذا السبب، يفرض كل من "وكالة حماية البيئة الأمريكية (EPA)" و"وكالة المواد الكيميائية الأوروبية (ECHA)" اختبارات صارمة للتوافق الحيوي والسمية على المواد النانونية التي يمكن إطلاقها في البيئة. أما الصين وكوريا الجنوبية، فتعملان على تطوير أطر تنظيمية خاصة لضمان التوافق الحيوي في تطبيقات التكنولوجيا الحيوية النانونية الزراعية.

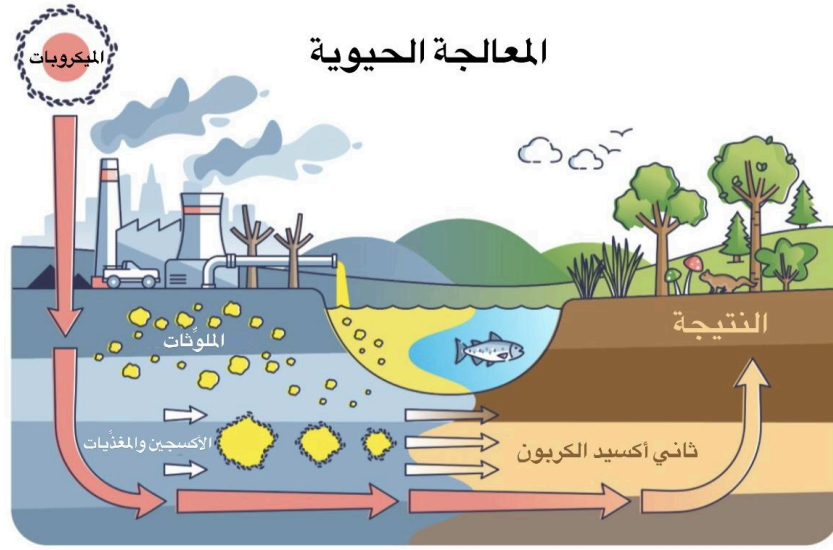
إن الانتشار الموثوق والأخلاقي للتكنولوجيا الحيوية النانونية يتوقف على ضمان التوافق الحيوي بدقة، وعلى جعل تحليلات السلامة طويلة الأمد إلزامية. وتتصدر دول مثل فرنسا، وألمانيا، والولايات المتحدة، واليابان هذا المجال علمياً وتنظيمياً، ساعيةً إلى تقليل المخاطر الصحية والبيئية الناجمة عن غياب التوافق الحيوي. وفي المستقبل، فإن توحيد هذه المعايير على المستوى الدولي سيؤدي دوراً مهماً في حماية كل من التجارة العالمية وصحة المجتمع.

4.1 تكنولوجيا المعالجة الحيوية

التلوث البيئي ما زال يُعد في يومنا هذا من أكبر المشاكل العالمية. هذا الخطر الذي يخص جميع الأنظمة البيولوجية ناتج عن أسباب متعددة مثل: التنمية الصناعية غير المُسيطر عليها، زيادة السكان، التحضر، ارتفاع الطلب على الغذاء، تملح الأراضي الزراعية،

وانتشار المواد الكيميائية الخطيرة في البيئة. في هذا العصر الذي تتطور فيه التكنولوجيا باستمرار، هناك حاجة دولية إلى تطبيقات مبتكرة وصديقة للطبيعة وإلى ترميم المواقع الملوثة. أما الأساليب الحالية لتنظيف البيئة فهي تتضمن طرق المعالجة التقليدية. تطوّر التكنولوجيا الحيوية يفتح الطريق لتصميم تقنيات جديدة وأكثر استدامة وفعالية في تنظيف البيئة بالاعتماد على المواد البيولوجية، وذلك لضمان توازن بيئي صحي.

إدارة المعالجة الحيوية (البيوريميديشن) التي يمكن دراستها ضمن تطبيقات التكنولوجيا الحيوية البيئية، تتميز مقارنةً بطرق التنظيف البيئي التقليدية بأنها أقل تكلفةً بعشر مرات أو بنسبة تتراوح بين 60-90% مقارنةً ببعض التقنيات الأخرى، إضافةً إلى انخفاض حاجتها للصيانة، واستدامتها، وقدرتها على تقليل مدة عملية والاهم بأنها تحلل الملوثات كاملاً.



تنقسم طرق المعالجة الحيوية (البيوريميديشن) إلى نوعين: في الموقع (In-situ) و خارج الموقع (Ex-situ)، وهذه الطرق تنقسم بدورها إلى تقنيات مختلفة. تشير In-situ إلى التقنيات التي تُطبق في مكان التلوث نفسه، بينما Ex-situ تعني نقل الملوثات ومعالجتها في موقع آخر. رغم أنّ تقنيات In-situ أرخص و تتم بدون الإضرار بالطبيعة، هي لا تنجح في جميع الحالات. أما تقنيات Ex-situ أسرع وأسهل من حيث السيطرة والتحكم، لكنها أعلى، كما أنّ عملية النقل قد تُزعج البيئة. ومن أمثلة هذه التقنيات: الفلتوريميديشن (Filtro-remediation)، الإصلاح الميكروبي (Microbial remediation)، المعالجة بالفطريات (Mycoremediation)، والمناورة البيولوجية (Biomanipulation).

عند اتخاذ القرار حول أي نوع من العمليات يمكن تطبيقه وأين وكيف، أو عند تقييم قابلية تطبيق المعالجة الحيوية بشكل عام، يجب مراعاة عدة عوامل مثل: بنية التربة، درجة الحرارة، درجة الحموضة (pH)، نوع الملوث، القرب من المناطق السكنية والمساحات الخضراء الأخرى، وكذلك الإمكانيات التقنية والاقتصادية المتوفرة. وعلى الرغم من أنّ المعالجة الحيوية قابلة للتطبيق في معظم الحالات، هي قد تصبح في بعض الوضعيات عملية صعبة، طويلة ومكلفة. فمثلاً، الملوثات غير العضوية مثل المعادن الثقيلة لا يمكن تنظيفها بالوسائل البيولوجية، وفي هذه الحالات تصبح المعالجة الحيوية غير كافية.

المعالجة النباتية (Phytoremediation) هي إحدى أنواع المعالجة الحيوية (Bioremediation)، وتُستخدم بشكل خاص لمعالجة الملوثات غير العضوية مثل المعادن الثقيلة، وهي طريقة فعّالة في كثير من الحالات. على الرغم من أنها تتم بأسلوب in-situ، يُعدّ الفيتوريميديشن (المعالجة النباتية) تقنية خاصة ضمن أساليب المعالجة الحيوية، لأنها تختلف عن تقنيات in-situ الكلاسيكية التي تُستخدم فيها الكائنات الدقيقة، حيث يقوم على عمليات حيوية مختلفة. في هذه التقنية تُزرع النباتات في التربة الملوثة فتعمل على تحلل الملوثات وتثبيت التربة. ورغم أنّ هذه الطريقة تحتاج إلى وقت أطول، هي أكثر استدامة بيئياً، لأن معظم التقنيات الفيزيائية-الكيميائية لمعالجة التربة تهدد الأنشطة الحيوية في التربة وتجعلها غير مناسبة لنمو النباتات، في حين يحافظ الفيتوريميديشن على الصفات الحيوية كالهيكلة للتربة. كما يتميز أيضاً بتكلفة منخفضة مقارنةً مع التقنيات الأخرى.

في مجال المعالجة الحيوية (Biorremediation)، تأتي الصين في مقدمة الدول من حيث عدد طلبات البراءات، كما تستخدم تقنيات المعالجة الحيوية بشكل نشط في مواقع النفايات الصناعية والبلدية. وعلى المستوى العالمي، يُلاحظ استخدام المعالجة الحيوية في تنظيف النفط والمياه العادمة. أما في أوروبا، فتُطبق تقنيات المعالجة الحيوية in-situ أكثر في هولندا، كما تُجرى بحوث وتطورات حول تكنولوجيا المعالجة الحيوية. أما الدول النامية مثل الهند وإندونيسيا، تطبق هذه التقنيات، وتقوم بأبحاث

4.2 الزراعة وإنتاج الغذاء (الكائنات المعدلة وراثيًا والأسمدة الحيوية)

تنقسم التقنية الحيوية الزراعية (Agrobiotechnology) إلى ثلاثة مجالات فرعية: الزراعة، الثروة الحيوانية، وتقنية الغذاء الحيوية. ومن أبرز المفاهيم في استخدام التقنية الحيوية في الزراعة، تحسين النباتات، وهو عملية تهجين واختيار؛ تهدف إلى الحصول على نبات جديد مع صفات مرغوبة. ومنذ بداية البشرية وحتى يومنا هذا، زاد الاهتمام لتحسين النباتات بالتوازي مع زيادة السكان. ومع تزايد أهمية تحسين النباتات، ازدادت أيضًا الدراسات والأبحاث العلمية في هذا المجال. ويتم تحسين النباتات التقليدي باستخدام التنوع الوراثي الطبيعي عن طريق التهجين والاختيار، بطريقة أكثر تقليدية. أما طريقة أخرى تُستخدم في الزراعة وإنتاج الغذاء، مسمى الكائنات المعدلة وراثيًا (GMO)، التي يتم فيها تعديل الجينات في المختبر؛ بحذف، أو تعديل، أو إضافة جينات من نوع آخر. وعند إضافة جينات من نوع مختلف يُطلق على الكائن الناتج اسم متحور وراثيًا (Transgenic).

باستخدام طرق التحسين التقليدية للنباتات، يؤدي نقل الجينات المسؤولة عن مقاومة الأمراض إلى تقليل الحاجة إلى استخدام الأدوية، كما يتم إطالة مدة صلاحية المنتجات. ومع ذلك، النباتات المتحورة وراثيًا (Transgenic) التي تحتوي على جينات من أنواع أخرى، قد تحمل معها بعض المخاطر المحتملة.

تم نقل جين مأخوذ من نوع من الأسماك التي تعيش في المناطق القطبية إلى نباتات مثل الطماطم والفراولة، ما أدى إلى إنتاج أنواع جديدة مقاومة للبرد. يوضح هذا أن النباتات المتحورة وراثيًا لا تُستخدم فقط لمكافحة الأمراض أو الجينات الضارة، بل تهدف أيضًا إلى تحسين الطعم، والمظهر، والقيمة الغذائية للمنتج، بالإضافة إلى تسهيل النقل والتخزين. مع ذلك، تخلق هذه التكنولوجيا البيئيين، والمنظمات غير الحكومية، ومنظمات حماية المستهلك، والعلماء، نظرًا لاحتمالية حدوث تأثيرات ضارة على الكائنات غير المستهدفة في البيئة. فقد أظهرت إحدى الدراسات أن غبار الطلع لنبات B.t. الذرة تسبب في ارتفاع معدلات وفاة يرقة فراشة الملك. كما أن هناك احتمالًا لنقل الجينات من النباتات المتحورة إلى نباتات أخرى في نفس الحقل، مما يشكل خطرًا بيئيًا إضافيًا. بالإضافة إلى ذلك، لوحظ أن لهذه النباتات آثارًا سلبية محتملة على صحة الإنسان. فقد يؤدي نقل الجينات إلى تكوين مواد مسببة للحساسية جديدة، أو استخدام جينات مقاومة للمضادات الحيوية في النباتات المعدلة وراثيًا قد يجعل العلاج بالمضادات الحيوية غير فعال إذا انتقلت هذه الجينات إلى البكتيريا المسببة للأمراض.

تُعتبر الولايات المتحدة الأمريكية من الدول الأكثر استخدامًا للكائنات المعدلة وراثيًا (GMO)، فهي أتتبع نهجًا أكثر مرونة مقارنة بالدول الأخرى فيما يخص زراعة هذه الكائنات، ولا يوجد على المستوى الفيدرالي قانون إلزامي لوضع ملصقات على المنتجات المعدلة وراثيًا. مع ذلك، تطور الإنتاج الزراعي على المستوى العالمي، خاصة في الاتحاد الأوروبي والدول المتقدمة الأخرى، بدأت المناقشات حول الآثار السلبية للأسمدة الكيميائية والمبيدات الزراعية على البيئة، وتم اتخاذ خطوات للحد من بعض هذه الأنشطة الزراعية الضارة. وبدلاً من ذلك، تم تطوير أنظمة زراعية بديلة تدعم الزراعة العضوية، مثل الأسمدة الحيوية، وإنتاج هرمونات النبات، والمبيدات الحيوية. إضافة إلى ذلك، تُستخدم بعض التقنيات خارج نطاق التقنية الحيوية والتي تعتمد على تكنولوجيا النانو، مثل الأسمدة النانوية، والمبيدات النانوية، ومعالجة البذور بالنانو-برايمر، وأجهزة الاستشعار النانوية لمراقبة معايير التربة والنبات بدقة. ومع ذلك، لا تزال الدراسات مستمرة حول التأثيرات طويلة الأمد لهذه الجسيمات النانوية على ميكروبيوم التربة والآثار السامة المحتملة على صحة الإنسان. في بعض المناطق، ضغط الشعوب أدت إلى محاولة زيادة المساحات الزراعية بشكل غير صحي، ومع ذلك لم تكفي هذه المساحات لتوفير الاحتياجات الغذائية للسكان. ولذلك يُعتبر توفير الاحتياجات الغذائية للسكان الدنيا جميعاً التي يتزايد بسرعة من القضايا المهمة. انخفاض الأراضي القابلة للزراعة وانخفاض الموارد المائية الموجودة أدى إلى الحاجة إلى زيادة الإنتاج لكل وحدة مساحة. ولأن الطرق التقليدية في تحسين النباتات لم تعد تعطي إنتاجًا أكبر، أصبح من الضروري استخدام تقنيات حديثة.

