الطب النانوي

د. أحمد عوف عبدالرحمن

العبيكان
Obeikan

© شركة العبيكان للتعليم، 1440 هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر
عبدالرحمن، أحمد عوف محمد.
الطب النانوي. / أحمد عوف محمد عبدالرحمن.-
الرياض، 1440 هـ.
320 ص؛ 14 × 21 سم.
ردمك: 0-193-509-603-978
1- تقنية النانو 2- الطب. أ.العنوان
ديوي 620.5 1440/1571

حقوق الطباعة محفوظة للناشر

الطبعة الأولى
1440 هـ / 2019 م

نشر وتوزيع العبيكان Obeikan
المملكة العربية السعودية - الرياض
طريق الملك فهد - مقابل برج المملكة
هاتف: 4808654 11 966+، فاكس: 4808095 11 966+
ص.ب: 67622 الرياض 11517

العبيكان للنشر Obeikan Publishing
obeikanpub obeikan.reader
للحصول على كتبنا الورقية
سوقا amazon إحدى شركات
نون noon
للحصول على كتبنا الصوتية
storytel Kitab Sawti www.kitabsawti.com دار ضاد للنشر الإلكتروني
للحصول على كتبنا الإلكترونية
Google Play amazon kindle

جميع الحقوق محفوظة. ولا يسمح بإعادة إصدار هذا الكتاب أو نقله في أي شكل أو واسطة، سواء أكانت إلكترونية أو ميكانيكية، بما في ذلك التصوير بالنسخ (فوتوكوبي)، أو التسجيل، أو التخزين والاسترجاع، دون إذن خطي من الناشر.

بسم الله الرحمن الرحيم

قائمة المحتويات

المقدمة 13

أ- مدخل 31

ب- تمهيد 41

جـ- أهداف البحث 51

د- أهمية البحث 16

هـ- منهج البحث وأدواته وأهم مشكلاته 16

و- مصطلحات البحث 17

1 - الطب (Medicine) 17

2 - النانو (Nano) 18

ز- خُطَّة البحث 18

الفصل الأول: التقنية النانوية.. السر والإنجاز 21

تمهيد 23

المبحث الأول: تقنية النانو وجذورها التاريخية 29

المبحث الثاني: تطور تقنية النانو 34

المبحث الثالث: منشأ مصطلح تقنية النانو 43

المبحث الرابع: خصائص المواد النانوية وتطبيقاتها 47

المبحث الخامس: مفاهيم أساسية في تقنية النانو 62
أولًا: مفهوم «النانو»: 62
ثانيًا: تكنولوجيا النانو: 62
ثالثًا: المواد النانوية: 65
رابعًا: الأدوات النانوية: 68
خامسًا: الجهائز النانوية: 68
سادسًا: الطب النانوي: 69
المبحث السادس: رواد تقنية النانو في العصر الحديث 72
عالم الرياضيات ريتشارد فاينمان: 72
الباحث الياباني نوريو تانيغوشي: 73
المخترعان العالمان جيرد بينج و هينريك روهر: 73
عالم الرياضيات إريك دريكسلر: 73
الدكتور منير نايفة: 74
الدكتور مصطفى السيد: 75
الدكتور سامي بن سعيد بن علي حبيب: 75
الدكتور زين بن حسن يماني: 76
المبحث السابع: بعض مصطلحات تقنية النانو 77