4.3 تنظيف البيئة: الترشيح النانوي، الحديد النانوي، البلاستيك الحيوي، الطلاء النانوي والتحفيز الضوئي النانوي

باستخدام الجسيمات النانوية تم مشروعات و أبحاث ثوري في مجالات مختلفة. مثلاً تُستخدم أجهزة استشعار نانوية الحجم للكشف المبكر عن المشكلات البيئية ومراقبتها. هذه الأجهزة قادرة على رصد تغييرات دقيقة جدًا، وبفضلها يمكن اكتشاف المواد الضارة في الهواء أو الماء بسهولة، مما يُسهل السيطرة على التلوث البيئي.

يُستخدم مرشحات النانو (Nanofilters) للحصول على الماء النظيف، وهو مورد حيوي يزداد ندرته مع الوقت. تتم عملية الترشيح النانوي باستخدام مواد مثل أنابيب الكربون النانوية وألياف الألومينا. هذه الطريقة أكثر فعالية من طرق الترشيح التقليدية، لأنها تحتاج إلى ضغط أقل، ولها مساحة سطح كبيرة فلذلك تنظيفها أسهل. تستطيع مرشحات النانو إزالة الرواسب، والمواد الكيميائية، والجزيئات المشحونة، والبكتيريا، وعناصر سامة مثل الزرنيخ، والمواد الزيتية اللزجة، وحتى الفيروسات وغيرها من مسببات الأمراض. كما تُستخدم هذه المرشحات أيضًا في تنقية الهواء، مثل وضعها في أنابيب العادم أو مداخن المصانع.

في تنظيف البحار، تُستخدم تقنيات تعتمد على مادة تسمى الأيروجيل (Aerogel) لمعالجة من التلوث الناتج عن تسرب النفط، والمعادن الثقيلة، والمنظفات، والأصبغ السامة، وكذلك لترشيح جزيئات البلاستيك الدقيقة. الأيروجيلات مواد خفيفة جدًا، تتكون أكثر من 90% منها من الهواء، وهي مسامية ومنخفضة الكثافة. تعمل مثل الإسفنج في امتصاص الملوثات، ويمكن تصنيعها من الكربون، أو السيليولوز، أو الغرافين، وأكثرها بانتشار من السيليكا، وتختلف أنواعها حسب نوع الملوثات المستهدفة.

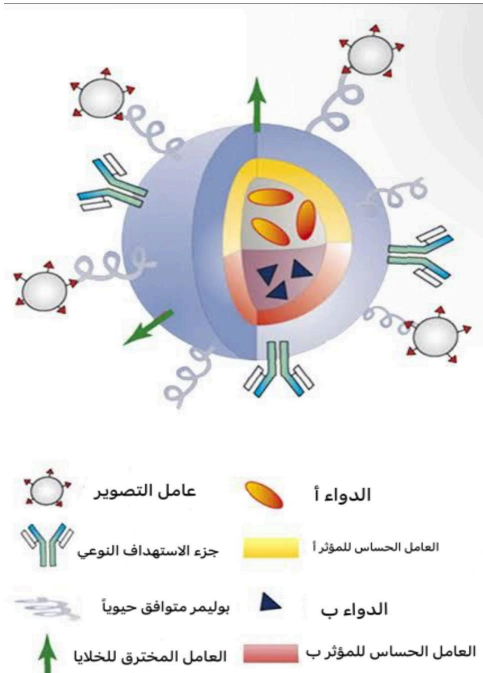
يُستخدم البوليمرات الحيوية في إنتاج العبوات الصديقة للبيئة لتقليل التأثير السلبي للاستخدام الواسع للعبوات البلاستيكية على البيئة. هذه بوليمرات طبيعية تمتلك بعض العيوب مثل انخفاض حازر الرطوبة وضعف الصفات الميكانيكية. لكن مع إضافة الجسيمات النانوية، يلاحظ أنّ بعض هذه العيوب يمكن التغلب عليها، ونتيجة لذلك يمكن يتم تطوير مادة صديقة للبيئة قابلة للتحلل الحيوي بالكامل.

أحد التطبيقات الأخرى للجسيمات النانوية هو التحفيز الضوئي (Photocatalysis). في هذا التطبيق، يتم إضافة ثاني أكسيد التيتانيوم النانوي إلى الطلاء. بعد ذلك، ينشط الطلاء النانوي التحفيزي بالضوء الشمسي، مما يؤدي إلى تحلل ملوثات الهواء وتنظيف المساحات بنفسه.

بالنسبة لتنقية المعادن الضارة الناتجة عن الأنشطة الصناعية، مثل الرصاص والكروم، فيتم استخدام الحديد النانوي. تُعرف هذه التقنية باسم الحديد ذو القيمة الصفريّة، فتقوم بالتصدي للمعادن الضارة وتحويلها إلى شكل غير فعال لهذه التقنية. وفي بعض الحالات، يمكن إضافة معادن أخرى مثل البلاديوم أو النيكل لتعزيز فعالية العملية. ولتطهير المياه الملوثة من طلاء النسيج، يخلط مواد مثل أكسيد الحديد والسيليكا، وعند إضافة الطين الطبيعي وبعض الأحماض، يتم الحصول على نتائج أكثر فعالية. على الرغم من كل هذه الطرق المبتكرة، يجب تقييم تكنولوجيا النانو قبل إطلاقها في البيئة، كما يتم تقييم جميع التقنيات الجديدة. نظرًا لقوة تأثيرها، فمن المحتمل أن تتسبب نتائج غير مرغوبة في الطبيعة. ولضمان تحقيق الفائدة دون التسبب في ضرر، يجب الانتباه.

فيما يخص الترشيح النانوي (Nanofiltration)، تقوم سويسرا بإجراء أبحاث رائدة في هذا المجال. أما التنظيف باستخدام الحديد النانوي، فيتم بشكل أساسي في الولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد الأوروبي. وفي كندا، تُجرى أبحاث حول تنظيم استخدام النانوبلاستيك. أستراليا تعمل منذ عام 2020 على اتخاذ خطوات لمكافحة تلوث البلاستيك الصغير والنانو، مثل منع المنتجات البلاستيكية المستخدمة لمرة واحدة فقط.

4.4 المواد النانوية الذكية



المواد النانوية هي المواد المستخدمة في تكنولوجيا النانو. أما المواد النانوية الذكية فهي مواد على مقياس النانو (1-100 نانومتر) قادرة على الاستجابة الفيزيائية والكيميائية لعوامل خارجية مثل الحرارة، الضوء، ودرجة الحموضة (pH). تُستخدم المواد النانوية في مجالات مثل توصيل الأدوية المستهدف وتنظيف البيئة. في مجال تنظيف البيئة، يركز استخدام المواد النانوية على إزالة بعض الملوثات العضوية الدائمة

تمتلك المواد النانوية الذكية القدرة على زيادة فعالية التقنيات البيئية الحالية والجديدة. وبفضل بنيتها، يمكنها العمل و تتم وظائف مختلفة حسب الحالات المتغيرة. خاصة في الآونة الأخيرة، أصبح مياه الملوثة بالنفط مشكلة بيئية كبيرة، لذلك كان مقترح عدة طرق صناعية ومواد نانوية ذكية لفصل الماء عن النفط. عند فصل النفط والماء بالماء النانوية، يمكن تنظيف المعادن الثقيلة والملوثات العضوية أيضًا بطلاء الفواصل النفط-الماء بالماء نانوية ذكية. كما أن الهياكل الإسفنجية المصنوعة من

أنابيب الكربون النانوية، بفضل خصائصها فائق الكراهية للماء و فائق المحبة للزيوت قادرة على امتصاص كمية أكبر بكثير من النفط من المياه البترولية. لا تزال استخدامات المواد النانوية الذكية خارج المجال الطبي، مثل الزراعة والبيئة، في مرحلة البحث والتطوير.

لعبت المواد النانوية الذكية دوراً فعالاً في الطب، وخصوصاً في تطوير تقنيات توصيل الأدوية المستهدفة لعلاج السرطان. باستخدام هذه التقنية، يتم استهداف الخلايا المصابة فقط، على عكس العلاج التقليدي الذي قد يضر بالخلايا السليمة المحيطة، يقوم هذه الدواء بالتعرف مباشرة على الخلية المريضة وإطلاقه فيها. وبذلك تقل الأعراض الجانبية للدواء ويصبح العلاج أكثر فعالية. كما أن المستشعرات الحيوية النانوية (Nanobiosensors) المصنوعة من المواد النانوية الذكية يمكنها اكتشاف كميات صغيرة جداً من المؤشرات الحيوية (مثل السرطان، الفيروسات، الهرمونات، وغيرها)، مما يوفر إمكانية التشخيص السريع والمبكر، واكتشاف خلايا السرطان في مرحلة مبكرة، والتصوير التفصيلي، ومنع تطور العدوى، وتسلسل الجينوم، وغيرها من التطبيقات الناجحة. أيضاً، في مجال الطب الشخصي مثل Theranostics، تُستخدم المواد النانوية الذكية متعددة الوظائف، حيث تجمع بين الوظائف العلاجية والتشخيصية، و أيضاً يسمح بمراقبة العلاجات في الوقت الفعلي.

تبرز الاتحاد الأوروبي كنموذج رائد في التصميم الآمن والمستدام، حيث يشجع على تقييم تأثيرات المواد في مرحلة التصميم. كما تخطط لجنة الأوروبية ضمن برنامج Horizon Europe (2025-2027) لتخصيص 500 مليون يورو لدعم المواد المتقدمة مثل الجسيمات النانوية. في مجال البحث الصين دولة رائدة حيث تقوم اللجنة الوطنية للتوحيد القياسي بأعمال منتظمة لتعريف المواد النانوية، ووضع خطط العمل اختبار، وإنشاء قواعد البيانات السمية. أما الولايات المتحدة وكندا، تعاونتا لتنظيمات مركز على الأمانة.

جانب الأخلاقي

5. قضايا أمن البيانات وبراءات الاختراع

5.1 حماية البيانات وأمنها

في عصرنا الحالي، ومع التقدم التكنولوجي، تتزايد أهمية البيانات بشكل مستمر. ففي المجالات التي تسارعت فيها وتيرة التحول الرقمي مثل الصحة والتعليم والدفاع والتمويل، لم تعد البيانات مجرد مصدر للمعلومات فحسب، بل أصبحت أيضاً عاملاً يؤثر بشكل مباشر على خصوصية الأفراد وأمنهم وحقوقهم. ويعني أمن البيانات حماية المعلومات الشخصية أو المؤسسية من مخاطر الوصول غير المصرح به أو الكشف أو التغيير أو الضياع أو التلف، ولا يقتصر ذلك على البيانات الرقمية فقط، بل يشمل أيضاً أماكن التخزين المادية. فجميع البيانات التي تحمل البيانات - كالدلائل والأجهزة المحمولة ورسائل البريد الإلكتروني وأنظمة التخزين السحابي - يجب أن تُحمى من الوصول غير المصرح به.

في مجال التكنولوجيا الحيوية-النانوية، يكتسب أمن البيانات أهمية مضاعفة لأنه يرتبط مباشرة بصحة الإنسان. إذ تجمع هذه التقنيات معلومات شخصية بالغة الحساسية مثل التسلسلات الجينية وسوابق الأمراض والعلامات البيولوجية للمرضى. وعندما يصبح نقل البيانات في الزمن الحقيقي ممكناً من خلال المستشعرات النانوية والغرسات الطبية، فإن الأمر لا يهدد خصوصية الفرد وحده، بل يمتد أيضاً إلى أسرته وحتى الأجيال القادمة. كما أن استخدام هذه البيانات من قبل شركات التأمين أو أصحاب العمل في سياسات تمييزية يحول قضية أمن البيانات من مجرد مسألة تقنية إلى مشكلة أخلاقية وحقوقية خطيرة.

ومن هذا المنظور، تجدر الإشارة إلى موضوعين بارزين في البعد الأخلاقي:

1. التمييز بالبيانات الجينية وسياسات التأمين

في مطلع الألفية الثانية ومع انتشار الاختبارات الجينية في الولايات المتحدة، ظهرت مطالبات من شركات التأمين بزيادة الأقساط على الأفراد الذين يحملون مخاطر جينية أو تقلص نطاق التغطية التأمينية لهم. وفي عام 2008، أقرّ في الولايات المتحدة قانون عدم التمييز بناءً على المعلومات الجينية (GINA)، الذي حظر التمييز في التأمين أو التوظيف على أساس البيانات الجينية. ومع ذلك، لم يشمل هذا القانون التأمين على الحياة أو التأمين طويل الأمد. أما معظم دول الاتحاد الأوروبي (وخاصة ألمانيا وفرنسا

وهولندا) فقد فرضت حظرًا مشابهًا، في حين أن غياب التشريعات الشاملة في دول مثل الصين والهند يزيد من مخاطر استغلال البيانات.

2. أنظمة المراقبة النانوية وانتهاكات الخصوصية

منذ العقد الثاني من القرن الحادي والعشرين، بدأت تطبيقات تجريبية للغرسات النانوية وأجهزة الاستشعار القابلة للارتداء لأغراض المراقبة الطبية في بلدان مثل السويد والولايات المتحدة وكوريا الجنوبية. إلا أن هذه الأجهزة، من خلال تتبع المواقع وجمع البيانات الصحية بشكل مستمر وإمكانية مشاركة البيانات دون موافقة، جعلت الأفراد يشعرون بأنهم "تحت المراقبة الدائمة". كما أن قيام بعض الشركات في السويد بزراعة شرائح تعتمد على تقنية RFID لموظفيها من أجل تسهيل دخول أماكن العمل أو إجراء عمليات الدفع، أثار جدلاً واسعاً حول الخصوصية، وقد عارضت السلطات الألمانية لحماية البيانات هذا التطبيق بشكل صريح. ويظهر هذا المثال أن تطبيق التكنولوجيا دون آليات واضحة للموافقة والرضا يمكن أن يخلق مشكلات أخلاقية جسيمة.

لقد تم وضع أطر قانونية وطنية ودولية في مجال أمن البيانات. فقد حدّد النظام الأوروبي لحماية البيانات (GDPR) الذي دخل حيز التنفيذ عام 2018، حقوق الأفراد في الموافقة والرقابة على معالجة بياناتهم الشخصية وتخزينها وحذفها بشكل واضح. وفي تركيا، يؤدي قانون حماية البيانات الشخصية رقم 6698 وظيفة مشابهة. غير أن الإطار القانوني وحده غير كافٍ؛ إذ يجب أيضاً اعتماد تدابير تقنية إلزامية مثل خوارزميات التشفير القوية، والمصادقة متعددة العوامل، وتقييد الصلاحيات، والنسخ الاحتياطي المنتظم، والتدريب على الأمن السيبراني.

وعلى الرغم من كل هذه التدابير، فإن الأساليب التي تهدد أمن البيانات تتطور باستمرار. ولهذا فإن أمن البيانات ليس مجرد مسألة تقنية، بل هو أيضاً مسؤولية أخلاقية وعملية مستمرة تتطلب يقظة دائمة. وتزداد هذه المسؤولية في المجالات المتعلقة بصحة الإنسان والمعلومات الجينية والخصوصية الشخصية. لذلك يجب أن تُدار الدراسات في مجالات مثل التكنولوجيا الحيوية-النانوية بطريقة تضمن الأمان ليس فقط من الناحية التقنية، بل أيضاً من الناحية الأخلاقية والقانونية والاجتماعية. فطالما لم يُحقّق التوازن بين التقدم العلمي وحقوق الإنسان، قد تؤدي انتهاكات أمن البيانات إلى مشكلات اجتماعية كبرى. ومن هنا تأتي ضرورة تبني مقاربات تحمي خصوصية الإنسان عند توجيه التكنولوجيا.

5.2 تنظيم براءات الاختراع في مجال التكنولوجيا الحيوية النانوية

التكنولوجيا الحيوية النانوية هي علم يقدم ابتكارات كبيرة في مجالات كثيرة من صحة الإنسان إلى البيئة. في هذا المجال، تنظم براءات الاختراع مهم في تسويق الاكتشافات وحمايتها ومشاركتها. لأن هذه التكنولوجيا تحتاج إلى استثمارات كبيرة وتثير أيضاً نقاشات علمية وأخلاقية. البراءة هي نظام قانوني يعطي لصاحب الاختراع حق الإنتاج والاستخدام والبيع لمدة معينة. هذا النظام يساعد الباحثين والشركات للحصول على مقابل استثماراتهم ويشجع على الابتكار العلمي. في مجالات التكنولوجيا المتقدمة مثل التكنولوجيا الحيوية النانوية، يمكن أن تصبح البراءات أداة قوة تعطي ميزة تنافسية. مثلاً، إذا حصلت شركة دواء على براءة نظام ناقل نانوي، تصبح هذه التكنولوجيا ملكاً لها فقط ولا تستطيع الشركات الأخرى استخدامها. هذا قد يفتح الطريق للتطور العلمي، وأحياناً يسبب مشكلات أخلاقية بسبب تقييد الوصول.

تسجيل براءات منتجات التكنولوجيا الحيوية النانوية أصعب من المنتجات البيوتكنولوجية الكلاسيكية. لأن الاكتشافات هنا غالباً مرتبطة بكائن حي وبمادة صناعية. يعني طلب البراءة يتضمن أسئلة أخلاقية عن الكائنات الحية، ونقاشات عن كيفية تعريف الابتكار تقنياً. مثلاً، إذا كان نظام دواء نانوي يتضمن تركيباً كيميائياً وحركة خاصة نحو هدف بيولوجي، كيف نحدد حدود البراءة؟ هذه الأسئلة تجعل قرارات مكاتب البراءات أصعب.

أيضاً تسجيل براءات المواد الجينية والكائنات الطبيعية موضوع مثير للجدل. أبحاث التكنولوجيا الحيوية النانوية تستعمل كثيراً DNA الإنسان، البروتينات أو الكائنات الدقيقة. لكن، هل صحيح أن تصبح هذه المعلومات الطبيعية ملكاً لشركة خاصة؟ هذا يسبب مشكلات أخلاقية خاصة في الدول النامية عندما تسجل الشركات الكبيرة مواردها الجينية، ولا يستفيد الناس المحليون منها. لمعالجة هذه المشكلة، تم توقيع بروتوكول ناغويا سنة 2010 ليضمن مشاركة عادلة للموارد الجينية. لكن تطبيق البروتوكول ضعيف في كثير من الدول. أيضاً البراءات يمكن أن تزيد عدم المساواة في التكنولوجيا عالمياً. مثلاً، في بداية 2000، لم تستطع دول مثل الهند وجنوب أفريقيا والبرازيل إنتاج أدوية جينية لفيروس HIV لأن الأدوية النانوية كانت مسجلة ببراءة، وهذا أضر وصول العلاج لملايين الناس. أيضاً في 2013، براءات شركة Myriad Genetics على الجينات BRCA1 و BRCA2 في أمريكا منعت الوصول إلى اختبارات تشخيص خطر السرطان، وهذا سبب نقاشات أخلاقية وقانونية.

القوانين في مجال البراءات في التكنولوجيا الحيوية النانوية تختلف من دولة إلى أخرى. مكتب البراءات الأوروبي (EPO)، مكتب البراءات والعلامات الأمريكي (USPTO) ومكتب البراءات الياباني (JPO) هي مؤسسات رئيسية تقبل براءات هذا المجال وتطلب معايير مثل "الجدة"، "خطوة الاختراع" و"قابلية التطبيق الصناعي". لكن نفس الاختراع يمكن أن يُفسر بشكل مختلف في دول مختلفة، وهذا يسبب نقص توحيد عالمي. لذلك كثير من العلماء يرون أنه يجب عمل نظام عالمي موحد لبراءات التكنولوجيا الحيوية النانوية.

أيضاً مدة البراءة (20 سنة) موضوع نقاش. في التكنولوجيا السريعة، بعض البراءات تصبح بلا فائدة عند دخول السوق، وبعضها يمنع المنافسين لفترة طويلة. هذا يمكن أن يبطئ الابتكار. مثلاً، بعض أنظمة ناقلات النانوليبوزوم في علاج السرطان منعت دخول بدائل أرخص بسبب حماية البراءة الطويلة. كل هذه النقاشات تظهر أن براءات التكنولوجيا الحيوية النانوية ليست موضوعاً تقنياً فقط، بل أيضاً قضية أخلاقية وقانونية واجتماعية.

5.3 المشاكل في تحديد المعايير الدولية

يُعتبر مجال النانو-بيوتكنولوجيا مجالاً سريع التطور، ومن المتوقع أن يؤدي في المستقبل إلى تغييرات كبيرة في قطاعات مثل الصحة، البيئة، الزراعة والطاقة. لكن الطبيعة متعددة التخصصات لهذا المجال، وتعقيد التقني، وتغيره السريع، تجعل من الصعب إنشاء تنظيم مشترك على المستوى العالمي. تعريف النانو-بيوتكنولوجيا، ونطاقه، ومجالات تطبيقه يمكن أن تختلف من بلد إلى آخر؛ وهذا يؤدي إلى خلافات كبيرة حول أي التقنيات يجب تقييمها وفق أي إطار قانوني. وبالتالي فإن عملية تحديد المعايير الدولية تتحول إلى عملية صعبة من الناحية التقنية والسياسية.

هذه الاختلافات تسبب عدم توافق في التجارة الدولية، التعاون والتطبيقات السريرية. على سبيل المثال، دواء نانوي يحصل على الموافقة في بلد، قد لا يُقبل قانونياً في بلد آخر؛ وهذا يمكن أن يمنع وصول المرضى إلى العلاج. الولايات المتحدة (أمريكا) تميل من خلال FDA إلى الموافقة على المنتجات بشكل أسرع، بينما الاتحاد الأوروبي يطلب عادةً تقييمات أكثر صرامة تتعلق بالسلامة والتأثير البيئي. أما الصين فتتبنى نهجاً أكثر مرونة خاصة في عمليات الإنتاج والتسويق التجاري، وتشجع على التسويق السريع. هذه الفروقات في الفهم التنظيمي تسبب مشاكل توافق في السوق العالمية وتؤدي إلى بطء في التعاون.

في عملية التوحيد الدولي تبرز ثلاثة مواضيع أساسية في مركز النقاشات. أولاً، هناك اختلافات كبيرة بين الدول في تقييم السلامة للمواد النانوية. الولايات المتحدة تركز في تقييم المخاطر على سلامة الاستخدام النهائي للمنتج، بينما الاتحاد الأوروبي يدعو إلى توحيد الخصائص التقنية مثل البنية الجزيئية وحجم الجسيمات. هذا الخلاف ظهر بوضوح عندما قرر الاتحاد الأوروبي في عام ٢٠١٣ فرض وسم إلزامي للمكونات النانوية في المنتجات التجميلية، بينما تعاملت الولايات المتحدة مع هذا القرار بتحفظ واعتبرته بيروقراطية غير ضرورية.

المجال الثاني للنقاش هو معايير التأثير البيئي وإدارة النفايات. تراكم المواد النانوية في الطبيعة وتأثيرها طويل المدى على النظام البيئي ما زال غير معروف بشكل كامل. في مناقشات أجريت ضمن OECD عام ٢٠١٧، الاتحاد الأوروبي دافع عن اعتبار النفايات النانوية ضمن فئة المواد الخطيرة، بينما اعترضت دول مثل الصين والهند ذات القدرة الإنتاجية العالية، معتبرة أن هذا النهج سيزيد من تكاليف الإنتاج ويبطئ التقدم التكنولوجي. هذا الوضع أبرز مشكلة التوازن بين إجراءات السلامة البيئية في الدول المتقدمة، ومخاوف النمو الاقتصادي والقدرة الإنتاجية في الدول النامية.

الموضوع الثالث المهم للنقاش هو حقوق الملكية الفكرية ونقل التكنولوجيا. دول مثل الولايات المتحدة واليابان التي تستثمر كثيراً في البحث والتطوير تدافع عن حماية قوية لبراءات الاختراع في مجال النانو-بيوتكنولوجيا، بينما دول مثل البرازيل، جنوب أفريقيا والهند تطالب بتقصير مدة البراءات وتطبيق التراخيص الإجبارية لجعل الأدوية النانوية أكثر توفراً خاصة في المجال الصحي. هذا النقاش ازداد حدة خلال جائحة COVID-19 عام ٢٠٢٠ عندما طُرحت مقترحات لتعليق حقوق الملكية الفكرية المتعلقة باللقاحات والعلاجات النانوية؛ في البداية عارضت الولايات المتحدة هذا المقترح، لكنها اضطرت لدعم جزئي نتيجة الضغط العالمي والنقاشات حول عدم المساواة في اللقاحات.