الفصل الثاني تطبيقات تقنية النانو في المجال الطبي 87

تمهيد 89

المبحث الأول: تقنية النانو وإيصال الدواء إلى الأنسجة 92

المبحث الثاني: تطبيقات تقنية النانو في اكتشاف الأدوية والعقاقير العلاجية 106

المبحث الثالث: تطبيقات تقنية النانو في التشخيص الطبي 113

أجهزة التشخيص (Diagnostic Instruments) 116

أ.تقنيات التصوير (Imaging Techniques): 116

ب. الجسيمات متناهية الصغر (Nanoparticles): 119

ج. الاختبارات الحيوية (Biochemical tests) 120

د. متابعة المرض: 124

هـ- مغانيط نانوية لتنقية الدم: 124

و- الأذن النانوية لسماع الفيروسات والبكتيريا: 128

المبحث الرابع: تطبيقات النانو في تشخيص السرطان وعلاجه 131

أولًا: التشخيص المبكر للسرطان وعلاجه: 132

ثانيًا: مكافحة السرطان عن طريق استهداف الجينات المسببة له: 137

ثالثًا: نانو الذهب: العلاج الضوء- حراري: 140

رابعًا: نانو طبي للتخلص من السرطان: 143

خامسًا: إيصال الدواء بتقنية النانو لعلاج السرطان: 145
سادسًا: المساعدة في جراحة الأورام: 146
سابعًا: رصد خلايا السرطان واكتشافها بدقة متناهية: 147
ثامنًا: تقنية النانو تغير الفلسفة العلاجية للسرطان: 148
أنواع اللقاحات للسرطان: 151
المبحث الخامس: تطبيقات النانو في طب وجراحة العين والأذن 159
شبكية العين الصناعية: 159
ليزر أحادي النمط من سلك نانوي مفرد: 160
صناعة عدسات أفضل بواسطة فقاعات الجرافين: 162
معالجة ضعاف السمع: 164
المبحث السادس: تطبيقات النانو في طب وجراحة الأسنان 166
المبحث السابع: تطبيقات النانو في الجراحة العامة وجراحة الأوعية الدموية 170
المبحث الثامن: تطبيقات النانو في تشخيص مرض السكري وعلاجه 177
أولًا: في التشخيص: 177
ثانيًا: في العلاج: 179
المبحث التاسع: تطبيقات النانو في هندسة الأنسجة وإصلاح الخلايا 181
المبحث العاشر: تطبيقات النانو في علاج أمراض الكلى 186

المبحث الحادي عشر: تطبيقات النانو في طب العظام وجراحته 188
ألياف نانو لتعزيز نمو غضاريف الركبة: 189
استخدام تكنولوجيا رائدة في تصنيع سقالات العظام: 191
توليف سقالات العظام عن طريق سيراميك النانو: 192
تحسين الخواص الميكانيكية لسقالات العظام: 193
تقليص الأعراض الجانبية لزراعة العظام: 194
المبحث الثاني عشر: تطبيقات تقنية النانو في الغذاء الصحي 196
تمهيد: 196
المطلب الأول: استخدام تقنية النانو في مجال صناعة الأغذية 198
أ – تصنيع الأغلفة العادية: 202
ب – تصنيع العبوات الحافظة: 203
ج – الكشف عن ملوثات الأغذية: 205
أولًا: لحوم صناعية وأخرى مزيفة: 212
ثانيًا: بروتين من النفط: 213
ثالثًا: خدمة توصيل الغذاء إلى الخلايا: 214
رابعًا: استخدام «النانو» لإنتاج أغذية مقاومة للسرطان: 215
خامسًا: مطبخ المستقبل: 216
المبحث الثالث عشر: تطبيقات طبية في الآفاق 219

النانو ضد الشيخوخة: 224

المبحث الرابع عشر: رؤية إستراتيجية لتفعيل دور النانو في الطب في العالم العربي 230

الفصل الثالث تقنية النانو بين القبول والرفض 235

تمهيد 237

المبحث الأول: نظرة الخوف من تقنية النانو 240

المبحث الثاني: أخطار تقنية النانو 245

أولًا: قضايا صحية (الأخطار على صحة الإنسان): 245

ثانيًا: قضايا بيئية (أخطار على البيئة): 254

ثالثًا: قضايا اجتماعية (الآثار الاجتماعية لتقنية النانو): 258

رابعًا: «غراي غو»: الأخطار المصاحبة للرؤية المتوقعة لتقنية النانو الجزيئية: 264

المبحث الثالث: أخطار النانو.. نظرة دولية 266

الخاتمة 275

أولًا: النتائج: 277

ثانيًا: التوصيات: 278

الملاحق 281

ثالثًا: ملحق الجداول: 307

أ ـ الكتب: 309

قائمة المصادر والمراجع 309

ب ـ الدوريات: 310

المقدّمة

يحتل علم الصغريات أو تكنولوجيا النانو Nanotechnology في عصرنا الراهن مكانة مرموقة في حياة مختلف الشعوب، ويؤثر بصورة مباشرة في التنمية الشاملة لكل المجتمعات. فهذه التقنية الواعدة تبشر بقفزة هائلة في شتى فروع العلم، ويرى المتفائلون أنها ستلقي بظلالها على كافة مجالات العلم الحديث والاقتصاد العالمي.

أ- مدخل:

تتعدد مجالات استخدام تكنولوجيا النانو في كل من الطب والدواء، والصناعات الإلكترونية، والزراعة ومعالجة مياه الشرب، والبيئة، وغيرها. وتوفر حلولًا لمجموعةٍ مركبةٍ من التحديات الهندسية والعلمية في مجال الأغذية والصناعة الحيوية[1].

(1) جريدة الرياض، جريدة يومية تصدر عن مؤسسة اليمامة الصحفية: تطبيقات التقنية متناهية الصغر (Nanotechnology) في مجالات الصناعات الغذائية؛ تعبئة وتغليف الأغذية: سليمان الفضل، الأحد 30 يناير 2011م، العدد 15560.