هذه الخلافات لا تقوم فقط على الفروقات التقنية، بل أيضاً على المصالح الاقتصادية، أولويات الصحة العامة، والسياسات البيئية. منظمات مثل المنظمة الدولية للتقييس (OECD)، (ISO)، ومنظمة الصحة العالمية (WHO) تحاول تطوير معايير مشتركة، لكن هذه العمليات عادةً ما تستغرق وقتاً طويلاً وتتحرك ببطء بسبب تضارب المصالح بين الأطراف. لكي تُطبق النانو-بيوتكنولوجيا على المستوى الدولي بشكل آمن، أخلاقي وعادل، يجب إنشاء تفاهم متبادل أقوى بين الدول، وآليات تنظيمية مرنة ولكن فعالة.

6. الآثار الاجتماعية والاقتصادية والقانونية

6.1 عدم المساواة الاجتماعية والاقتصادية

النانو-بيوتكنولوجيا هي علم يملك قدرة أن يقدم حلول في مجالات كثيرة من الطب إلى البيئة ومن الزراعة إلى الطاقة. ولكن مع هذه القدرة، يأتي أيضاً خطر كبير وهو زيادة عدم المساواة الاجتماعية والاقتصادية. تطوير وإنتاج وتوزيع منتجات وخدمات النانو-بيوتكنولوجيا يتركز بشكل كبير في الدول التي تملك تقنية متقدمة. هذا الوضع يجعل دول مثل دول الاتحاد الأوروبي، الولايات المتحدة الأمريكية، اليابان، كوريا الجنوبية والصين في موقع القيادة في هذه التكنولوجيا، بينما يحد بشكل كبير وصول الدول النامية أو منخفضة الدخل مثل إفريقيا جنوب الصحراء، جنوب آسيا وبعض دول أمريكا اللاتينية إلى هذه التكنولوجيا. لذلك يظهر فجوة كبيرة في الاستفادة من إمكانيات الصحة وجودة الحياة التي تعتمد على التكنولوجيا.

أدوية النانو، العلاجات الجينية أو الطب الشخصي هي تطبيقات تكلفتها عالية، ولذلك تصبح متاحة فقط للأشخاص الذين يملكون مستوى دخل معين أو أعلى. مثلاً، بعض أدوية السرطان المبنية على النانو والتي أخذت موافقة الاستعمال السريري في الولايات المتحدة وأوروبا الغربية، يمكن أن تعطي نتائج أسرع وأكثر فعالية مقارنة مع العلاجات التقليدية، لكن تكلفتها تصل إلى عشرات آلاف الدولارات لكل مريض في السنة. هذا الوضع يسهل وصول المرضى في دول مثل كندا وسويسرا حيث نظام التأمين الصحي قوي، بينما في دول مثل الهند، بنغلادش أو نيجيريا يستفيد فقط عدد قليل جداً من هذه العلاجات. وهكذا يصبح عدم المساواة في الدخل بين الدول وداخل الدولة أكثر وضوحاً في الخدمات الصحية.

إجراء البحوث في التكنولوجيا النانوية الحيوية يحتاج إلى معرفة كبيرة، وخبراء متخصصين، وبنية تحتية متطورة. بينما تستثمر دول مثل ألمانيا واليابان وكوريا الجنوبية والصين مليارات الدولارات في هذا المجال، تضطر الدول ذات الدخل المنخفض غالباً إلى إرسال علمائها للتعليم في الخارج، أو تعتمد على الدول المتقدمة من أجل استمرار مشاريعها. هذا الوضع يزيد "الفجوة التكنولوجية" ويجعل عدداً قليلاً من الدول القوية أكثر تأثيراً في السياسات العلمية العالمية. على سبيل المثال، تحدد الولايات المتحدة في إطار المبادرة الوطنية للتكنولوجيا النانوية (NNI) معايير السلامة وسياسات براءات الاختراع، وغالباً لا تراعي ظروف الدول النامية الاقتصادية أو الاجتماعية.

كذلك، فإن تسويق المنتجات النانوية الحيوية وطرحها في الأسواق العالمية تسيطر عليه الشركات الكبرى متعددة الجنسيات. شركات الأدوية مثل فايزر ونوفارتيس وروش، إضافة إلى شركات آسبوية مثل سامسونغ بايولوجيكس والشركة الوطنية الصينية للأدوية، تحتفظ بحقوق البراءة لسنوات طويلة وتفرض أسعاراً مرتفعة. أما محاولات بعض الدول النامية مثل جنوب أفريقيا والبرازيل والهند لتقليل مدة البراءات ضمن اتفاقية TRIPS في منظمة التجارة العالمية، فقد واجهت رفضاً من الولايات المتحدة واليابان ودول الاتحاد الأوروبي بسبب مصالحها التجارية. وهذا يجعل الوصول العادل إلى هذه التكنولوجيا أكثر صعوبة.

وتظهر عدة مواضيع للنقاش بين الدول. أولاً، موضوع استخدام الترخيص الإجباري لتجاوز براءات الأدوية النانوية. فالهند والبرازيل تدعمان هذا الحق لحماية الصحة العامة، بينما تقول الولايات المتحدة ودول الاتحاد الأوروبي إن ذلك يضر بالاستثمار في البحث والتطوير. ثانياً، موضوع إلزامية تبادل المعلومات في مجال التكنولوجيا النانوية الحيوية. فالدول النامية، خاصة في الأزمات الصحية مثل جائحة كوفيد-19، تطالب بمشاركة التكنولوجيا عبر الوصول المفتوح، بينما ترى الدول المتقدمة أن ذلك يقلل من ميزاتها التنافسية. ثالثاً، موضوع العدالة في توزيع الأموال الدولية؛ حيث تنتقد دول الاتحاد الأفريقي ودول الآسيان أن معظم أموال البنك الدولي ومنظمة التعاون الاقتصادي والتنمية تذهب إلى مراكز البحث في الغرب.

لذلك، فإن التقدم في التكنولوجيا النانوية الحيوية ليس مسألة علمية فقط، بل هو أيضاً مسألة اجتماعية وقانونية وأخلاقية. دعم الدول النامية، وتعزيز نقل التكنولوجيا، وضبط الأسعار، وتشجيع سياسات الوصول المفتوح، كلها أمور ضرورية لكي تخدم هذه التكنولوجيا مصلحة جميع البشر. وإذا لم يحدث ذلك، فقد تتحول التكنولوجيا النانوية الحيوية من علم منقذ للحياة إلى وسيلة تزيد الفوارق وعدم المساواة في العالم.

6.2 الرقاقات النانوية المزروعة وحقوق الإنسان

الرقاقات النانوية المزروعة أجهزة متقدمة مصنوعة بمقياس النانومتر، وتوفّر مقارنة بالرقاقات التقليدية معالجة أسرع للبيانات واستهلاك أقل للطاقة. يمكن استخدام هذه الرقاقات في مجالات عديدة مثل الطب، والتمويل، والأمن، والاتصالات، وإدارة البيانات الشخصية. وبالأخص عند زراعتها في جسم الإنسان، فإنها تقدّم فرصاً مهمة لتخزين وإدارة البيانات الطبية والمالية والشخصية للمستخدم.

الرقاقات النانوية التي تحتوي على خاصية GPS أو RFID أداة فعّالة في الإيجاد لى مرضى في الجسم كالأطفال المفقودين، وتتبع المجرمين، وتعزيز التدابير الأمنية. كما تقلّل هذه التقنيات من مخاطر الاحتيال في الدفع والتحكم في حماية الأماكن، مما يزيد من مستوى الأمان.

و في المجال الطبي، تتيح الرقاقات النانوية من خلال المستشعرات الحيوية النانوية تطبيقات مثل التشخيص المبكر، ومراقبة الصحة الشخصية، ونقل الدواء المستهدف، مقدمة ابتكارات كبيرة في تقنيات الرعاية الصحية. ومع ذلك، يشدّد الفريق الأوروبي للأخلاقيات على أن استخدام الرقاقات المزروعة خارج المجال الطبي ينطوي على مخاطر تتعلق بالحريات الفردية والأمن المجتمعي

تشمل المخاوف الأخلاقية الرئيسية المتعلقة بزرع الرقاقات النانوية جوانب الخصوصية، والإرادة الحرة، والمراقبة المجتمعية. أولاً، هناك خطر انتهاك الخصوصية: إذ غالباً ما لا يكون التحكم في بيانات المستخدمين بأيديهم، وهناك احتمال مراقبتهم على مدار 24 ساعة. هذا الوضع يزيد من خطر استغلال البيانات ويتدخل مباشرة في خصوصية الحياة الشخصية. ثانياً، هناك انتهاك الإرادة الحرة: إذ قد تفرض الشركات أو المؤسسات على الموظفين قبول زرع الرقاقات، مما قد يقيد إرادة الفرد الحرة عبر التهديد بالفصل أو الضغوط الاجتماعية. ثالثاً، هناك المراقبة المجتمعية: إذ يمكن أن يؤدي الاستخدام الواسع للرقاقات إلى المراقبة المستمرة للأفراد والسيطرة على سلوكياتهم. هذا الأمر يثير نقاشات جدية من الناحيتين الفردية والأخلاقية

تزيد الاختلافات الفكرية بين الدول من حدة النقاشات الدولية حول الرقاقات النانوية المزروعة. ففي الولايات المتحدة، منعت 13 ولاية، مع نيفادا كأكثر صارمة، تطبيق الرقاقات على الموظفين، وتمنع هذه القوانين إجبار الأفراد على زرع الرقاقات في مكان العمل. أما في الاتحاد الأوروبي، يركز اللائحة العامة لحماية البيانات (GDPR) على حماية البيانات الشخصية وكرامة الأفراد، وتقيد قدرة الرقاقات المزروعة على جمع البيانات. على سبيل المثال، على الرغم من انتشار الرقاقات في السويد، تُطبق قيود استخدام ضمن إطار GDPR. في آسيا، الوضع أكثر متعة: في الصين، تطبق قوانين صارمة لحماية البيانات مثل "قانون الأمن السيبراني" و"قانون حماية المعلومات الشخصية"، وتعرقل دخول الشركات الأجنبية لأجهزة الزرع، وتجعل الشركات المحلية خاضعة للتدقيق الأخلاقي. وفي عام 2022، أصبح الحصول على موافقة الدولة إلزامياً حتى لزراعة الرقاقات في التجارب الطبية. أما في اليابان، فالأجهزة غير الطبية ممكن استخدامها بحرية وفقاً لتنظيمات الشركات نفسها. وفي البرازيل، الإجراءات الرسمية طويلة ومعقدة، ومع ذلك نشأت سوق سرية غير منظمة، مما زاد من مخاطر السلامة والأخلاقيات. في المناطق التي تخلو من التنظيم، يسهم الانتشار السريع للتكنولوجيا في تسريع الاعتماد على الرقاقات، بينما تزداد مخاطر الصحة والأمانة.

7 المعضلات الأخلاقية

7.1 التلاعب بالجينات البشرية ونقاشات حول "الأطفال المصمّين" (التجارب على البشر)

حرير الجينات هو العملية التي يتم فيها قص وتعديل مناطق محددة من الـ DNA لتغيير خصائص جينية معينة. تكنولوجيا CRISPR جعلت هذه العملية أسرع، أرخص، وأكثر دقة مقارنة بالطرق السابقة. أما تحرير الخط الجيني (Germ line editing)، هو التدخل الجيني في خلايا التكاثر مثل الحيوان المنوي، البويضة، أو الجنين. التغييرات الناتجة عن هذا التدخل تكون دائمة ويمكن نقلها إلى الأجيال القادمة. تساهم هذه التعديلات في زيادة فرص العلاج الطبي، لكنها تثير أيضاً جدلاً أخلاقياً كبيراً. ويمكن ملاحظة هذه المخاوف الأخلاقية ضمن أربعة محاور رئيسية: السلامة، عدم التراجع عن التعديلات، التأثيرات الاجتماعية، الإنز والموافقة.

في عام 2018، أجرى العالم الصيني الدكتور هي جيانكوي (Dr. He Jiankui) دراسة أثارت هذه المخاوف الأخلاقية، وأصبحت مثلاً مهماً على انتهاك أخلاقي في المجتمع العلمي. في هذه الدراسة، ولدت لأول مرة في العالم طفلتان معدلتا الجينات مسيمان لولو ونانا. تم استخدام تكنولوجيا CRISPR-Cas9 لتعديل جيناتها، وتم تحرير الخط الجيني (germ line). فهذا

يعني التغييرات كانت دائمة وأثرت ليس فقط على الأطفال بل أيضًا على جميع الأجيال القادمة. دافع الدكتور هي عن عمله بالتاكيد على أهمية الحق في الإنجاب وقال أن هدفه كان حماية الأطفال من فيروس HIV لأن آباءهم حاملون للفيروس. كما أشار إلى أن الزوجين استخدمتا حقهما في إنجاب أطفال أصحاء. وذكر أن التجارب السابقة على الفئران والقردة والخلايا البشرية كانت ناجحة، وأن تعديل الـ DNA لم يسبب تغييرات غير مرغوبة في أماكن أخرى. مع ذلك، يُلاحظ أن تكنولوجيا CRISPR لم تُصبح موثوقة بالكامل في المجتمع العلمي، وبالتالي قد تحدث طفرات خارج الهدف (off-target mutations) رغم ما ادعاه الدكتور هي. كما أن التجارب على الفئران والقردة لا تعطي نتائج مؤكدة 100% على البشر، مما يجعل الطريقة تجريبية بالكامل وتشكل خطرًا على مستقبل لولو ونا. بالإضافة إلى ذلك، ذكر الدكتور هي أنه حصل على موافقة لجنة أخلاقية محلية وأجرى إبلاغًا مفصلاً للأبوين، إلا أن صدق هذه الموافقة الأخلاقية محل جدل، وايضا في شكوك حول إذا كان الزوجان قد أبلغا بجميع مخاطر الفعل.

من النقاط الأخرى التي تجعل هذه الدراسة إشكالية من ناحية الأخلاقيات الطبية هو الخطر الاجتماعي. مع انتشار هذه التكنولوجيا وتصبحها أمرًا طبيعيًا، قد يبدأ موجة "الأطفال المصممين". قد لا يقتصر الأمر على الوقاية من الأمراض فقط، بل قد يطلب الناس تغير صفات مثل الذكاء، الطول، أو لون العينين، مما قد يؤدي إلى عدم مساواة بين البشر.

أحد العوامل التي تجعل استخدام هذه التكنولوجيا إشكاليًا هو مسألة الموافقة. بما أن الجنين لا يستطيع إعطاء الموافقة على هذا التدخل، فإن القرار يكون بالكامل للأبوين والباحثين. هذا الوضع يثير مشكلات تتعلق بالاستقلالية (autonomy) والموافقة المستنيرة (informed consent).

تختلف وجهات النظر الأخلاقية حول "الأطفال المصممين" وتغيير الجينوم البشري من شخص لآخر. بعض الآراء ترى أن تحرير الخط الجيني لأغراض علاجية، خاصة لمنع الأمراض الوراثية بشكل مباشر، أمر أخلاقي ومناسب. لكن العديد من المفكرين والعلماء يعتقدون أن عدم الوضوح التام والمخاطر الأخلاقية المحتملة تجعل استخدام هذه التكنولوجيا غير مناسب حاليًا للأغراض السريرية. كما هذه الأشخاص يدعون الحكومات إلى وضع قوانين أو تنظيمات واضحة لمنع مثل هذه الدراسات مؤقتًا، وإلى السماح باستخدامها فقط بعد التأكد من الامانة.

حظرت العديد من الدول مثل الولايات المتحدة، أوروبا، والصين استخدام تحرير الخط الجيني لأغراض سريرية.

لكن بشكل مختلف، تسمح المملكة المتحدة بإجراء أبحاث أوسع على الأجنة البشرية. في عام 2016، وافقت الحكومة على أول الدراسات التي تستخدم CRISPR على الأجنة البشرية، مع التأكيد على أن العلماء سيقومون بدراسة الأجنة لأغراض البحث فقط ولن ينقلوها للحمل والولادة كما فعل الدكتور هي. وعلى المستوى الدولي، فإن منظمات عالمية مثل منظمة الصحة العالمية تعمل على وضع إطار عالمي يحدد الشروط التي يمكن بموجبها إجراء تحرير الخط الجيني، بالإضافة إلى تطوير معايير مراقبة وإشراف عالمية.

7.2 عملية تطوير اللقاحات والأدوية وبعض مستحضرات التجميل

تطوير اللقاحات والأدوية هو عملية تخضع لتنظيمات صارمة جدًا وتشمل بعض المراحل التي قد تُطرح حولها أسئلة أخلاقية. المرحلة الأولى من هذه العملية هي البحث والتطوير، وتعرف أيضًا بالمرحلة قبل السريرية (pre-clinical stage). في البداية، يتم دراسة تأثير اللقاح أو الدواء في المختبر باستخدام زراعة الخلايا والطرق الكيميائية الحيوية. بعد ذلك، تُختبر الآثار الجانبية، السلامة، والفعالية على نماذج حيوانية. المرحلة الثانية هي التجارب السريرية، حيث تُجرى الاختبارات على البشر عبر أربع مراحل: في المرحلة الأولى، يتم اختبار الأمانة وتحديد الجرعة على متطوعين أصحاء. في المرحلة الثانية، تُدرس الآثار الجانبية على مجموعة أكبر. في المرحلة الثالثة، يُراقب الدواء أو اللقاح على مجموعة من المرضى على مدى فترة طويلة. أما المرحلة الرابعة والأخيرة، فتتم بعد طرح المنتج في السوق لمتابعة الأمانة والفعالية على المدى الطويل في الحياة الواقعية. المرحلة النهائية لتطوير الدواء هي الحصول على الموافقة والترخيص من السلطات الصحية.

خلال التجارب السريرية التي تُجرى على البشر، تم في الماضي قيام لحماية حقوق الإنسان. على سبيل المثال، في تجربة توسكيجي للزهرى (Tuskegee Syphilis Study) التي نفذتها خدمات الصحة العامة الأمريكية، تم مراقبة رجال أفارقة فقيرين مصابين بالزهرى دون تقديم العلاج لهم ودون إبلاغهم بالمخاطر وبدون الحصول على موافقتهم الطوعية. أثارت هذه التجربة ردود فعل كبيرة عالميًا بشأن حقوق الإنسان والانتهاكات الأخلاقية، وأسهمت في تطوير المعايير الأخلاقية في البحوث السريرية. كما تعتبر تجارب النازيين على البشر مثالًا آخر أساسيًا لتأسيس القواعد الأخلاقية الدولية. وعلى الرغم من أن هذه التجارب تعود للتاريخ،

بعض الباحثين من الدول المتقدمة يواصلون إجراء تجارب مشابهة في الدول النامية، مثل الدراسات الرامية لمنع انتقال الأمراض بين الأم والطفل، ما يؤثر بعض المشكلات الأخلاقية. يجادل بعض الأشخاص بأن الموافقة على المشاركة في التجارب تُفرض على المشاركين، بحيث تخلق من صفة الطوعية وتصبح ممارسة ضغط عليهم. بينما يرى آخرون أن هذا الادعاء غير صحيح. بالإضافة إلى ذلك، يُنظر إلى استخدام الدول المتقدمة للدول النامية كـ "مجال تجريبي" واستغلالها على أنه إشكالية أخلاقية قائمة.

على الرغم من الحدوث الإشكاليات الأخلاقية حول التجارب على الحيوانات، هذه المرحلة حالياً ضرورية، لأنه من المهم فهم استجابة الكائنات الحية للأدوية واللقاحات. كما أن هذه الاختبارات توفر معلومات مهمة عن السمية، نطاق الجرعات، والاستجابة المناعية. ومع ذلك، وبصرف النظر عن القضايا الأخلاقية، يعمل العلماء على تطوير طرق بديلة بسبب التكاليف العالية والوقت الطويل المرتبط بالتجارب على الحيوانات.

ونتيجةً لهذه الدراسات، بدأ في السنوات الأخيرة استخدام نماذج الأنسجة الاصطناعية، والأورغانويدات (organoids)، والمحاكاة الحاسوبية (نماذج in silico)، والأساليب المعتمدة على الذكاء الاصطناعي كبديل للتجارب على الحيوانات. ومع ذلك، فإن هذه الأساليب لم تستطع بعد أن تحل محل التجارب على الحيوانات بشكل كامل في معظم الدول.

في مجال منتجات التجميل، التجارب على الحيوانات ممنوعة تماماً في العديد من الدول خارج الولايات المتحدة، أو يجري العمل على نشر المنع تدريجياً. وفي الولايات المتحدة، وضعت تشريعات مثل قانون رعاية الحيوان (Animal Welfare Act) لحماية رفاهية الحيوانات، لكن تجارب التجميل على الحيوانات لم تُمنع. أما في دول الاتحاد الأوروبي، فقد فرضت لوائح أكثر صرامة وتقدمًا، حيث تم حظر التجارب على الحيوانات في قطاع مستحضرات التجميل منذ عام 2013. أما بالنسبة إلى الأدوية والمنتجات الطبية، فإن التجارب على الحيوانات تُعد إلزامية دوليًا، ولهذا السبب تتبنى أوروبا واليابان مبادئ تقوم على: البحث عن بدائل للتجارب على الحيوانات كلما أمكن، وتقليل عدد الحيوانات المستخدمة إلى الحد الأدنى، وإعطاء الحيوانات أقل كمية ممكنة من المواد أو الأدوية أثناء التجارب، وذلك حفاظًا على رفاهيتها.

على سبيل المثال، في عام 2000، ذكرت المؤسسة الوطنية للعلوم الأمريكية أن "وسائل الإعلام الخيالية تضعف قدرات التفكير التحليلي لدى الجمهور وتمنع الثقافة العلمية"، وفي عام 2010، أشار رئيس اتحاد الجمعيات العلمية والتكنولوجية في أستراليا إلى أن "مستويات الثقافة العلمية المثيرة للقلق لدى الأستراليين قد تُظهر أن الطلاب ربما تعلموا عن العلم من خلال فيلم Jurassic Park أكثر من نظام التعليم نفسه".

ومع ذلك، أظهرت الدراسات أن الثقافة الشعبية قد يكون لها تأثير إيجابي في فهم علم الوراثة. تستخدم الأفلام والمسلسلات والأخبار الاستعارات والقصص لتسهيل فهم موضوعات الجينات، مما قد يدفع الجمهور للتفكير في ماهية الوراثة وأخلاقياتها. كما أظهرت الأبحاث أن وسائل الإعلام لا تُستهلك بشكل سلبي فقط؛ إذ يقوم المستهلكون بتفسير ما يشاهدونه في الأفلام أو المسلسلات بناءً على معتقداتهم وأفكارهم، ويمنحونها معنى يتوافق مع آرائهم الشخصية.

7.3 خصوصية المريض وحماية الحقوق

خصوصية المريض هي من المبادئ الأساسية في أخلاقيات الطب، وقد تم ضمانها في القوانين الوطنية والدولية. هذا الحق يشمل سرية بيانات المريض الصحية، وحقه في المشاركة في القرارات التي تخص مستقبله العلاجي، وأيضًا أن تكون التدخلات الطبية فقط بعد الموافقة المستنيرة. من الناحية الأخلاقية، خرق الخصوصية لا يضر فقط الثقة بين المريض والطبيب، بل يضعف أيضًا ثقة المجتمع في نظام الصحة. واجب العاملين في الصحة حماية معلومات المريض يجب أن يستمر دائمًا، إلا في حالات الضرورة الطبية أو الطوارئ أو الالتزام القانوني. ومع ذلك، في حالات البحث أو الدراسات الوابئة أو حماية الصحة العامة، قد يكون من الضروري مشاركة البيانات بعد جعلها مجهولة. في هذا الموضوع يجب إيجاد توازن بين حماية الخصوصية والمصلحة العامة.

اليوم من أكثر المجالات التي تجعل هذا التوازن صعبًا هي تقنيات المراقبة والسجلات الصحية الإلكترونية. أنظمة السجلات الصحية الإلكترونية (EHR) وخدمات الصحة عن بُعد والتخزين السحابي للبيانات تقدم مزايا مثل الوصول السريع إلى المعلومات، وإدارة فعالة للبيانات، واستمرار الخدمات الصحية. لكن هذه التقنيات تجلب أيضًا مخاطر مثل الهجمات الإلكترونية وتسريب البيانات والوصول غير المصرح به. مثلًا في سنة ٢٠١٥ حدثت هجمة إلكترونية على شركة تأمين صحي أمريكية اسمها Anthem، وتم كشف معلومات ٧٨ مليون شخص مثل الأسماء وأرقام الضمان الاجتماعي والبيانات الصحية. هذا الحادث فتح من جديد نقاشات حول تقوية معايير حماية البيانات في إطار قانون HIPAA. أما في الاتحاد الأوروبي فقد دخلت لائحة GDPR حيز التنفيذ سنة

٢٠١٨، ووصفت البيانات الصحية بأنها "بيانات شخصية خاصة" وأعطت لها حماية قوية. لكن في بعض الدول لا يزال التطبيق ضعيفاً بسبب مشكلات البنية التحتية والتكاليف.

موضوع نقاش آخر مهم هو التعارض بين التبليغ عن الأمراض المعدية وحماية الخصوصية الفردية. لحماية الصحة العامة، قد يكون من الضروري مشاركة هوية الأشخاص المصابين بأمراض معدية مع السلطات أو مع الناس. لكن هذا يعني خرق حق الخصوصية الفردية. مثلاً أثناء جائحة كوفيد-١٩ في كوريا الجنوبية، تم نشر معلومات عن تحركات المرضى وسلسلة اتصالاتهم على منصات عامة لوقف انتشار الفيروس بسرعة. هذا الأسلوب ساعد في السيطرة على الوباء، لكنه سبب نقاشات كبيرة عن الخصوصية لأن حياة الأشخاص وأماكن زيارتهم وعلاقاتهم الاجتماعية ظهرت للعامة. وبالمثل أثناء وباء سارس سنة ٢٠٠٣ في كندا والصين، تم تسريب بعض معلومات المرضى إلى الإعلام مباشرة، وكان هذا العمل دافعاً لحماية الصحة العامة لكنه أيضاً تعرض لانتقادات من منظور حقوق الإنسان.

هذه الأمثلة توضح أن خصوصية المريض ليست فقط حقاً فردياً، بل يجب النظر إليها أيضاً من زاوية الثقة الاجتماعية والمسؤولية الأخلاقية. ومن وجهة نظر أخلاقية، السؤال عن متى يمكن تقييد الخصوصية الفردية من أجل المصلحة العامة يجب أن يُعاد التفكير فيه في كل فترة. ومع تزايد الرقمنة، وتبادل البيانات الدولية، والأزمات الصحية العالمية، أصبح هذا النقاش أكثر صعوبة. لذلك، تستمر اللجان الأخلاقية الوطنية، والوثائق الدولية لحقوق الإنسان، والبروتوكولات الطبية في اعتبار خصوصية المريض ليس فقط واجباً قانونياً، بل مبدأ أساسياً لحماية الصدق المهني، والثقة بين المريض والطبيب، وكرامة الإنسان.

7.4 استخدام التكنولوجيا الحيوية-النانوتكنولوجية في الصناعة الدفاعية

يُعتبر استخدام التكنولوجيا الحيوية-النانوتكنولوجية في الصناعة الدفاعية مجالاً مثيراً للجدل من حيث التطورات التكنولوجية وتوازنات الأمن الدولي. هذه التكنولوجيا تقدم حلولاً جديدة في التطبيقات العسكرية من خلال دمج المواد النانوية، تقنيات الهندسة الحيوية، وأنظمة الاستشعار المتقدمة. وتشمل مجالات الاستخدام المحتملة للتكنولوجيا الحيوية-النانوتكنولوجية في الدفاع: تخفيف وزن المعدات العسكرية وزيادة متانتها، الكشف السريع عن التهديدات الكيميائية والبيولوجية والإشعاعية والنوية عبر أجهزة الاستشعار الحيوية، تحسين الأداء البيولوجي للجنود، تطوير مواد نانوية تسرع شفاء الجروح، وأنظمة التمويه البيولوجي. على سبيل المثال، أنابيب الكربون النانوية أو المواد المعتمدة على الجرافين تجعل الدروع الواقية من الرصاص أخف وأكثر متانة، مما يزيد من قدرة الجنود على الحركة. كما أن الطلاءات النانوية تحمي أسطح الأسلحة والمركبات من التآكل والتلف والعوامل البيئية، مما يقلل من تكاليف الصيانة.

مجال آخر من مجالات استخدام التكنولوجيا الحيوية-النانوتكنولوجية هو أنظمة الكشف البيولوجي. أجهزة الاستشعار النانوية-الحيوية تكشف مسببات الأمراض والسموم والتهديدات البيولوجية الأخرى في الهواء أو الماء خلال أجزاء من الثانية، وتشكل آلية إنذار مبكر ضد الهجمات الكيميائية والبيولوجية. وفي الميدان، تساهم أجهزة الاستشعار النانوية القابلة للارتداء، التي تراقب باستمرار الحالة الفسيولوجية للجنود، في الحفاظ على الأداء العملي.

لكن استخدام هذه التقنيات في الصناعة الدفاعية يجلب معه مشكلات أخلاقية وقانونية وأمنية. خاصة التدخلات النانوية التي تهدف إلى تحسين الأداء البيولوجي للجنود، فهي تثير الجدل فيما يتعلق بسلامة الجسد، الموافقة، وحقوق الإنسان. بالإضافة إلى ذلك، فإن الطبيعة "مزوجة الاستخدام" للتكنولوجيا الحيوية-النانوتكنولوجية، أي إمكانية استخدامها لأغراض مدنية وعسكرية معاً، تخلق مخاطر خطيرة على الأمن الدولي. فقد يؤدي استخدام هذه التقنيات من قبل أطراف خبيثة لتطوير أسلحة بيولوجية أو شن هجمات إلى تهديد التوازنات الأمنية العالمية.

أول موضوع للنقاش هو التدخلات النانوية التي تهدف إلى زيادة الأداء البيولوجي للجنود. هذه التطبيقات توفر ميزات في مجالات مثل القوة البدنية، التحكم الأيضي أو شفاء الجروح، لكنها تثير مشكلات تتعلق بسلامة الجسد وحقوق الموافقة الأخلاقية للجنود. في التجارب التي أجريت في الولايات المتحدة وبعض الدول الأوروبية في العقد الثاني من القرن الحادي والعشرين، جُربت تدخلات بيولوجية محسنة للأداء باستخدام أنظمة نقل دوائي معتمدة على النانو، لكن المشاركة الإجبارية للجنود والآثار الجانبية الطويلة الأمد المحتملة أثارت نقاشات واسعة.

الموضوع الثاني للنقاش هو الطبيعة مزدوجة الاستخدام للتكنولوجيا الحيوية-النانوتكنولوجية ومخاطرها على الأمن الدولي. فرغم أن استخدام المواد النانوية وأجهزة الاستشعار البيولوجية واسع في مجالات الصحة والبيئة المدنية، إلا أن احتمال استخدامها من قبل أطراف خبيثة في إنتاج أسلحة بيولوجية أو شن هجمات أثار نقاشات في الأمم المتحدة والاتحاد الأوروبي. وبعد هجمات الجمرة الخبيثة في الولايات المتحدة عام 2001، دارت نقاشات مكثفة على المنصات الدولية حول ضرورة مراقبة الأبحاث النانوية وتطبيق القواعد الأخلاقية.

لذلك، يجب تنظيم تطبيقات التكنولوجيا الحيوية-النانوتكنولوجية في المجال الدفاعي ضمن إطار القانون الدولي، ويجب أن تكون الاستخدامات شفافة، أخلاقية وقابلة للرقابة. على العلماء والمهندسين وصناع السياسات أن يعملوا معاً في تطوير هذه التكنولوجيا؛ يجب تحديد القواعد الأخلاقية بوضوح واتخاذ التدابير لضمان الاستخدام السلمي. وبما أن التكنولوجيا الحيوية-النانوتكنولوجية تحمل مسؤوليات أخلاقية وأمنية خطيرة إلى جانب مزاياها المحتملة، فإن تطبيقاتها في الصناعة الدفاعية تشكل باستمرار من خلال النقاشات الأخلاقية والقانونية.

7.5 المسؤولية في اتخاذ القرار في أنظمة التشخيص والعلاج المدعومة بالذكاء الاصطناعي

المسؤولية في اتخاذ القرار في أنظمة التشخيص والعلاج المدعومة بالذكاء الاصطناعي هي موضوع مهم ومعقد في تقاطع أخلاقيات الطب الحديث والقانون والتكنولوجيا. هذه الأنظمة تملك قدرة على تسريع تشخيص الأمراض في وقت مبكر، وتخطيط العلاج، ورعاية المرضى باستخدام طرق مثل التعلم الآلي وتحليل البيانات الكبيرة. لكن إدخال الذكاء الاصطناعي في عملية اتخاذ القرار يطرح سؤالاً: "في القرارات الطبية المدعومة بالذكاء الاصطناعي، من يجب أن يكون له المسؤولية النهائية؟ الأطباء أم مطورو البرامج أم المؤسسات الصحية؟". في الطب التقليدي، المسؤولية كانت مباشرة على الأطباء والمؤسسات الصحية، لكن في الأنظمة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي تصبح عملية القرار بنية مشتركة بين الإنسان والآلة. هذا يخلق غموضاً قانونياً عن أي طرف يتحمل المسؤولية في حالة حدوث خطأ طبي.

أنظمة الذكاء الاصطناعي تتعلم من البيانات السريية الموجودة وتطور آليات القرار، لكن عمليات اتخاذ القرار في الخوارزميات غالباً تكون مثل "الصندوق الأسود"، أي لا يمكن رؤية كيف ظهرت نتيجة تشخيص أو اقتراح علاج بشكل واضح. في هذه النقطة يظهر سؤال: "هل عدم شفافية خوارزميات الصندوق الأسود مقبول من ناحية أخلاقيات الطب وأمان المرضى؟". أيضاً، التحديث المستمر للأنظمة المدعومة بالذكاء الاصطناعي يجعلها تعطي قرارات مختلفة في أوقات مختلفة، مما يزيد من تعقيد سلسلة المسؤولية. كثير من لجان الأخلاقيات والخبراء الطبيين يقولون إنه لا يجب إزالة دور الإنسان تماماً في الممارسة الطبية، ويجب أن يُستخدم الذكاء الاصطناعي فقط كأداة مساعدة. لكن في الواقع، ثقة الأطباء الكبيرة بتوصيات الذكاء الاصطناعي قد تجعل النظام فعلياً هو الذي يحدد القرار. وهذا يفتح نقاشاً مهماً: هل اعتماد الأطباء الكبير على توصيات الذكاء الاصطناعي يعني نقل سلطة القرار عملياً إلى الآلة؟

من الناحية القانونية، بعض الدول تطور قوانين لتنظيم الأجهزة والبرامج الطبية المبنية على الذكاء الاصطناعي، وتقدم قرارات لتحديد تقاسم المسؤولية. قانون الذكاء الاصطناعي في الاتحاد الأوروبي ولوائح الأجهزة الطبية يحاولان تحديد معايير الموثوقية وتصنيفات المخاطر. لكن هذه القوانين ما زالت في مرحلة التطوير، ولم يتم إنشاء إطار قانوني يغطي بالكامل آليات القرار غير المتوقعة للذكاء الاصطناعي. من الناحية الأخلاقية، يجب أن يعالج الذكاء الاصطناعي بيانات المرضى بطريقة تحافظ على الخصوصية، ويجب تقليل التحيزات في الخوارزميات، ويجب تقييم النتائج الممكنة للقرارات الخاطئة مسبقاً. أيضاً، من المهم أن يتم شرح دور الذكاء الاصطناعي في عملية اتخاذ القرار للمريض بشفافية حتى لا يتضرر الثقة بين الطبيب والمريض. في هذا السياق، النقاشات لا تبقى فقط في الأداء التقني، بل يجب أن يتم تقييمها باستمرار من ناحية المسؤولية والأخلاق والإطار القانوني.

7.6 تأثيرات التكنولوجيا الحيوية النانوية على البيئة

في اختراعات التكنولوجيا الحيوية النانوية، تُستخدم الجسيمات النانوية خاصة في التقنيات التي تخدم الفائدة البيئية. هذه الجسيمات عادةً صغيرة جداً بين 1-100 نانومتر (nm). هذا الحجم الصغير يعني أن لها استجابات وتأثيرات مختلفة عن المواد العادية. ما زال غير معروف تماماً كيف تتحرك الجسيمات النانوية في البيئة وكيف تتوزع. هذا الغموض يسبب صعوبات في السيطرة على الجسيمات النانوية وتوقع المخاطر مسبقاً. وأيضاً، في بعض الدول، غياب القوانين يظهر كمسألة بيئية.

دخول المواد النانوية إلى البيئة يحدث عندما تُرمى كنفائيات أو تُحرق أو تُحلل كيميائياً. حيوية المادة النانوية مهمة جداً لمعرفة تأثيرها ومصيرها في البيئة. هذا الوضع يتطلب مراقبة تحولات هذه المواد في البيئة. لكن بسبب حجمها وذوبانها يصبح من الصعب متابعتها بعد ملامستها للبيئة. ومع ذلك، من السهل مراقبة وتقييم سمية الجسيمات النانوية التي تذوب بسرعة.

من بين الجسيمات النانوية: الفضة (Ag)، النحاس (Cu) والمعادن مثل أكسيد الزنك (ZnO) وأكسيد الحديد (Fe_2O_3) تذوب أسرع، بينما ثاني أكسيد التيتانيوم (TiO_2)، الأنابيب الكربونية والغرافين أكثر ثباتاً. من هذه الجسيمات، تُستخدم الفضة في الطلاءات المضادة للبكتيريا، المنسوجات، الأجهزة الطبية، منتجات التجميل. ويُستخدم ثاني أكسيد التيتانيوم (TiO_2) وأكسيد الزنك (ZnO) في كريمات الشمس، الدهانات، إضافات الطعام والبلاستيك. الجسيمات البلاستيكية النانوية الموجودة في البلاستيك الذي نستخدمه يومياً تضر البيئة أيضاً.

مقارنة بالمواد العادية، الجسيمات النانوية أكثر نشاطاً في التفاعلات الكيميائية. هذه الفعالية العالية يمكن أن تسبب تأثيرات غير متوقعة على البيئة والكائنات الحية. وأيضاً، بسبب صعوبة تحليلها في الطبيعة، تبقى وقتاً طويلاً وتسبب تراكمًا حيويًا. تراكمها في الماء والتربة والهواء يعني انتقالها إلى الكائنات في النظام البيئي.

النظام المائي هو الطريق الرئيسي لتعرض البيئة للمواد النانوية. المواد النانوية المركبة التي تُطلق في البيئة، والتي تُصنع من جمع مادتين أو أكثر، تصل في النهاية إلى الماء. الجسيمات في الماء يمكن أن تمتصها الكائنات أثناء الترشيح. وأيضاً، الجسيمات في الماء ترتبط مع بعضها وتشكل مجموعات، وهذه المجموعات تصبح أثقل وتترسب في قاع الماء، أي في الرواسب. نتيجة ذلك، الكائنات التي تعيش في الرواسب تتأذى. هذا يُعتبر من أخطر أضرار الجسيمات النانوية على البيئة.

الولايات المتحدة والصين، وهما أكبر دولتين في إنتاج وتصدير النانو، لم تمنع استخدام المواد النانوية تماماً طالما لم يتم إثبات هذه المخاطر والأضرار، واعتمدتا على نهج قائم على المخاطر. على عكس الولايات المتحدة والصين، الدول الأوروبية أكثر حساسية وحذراً بشأن أضرار المواد النانوية، وتجري بحوثاً ودراسات نشطة حول تأثير المواد النانوية على البيئة. حتى اليوم، يتم تطوير طرق اختبار يمكنها إثبات مخاطر المواد النانوية بشكل صحيح، وتبذل منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (OECD) جهوداً كبيرة لتوحيد هذه الاختبارات دولياً. في هذا السياق، أحد الأسئلة للنقاش هو ما إذا كان من الصحيح إطلاق الجسيمات النانوية في البيئة قبل إثبات أضرارها تماماً. هل يجب تقييد الإنتاج حتى بدون دليل قاطع؟ هذا السؤال يُطرح للنقاش. في نفس الوقت، يجب مناقشة ما إذا كان يجب وضع عبارة واضحة على ملصقات المنتجات اليومية التي تحتوي على مواد نانوية (مثل الكريمات الشمسية، التجميلية، إضافات الطعام) "يحتوي على جسيمات نانوية". هذه المسألة مهمة أيضاً ويجب التفكير فيما إذا كان يجب أن تصبح إلزامية لأمان المستهلك.

8. الإدراك العام وتأثير الإعلام

8.1 كيف يتشكل إدراك الجمهور تجاه البيو-نانو تكنولوجيا؟

تلعب التطورات العلمية دوراً حاسماً في تقدم الإنسانية والمجتمع. لذلك، الفهم الصحيح للعلم وطرائقه، وتوعية الجمهور، بحتلان مكانة مهمة في تطور العلم.

تمتلك التكنولوجيا الحيوية إمكانات كبيرة في مجالات الصحة والزراعة وتحسين جودة الغذاء. غير أن هذا الإمكان يرتبط أيضاً بمخاطر وعدم وضوح. ويُعدّ الدعم للتقنيات الأكثر ابتكاراً – مثل التكنولوجيا الحيوية الزراعية التي يُنظر إليها غالباً بعين الشك – أمراً بالغ الأهمية لتطور التكنولوجيا. ويرى الباحثون أن قبول المستهلك للتكنولوجيا الحيوية يعتمد على مستوى معرفته ووعيه وثقته

يميل المستهلكون إلى التعامل مع الهندسة الوراثية بالشك في بعض المجالات بدلاً من رفضها كلياً. على سبيل المثال، ينظر أغلبية الناس إلى التكنولوجيا الحيوية في المجال الطبي بنظرة أكثر إيجابية مقارنة باستخدامها في الزراعة وقطاع الأغذية. أما في ما يخص مجال الأغذية وإنتاجها عبر الهندسة الوراثية، فإن المستهلكين يرون أن الفائدة الصحية أو البيئية للمنتج تُعد أهم من كونه أرخص أو أكثر لذة. ومن بين الأسس التي تفسر الاختلافات الإقليمية في مستوى الدعم: المواقف السياسية للحكومات، وطريقة تناول الإعلام للموضوع، والاختلافات الثقافية والتاريخية، والظروف الاقتصادية، إضافة إلى معارضة النشاط.

تشير أبحاث أخرى إلى أن التحيزات ضد الهندسة الوراثية، خاصة في قطاع الأغذية، نتيجة لنقص المعلومات وتأثير وسائل الإعلام. إذ يُصور الإعلام الكائنات المعدلة وراثياً على أنها "خطيرة" أو "مخالفة للطبيعة"، مما يجعل أكبر المخاوف لدى الجمهور. وخاصة

في دول منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا وتركيا (MENAT) هذه الأغذية يمكن تتمثل المخاطر الصحية، والشكوك الدينية، والابتعاد عن الطبيعة الغذاء. ويرجع ذلك إلى ضعف الوصول إلى المصادر العلمية والمعلومات العامة، إضافة إلى دور وسائل التواصل الاجتماعي والمواقع الإخبارية في تعزيز هذه التحيزات

نتائج استبيانات “NanOpinion” التي أجريت في عام 2015 أظهرت أن الأفراد الأوروبيين لديهم موقف إيجابي تجاه تكنولوجيا النانو. ومع ذلك، أشاروا إلى أنهم لا يشعرون بالكفاءة الكافية في هذا المجال بسبب نقص المعلومات المتاحة لديهم. بشكل عام، لوحظ أن الطلب الأساسي يكمن في الحصول على معلومات واضحة ومتوازنة وسهلة الوصول تتناول الجوانب الأخلاقية والقانونية والاجتماعية. أما في الولايات المتحدة، فيعتقد غالبية الناس أن فوائد التكنولوجيا الحيوية حتى الآن فاقت آثارها الضارة، وأن بعض مجالات التكنولوجيا الحيوية ستعود بالنفع في المستقبل. ومع ذلك، لوحظ انخفاض التفاؤل بشأن مستقبل التكنولوجيا الحيوية. كما لوحظ أيضاً وجود قلق بشأن الأضرار المحتملة للتكنولوجيا الحيوية

في دراسة أخرى أجريت في هولندا، وُجد أن الشباب في المرحلة الثانوية ينظرون إلى الأغذية المعدلة وراثيًا بدرجة من الإيجابية أكثر من البالغين، كما يرون أن التغييرات الجينية على النباتات أكثر قبولاً من تلك التي تُجرى على الحيوانات أو الأغذية الحيوانية. وفسروا ذلك بأن التدخلات الحيوانية “غير طبيعية”، و”خطيرة”، و”لا ينبغي القيام بها”، و”غير أخلاقية”. في الوقت نفسه، تبين أن الطلاب الذين يدرسون علم الأحياء لديهم وجهات نظر أكثر إيجابية تجاه الأغذية المعدلة وراثيًا. تشير هذه الدراسة تساؤلات حول ما إذا كانت آراء المجتمع تتشكل بناءً على الحساسية الأخلاقية والفهم الأخلاقي، أم على المعرفة العلمية المتراكمة. كما أن النظر في أن معظم اللوائح القانونية تتشكل وفق موقف الرأي العام يطرح إشكالية حول ما إذا كان يجب أخذ آراء الجمهور بعين الاعتبار في النقاشات العلمية والتنظيمية التي تتطلب مستوى عالٍ من المعرفة

8.2. فهم الاستنساخ والتدخلات الجينية في نظم المعتقدات المختلف

منذ بداية الدراسات حول الاستنساخ والتدخلات الجينية في الأغذية، أثارت الادعاءات الناشئة اهتمام الجمهور، خصوصاً في موضوعات حساسة مثل استنساخ الإنسان، والتي تتعلق بالمعتقدات الدينية والأخلاقية والمعنوية للعديد من الناس. وقد أبدت الأديان المختلفة اهتماماً قوياً بهذه القضايا وفق قواعدها الخاصة، وكان لذلك تأثير كبير على سياسات العلم. منعت العديد من الدول الغربية ذات الأغلبية المسيحية استنساخ الإنسان وإنشاء خطوط الخلايا الجذعية البشرية، أو وضعت تنظيمات صارمة لهذه الأبحاث.

اصل المواقف تجاه استنساخ الإنسان يتشكل عبر أسئلة مثل: هل يعتبر الجنين بوضع إنساني؟ هل يعتبر تدميره أثناء البحث جريمة قتل؟ وهل الاستنساخ يعني التدخل في خلق الله؟ أما السؤال الأكثر أهمية من منظور العلم فهو: إلى أي مدى يجب أن تؤثر الديانة في العلم؟

يُعد المسيحيون من الأديان الرائدة المعترضة على أي استنساخ بشري وأبحاث الإخصاب الصناعي (IVF). فالكنيسة لا تميز بين كيفية خلق الجنين (طبيعي، IVF، أو استنساخ)، فترى جميعها متساوية. ومن ثم، يُعتبر تدمير أي جنين بمثابة جريمة قتل. وفقاً للكاتوليك، وخاصة الرومان الكاثوليك، يُعتبر الاستنساخ مخالفاً بشكل قاطع “للقانون الأخلاقي”، لأنه يُنظر إليه على أنه انتهاك لكرامة التكاثر البشري ووحدة الزواج. بالإضافة إلى ذلك، يقبل معظم القادة المسيحيين الإخصاب الصناعي (IVF)، لكنهم ما زالوا يعارضون الاستنساخ لغايات الإنجاب بشدة. ويؤكد قادة مثل دونالد بروس أن الاستنساخ يعني التحكم الكامل في الجينات الخاصة بالفرد مسبقاً، وأن مثل هذه السلطة لا ينبغي أن تعطى لأي أحد

بالنسبة للاعتقاد البوذي، يُعتقد أن خلق الحياة ليس عملية ثابتة أو مؤكدة. ديميان كيون، أستاذ البوذية في قسم التاريخ بكلية جولدسميث بجامعة لندن والمُعترف به كمرجع في ردود البوذيين على الاستنساخ وغيرها من المواضيع البيوميديكالية، قال: “تعلم البوذية أن الحياة يمكن أن تظهر بطرق متعددة، وليس فقط من خلال التكاثر الجنسي، لذلك ليس للتكاثر الجنسي أولوية إلهية على أشكال التكاثر الأخرى”، موضحاً أن التكنولوجيا الحيوية ليست أداة مشككة من منظور البوذية. ومع ذلك، فإن آرائه حول الاستنساخ العلاجي ليست نفسها، لأنه يتعارض مع المعتقدات البوذية من سبب أنه يتضمن تجارب على البشر غير الناضجين.

في الإسلام، بسبب وجود مدارس فكرية ومذاهب مختلفة، هناك اختلافات دقيقة بين الآراء. وفقاً للشرعية، هناك فرق بين الحياة الفعلية والحياة المحتملة، ويُشير إلى أن الحياة الفعلية يجب حمايتها أكثر من الحياة المحتملة. لهذا السبب، في معظم التفسيرات، لا

يُعتبر الجنين شخصاً، واستخدامه لأغراض الاستنساخ العلاجي لا يُعد جريمة. الإسلام ينظر إلى استنساخ الإنسان لأغراض الإنجاب من منظور أخلاقي وحدود الأسرة. يُعتبر الحفاظ على الروابط الأسرية والنسب أمراً أساسياً، وبالتالي يُسمح بالاستنساخ فقط لمساعدة الأزواج المتزوجين الذين لا يستطيعون إنجاب الأطفال.

في العقيدة اليهودية، يُنظر إلى الاستنساخ العلاجي ليس كتشجيع بل كواجب. ويرجع ذلك إلى أن الدين اليهودي يعتبر الأعمال التكنولوجية التي تهدف إلى تحسين العالم وحياة البشر مهمة. لذلك، فإن معظم العلماء اليهود لا يؤيدون الحظر الحكومي على الاستنساخ العلاجي. في بيان مشترك بين اتحاد الجاليات اليهودية الأرثوذكسية في أمريكا ومجلس الحاخامات الأمريكي، ذُكر: "إذا كانت أبحاث تكنولوجيا الاستنساخ تُعزز قدرتنا على شفاء البشر بشكل أكثر فعالية، ولا تتطلب أو تشجع تدمير الحياة في هذه العملية، فيجب متابعة هذه التكنولوجيا." ومع ذلك، يختلف الوضع بالنسبة للاستنساخ البشري لغايات الإنجاب.

هناك رأيان بشأن استنساخ الإنسان: الأول يرى أن الله هو الخالق الوحيد وأن الخلق قد اكتمل، وفي هذه الحالة لا يُسمح بتدخل الإنسان. أما الرأي الثاني فيرى أن الخلق لم ينته بعد، وأن الله هو مصدر هذه العملية ومستمر فيها، وفي هذه الحالة للإنسان دور في الخلق. بعض العلماء اليهود يدعمون الرأي الثاني لأغراض الخير، مثل مساعدة من لا يستطيعون إنجاب الأطفال. وفقاً للشريعة اليهودية، لا توجد مشكلة في الجانب الفني لعملية استنساخ الإنسان، لكن سبب عدم القبول الحالي يعود إلى: انخفاض نسبة نجاح الاستنساخ، والآثار السلبية المحتملة، والمشكلات الاجتماعية والنفسية. ومع ذلك، يُفهم أن هذا الوضع قد يتغير إذا تطورت العمليات الطبية وحُلّت القضايا الأخلاقية

8.3 تأثير وسائل الإعلام والثقافة الشعبية على البيونانو تكنولوجيا

بينما يحب معظم الناس الثقافة الشعبية، يُنظر إليها أحياناً كمصدر معلومات خاطئة عن العلم. وقد انتقد العديد من العلماء والمعلمين تمثيلات التكنولوجيا الحيوية في وسائل الإعلام باعتبارها مضللة، وأشار بعضهم إلى أن الجينات تُعرض بطريقة سطحية وخاطئة. خصوصاً في أعمال الرعب والخيال العلمي والقصص الديستوبية، يُلاحظ أن تمثيل التكنولوجيا الجينية يثير مخاوف غير منطقية

على سبيل المثال، في عام 2000، ذكرت المؤسسة الوطنية للعلوم الأمريكية أن "وسائل الإعلام الخيالية تضعف قدرات التفكير التحليلي لدى الجمهور وتمنع الثقافة العلمية"، وفي عام 2010، أشار رئيس اتحاد الجمعيات العلمية والتكنولوجية في أستراليا إلى أن "مستويات الثقافة العلمية المثيرة للقلق لدى الأستراليين قد تُظهر أن الطلاب ربما تعلموا عن العلم من خلال فيلم Jurassic Park أكثر من نظام التعليم نفسه"

ومع ذلك، أظهرت الدراسات أن الثقافة الشعبية قد يكون لها تأثير إيجابي في فهم علم الوراثة. تستخدم الأفلام والمسلسلات والأخبار الاستعارات والقصص لتسهيل فهم موضوعات الجينات، مما قد يدفع الجمهور للتفكير في ماهية الوراثة وأخلاقياتها. كما أظهرت الأبحاث أن وسائل الإعلام لا تُستهلك بشكل سلبي فقط؛ إذ يقوم المستهلكون بتفسير ما يشاهدونه في الأفلام أو المسلسلات بناءً على معتقداتهم وأفكارهم، ويمنحونها معنى يتوافق مع آرائهم الشخصية. يتشكل بهذا السؤال: هل من الصواب اعتبار طريقة عرض الأفلام للتكنولوجيا الحيوية وتمثيلها كمصدر للمعلومة، ومع ذلك يتم التساؤل أيضاً عن دقة هذه التمثيلات

الاسئلة التي يجب حلها في الأجندة

- ما هي العوامل التي ممكن تمنع تطور التكنولوجيا الحيوية النانوية في المستقبل؟
- إلى أي مدى يجب أن تصل القوانين المفروضة على التكنولوجيا الحيوية النانوية؟
- هل تُعدّ عقلية "طور أولاً ثم فكّر لاحقاً" خطيرة؟
- هل القوانين الحالية كافية؟ أم هل هناك حاجة إلى قواعد دولية جديدة؟
- من يجب أن يكون له الكلمة الأخيرة في مستقبل هذه التكنولوجيا؟ العلماء أم الحكومات أم الشعوب؟
- هل يمكن لهذه التكنولوجيا أن تكون حلاً لأزمة بيئية أو هل ستخلق أزمات بيئية جديدة؟
- كيف ينبغي حماية البيانات الجينية الشخصية المستخرجة عبر التقنيات الحيوية النانوية؟ وهل القوانين الحالية كافية لذلك؟
- كيف يجب أن تُنظّم براءات الاختراع في مجال التقنية الحيوية النانوية، وما الخطوات التي يجب اتباعها؟
- هل التجارب على البشر والحيوانات أخلاقية؟
- ما التهديدات الجديدة التي قد تسببها التكنولوجيا الحيوية النانوية بالنسبة للبنى القائمة للأمن الدولي؟
- ما هو المستقبل المتوقع للتكنولوجيا الحيوية النانوية في مجالي الطب و تنظيف البيئة؟ وما المطلوب من أجل تطويرها؟
- هل ينبغي الاستمرار في متابعة الطب التقليدي؟
- أي أنواع الاستنساخ أخلاقية؟ ولماذا؟
- إلى أي مدى يُعدّ استخدام الجسيمات النانوية في جسم الإنسان والبيئة أمراً مقبولاً؟
- هل يؤدي تعزيز الإنسان صناعياً إلى إحباط المساواة؟ وهل يمكن أن تدفع هذه التقنيات نحو سباق لصناعة "إنسان متفوق" في الحروب؟

<https://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/project-result-content/67a8b044-4239-45be-9b18-0b22764f514d/Nanoteknoloji%20%20Karakterizasyon%20ve%20Uygulamalar.pdf>

<https://ec.europa.eu/newsroom/horizon2020/items/24795/en?>
https://www.americans-world.org/digest/global_issues/biotechnology/bio_summary.cfm

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10507620/>
<https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/aslihan.kizildogan/68988/B%C4%B0YOR EMED%C4%B0ASYON-F%C4%B0TORE M%C4%B0DASYON.docx>

<https://www.astuteanalytics.com/industry-report/china-tissue-engineering-market?>

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4990848/>

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4675507/>

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10507620/>

<https://inovasyon.info/images/makaleler/sizdenBize/S.Cetiner.Inovasyon.org.pdf>

<https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/144529>

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5355974/>

<https://humgenomics.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40246-018-0151-9?>

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33793624/>

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39951854/>

<https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/muevren/110987/Gıda%20Sanayinde%20Biyoteknolojik%20Uygulamalar.pdf>

<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1189307>

<http://www.uni-ecoaula.eu/images/Tables/ACADEMIC COURSE 1 TR.pdf>

<https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/aslihan.kizildogan/66330/Hafta%201-tan%C4%B1m,%20tarih%C3%A7e.pdf>

<https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/z6r7xfr/revision/3>

<https://www.nature.com/articles/s41392-023-01642-x>

<https://www.innova.com.tr/blog/biyosensorler-ve-giyilebilir-teknolojiler-gelecegin-saglik-izleme-sistemleri>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221334372500483X?>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214180425000066?>

<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/902586>

<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3280782>

<https://services.tubitak.gov.tr/edergi/yazi.pdf;jsessionid=ij1qgebw67U5q7xNV-mlsFxM?dergiKodu=4&cilt=33&sayi=391&sayfa=40&yaziid=12152>

https://www.isaaa.org/kc/inforesources/documentrepository/K_Sheet_%28Public_Perception%29.pdf?
<https://europepmc.org/article/MED/14619371>

<https://openaccess.iyte.edu.tr/bitstream/1147/10305/1/70662f48-d007-4f10-b05f-de92fbe0cadf.pdf?>
<https://tbbdergisi.barobirlik.org.tr/m2020-151-1949>

<https://europepmc.org/article/med/12325101>

<https://biomedya.com/hayvan-deneyleri-ye-rine-yapay-deri-modeli>

<https://www.hafta.com.tr/hayvan-deneyleri-bitiyor-48527>

<https://time.com/5550654/crispr-gene-editing-human-embryos-ban/?>

<https://patienteducation.asgct.org/patient-journey/ethical-issues-germline-gene-editing?>
<https://pmarketresearch.com/it/human-microchip-implant-market/?>

<https://carnegiecouncil.org/media/article/preemptive-bans-human-microchip-implants?>

https://www.researchgate.net/publication/358583758_Ethical_Issues_of_Human_Chip_Implantation_Technology

<https://lifeofmedical.com/biyonanoteknoloji/-nedir>

<https://gelisenbeyin.net/biyo-nanoteknoloji.html>

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tmj/issue/84027/1463943>

<https://nanoteknoloji.org/biyoteknoloji-nedir/>

<https://tosla.com/blog/nanoteknoloji-nedir-ve-kullanım-alanları-nelerdir>

<https://nano.aku.edu.tr/2016/05/12/nano-4/>

<https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/tinkilic/62518/1.%20B%C4%B0YOTEKNOLOJ%C4%B0%20-%20TANIM%20VE%20TAR%C4%B0HSEL%20GEL%C4%B0%C5%9E%C4%B0M%C4%B0.pdf>

<https://www.tsijournals.com/articles/world-history-of-modern-biotechnology-and-its-applications.html>

<https://www.britannica.com/science/gene-editing>

<https://www.americangene.com/blog/what-is-gene-editing-how-it-works-in-2-minutes/>

<https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/crispr-nobel-odullu-gen-duzenleme-yontemi>

https://evrimagaci.org/blog/crispr-ile-gen-duzenleme-gelecegi-sekillendiren-teknoloji-18747?srsId=AfmBOophgoCOeSbEO3WrLF5BGp3wmRNdWkDk_4WHH4XZQrS3j1nH-Bc4

<https://www.yapikredi.com.tr/blog/gelecek-bilim/detay/sentetik-biyoloji-yeni-yasam-formlari-yaratmanın-gelecegi>

https://thinktech.stm.com.tr/uploads/docs/1643613501_stmsentetikbiyolojidunyayikurutarabilirmi.pdf

?

<https://lifesciences.danaher.com/us/en/library/synthetic-biology.html>

<https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/sentetik-biyolojinin-biyomalzemelerde-kullanimi>

<https://thinktech.stm.com.tr/tr/nanorobotlar-tibbin-geleceginin-anahtari-mi>

<https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=5761>

<https://www.drozdogan.com/nanorobotlar-kanser-tedavisinin-gelecegi>

/

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/avrasyasbd/issue/62452/870553>

https://evrimagaci.org/nanorobotik-nedir-nanorobotlar-gelecekte-tip-alaninda-nasil-kullanilacak-9134?srsId=AfmBOopLjO-PvfEPDYZ1QtI_N66FWqawxB0CJkMSqgYdyXIAJS_wuwMS

<https://shop.nanografi.com.tr/blografi/nano-tip-ve-nano-ilaclar>

https://www.tfd.org.tr/sites/default/files/Klasor/Dosyalar/ebultenler/ktcg/44_KFCG_Ebulten_02_2011.pdf

<https://www.nanokar.com.tr/blog/nanotip-ve-nano-ilaclar-nedir-kullanim-alanlari>

<https://kolektifhouse.co/komag/nanoteknoloji-nedir-nanoteknoloji-kullanim-alanlari-ve-ornekleri#:~:text=Nano%20malzemeler%20elektronik%2C%20manyetik%20ve,gibi%20farkl%C4%B1%20bir%C3%A7ok%20.alanda%20kullan%C4%B1%C4%B1r>

<https://diyabetcemiyeti.org/uploads/57/mustafa-cesur.pdf>

<https://nanoteknoloji.org/yapay-zeka-ve-nanoteknoloji>

<https://datamining.com.tr/nanoteknoloji-ve-yapay-zeka/1001>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2790676024000128>

<https://askweb.com.tr/nanoteknolojinin-cevreye-etkileri-faydalari-ve-uzun-vadeli-belirtiler>

https://www.researchgate.net/publication/349521206_Nanoteknolojinin_Cevre_ve_Insan_Sagligi_Uzerindeki_Riskleri

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/kifmd/issue/33523/397004>

<https://www.marmara.edu.tr/news/nanoteknoloji-ve-biyomalzemeler-uygulama-ve-arastirma-merkezimizin-nanoteknoloji-calislari-oucu-olmaya-devam-ediyor>

<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2149058>

<https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/759213>

<https://www.sistempatent.com/belgelendirme/danismanlik/medikal-urun-danismanligi/biyouyumluluk-nedir-biyouyumluluk-testleri-ve-belgelendirme.aspx>

<https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/mehmet.kuru/71321/12.%20hafta.pdf>

<https://www.accredit.org/tr/nanotechnology-research-and-development-firms/safety-protocols-in-nanotechnology>

<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/562591>

<https://nanoteknoloji.org/nanoteknoloji-ve-siber-guvenlik-tehlikeleri>

<https://jnanobiotechnology.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12951-024-02901-x>

<https://www.nist.gov>

https://www.wipo.int/en/web/patents/faq_patents

<https://dergipark.org.tr/en/pub/ejbcs/issue/66486/909023>

<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/691976>

<https://m5dergi.com/kapak/savunma-saniyiinde-nanoteknolojinin-kullanimi>

<https://nanokar.com/savunma-sanayisinde-nanomalzemeler-ve-metal-tozlarinin-rolu>