ولم يكن من المستغرب أن يحتل قطاع الطب والدواء والرعاية الصحية رأس قائمة اهتمامات وتطبيقات تكنولوجيا النانو، وهي التي سخرت كل العلوم الأساسية، وروضت جميع التقنيات الحديثة من أجل صحة البشر وسعادتهم، وسارت بنا نحو آفاق جديدة، كانت تحلم بها البشرية طوال قرون عديدة.

ب- تمهيد:

تعد تقنية النانو بالكثير من التطبيقات الطبية المتعلقة بالتشخيص الدقيق والعلاج عالي الكفاءة، وكذلك الكثير من التطبيقات في مجال الرعاية الصحية، حيث إن مواجهة أكثر الأمراض فتكًا بالإنسان مثل أمراض السرطان ستكون ممكنة بإذن الله في غضون السنوات القادمة؛ وذلك من خلال طب النانو nano-medicine، الذي بدأت الكثير من أبحاثه وتطبيقاته التجريبية في الكثير من مراكز الأبحاث حول العالم.

وكان لتداخل تكنولوجيا النانو الحيوية مع الكيمياء الحيوية وعلم الوراثة الجينات وعلم الأحياء الجزيئي أعمق الأثر في تطور طرق التشخيص، والكشف المبكر عن الأمراض والمشكلات الصحية، مع معرفة الأسباب المؤدية إلى المرض معرفة دقيقة، وأدى هذا بطبيعة الحال إلى تحقيق طفرة تكنولوجية كبيرة في مجال صناعة الأدوية، وابتكار طرق جديدة وفعالة في عمليات

توصيل الدواء إلى خلايا معينة من خلايا الجسم، والانفراد بتقديم تقنيات حديثة ومتقدمة لقهر السرطان ودحره موضعيًّا من دون أدنى تدخل جراحي، فضلًا عن الابتكارات المتعلقة بموضوع هندسة زراعة الأنسجة في جسم الإنسان خاصة في مجال طب وجراحة اللثة والأسنان.

جـ- أهداف البحث:

تقنية النانو من أحدث التقنيات العلمية، التي يجب الإحاطة بها، ومتابعة تطورها. ويهدف البحث إلى رصد هذه التقنية الجديدة، وتحديد ملامحها المستقبلية، والوقوف على تطبيقاتها الحالية والمتوقعة، خاصة في المجال الطبي. ولعل **الأهداف الرئيسة** هي:

1. التعرف على تقنية النانو وتطبيقاتها المختلفة في المجال الطبي.
2. التعرف على واقع أبحاث النانو وتطبيقاته في العالم العربي في الطب.
3. تحديد التوجهات المستقبلية لتقنية النانو في مجال الطب.
4. نشر الوعي العلمي على المستوى الاجتماعي والتربوي بعلوم النانو، وخاصة الطب النانوي.

د- أهمية البحث:

لقد أصبحت الحاجة إلى البحث العلمي في وقتنا الحاضر أشد منها في أي وقت مضى، حيث أصبح العالم في سباق محموم للوصول إلى أكبر قدر ممكن من المعرفة الدقيقة المثمرة، التي تكفل الراحة والرفاهية للإنسان.

ونظرًا لأهمية تقنية النانو تتسابق الأمم حسب إمكانياتها وتوجهاتها العلمية، من خلال أنشطة المؤسسات العلمية والجهات الحكومية والتجارية إلى المساهمة في دعم شتى مجالات تطبيقاتها وتطويرها، وخاصة المجال الطبي.

وتعد التطبيقات الطبية لتقنية النانو هي التطبيقات الأهم لهذه التقنية من بين كل التطبيقات المتوقعة من هذه التقنية الحديثة، وذلك لارتباطها المباشر بحياة الإنسان وصحته. ولقد قام طب النانو بتحقيق خطوات رائدة، تقود العالم إلى ثورة طبية شاملة، تمثلت في تغيير كامل لمفاهيم طرق العلاج التقليدية، وتطوير تقنيات التشخيص والكشف المبكر عن الأمراض والأورام.

هـ- منهج البحث وأدواته وأهم مشكلاته:

اعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي لواقع أبحاث تقنية النانو وتطبيقاته في المجال الطبي، ومتطلبات النهوض به، وذلك لتعظيم الاستفادة منها.

واعتمد البحث في بياناته على مصادر البيانات العربية والأجنبية، المتاحة في هذا المجال بأنواعها المختلفة حول تكنولوجيا النانو، وكان الاعتماد الأساسي على شبكة الإنترنت، وتم التركيز على التطبيقات الخاصة بعلم الطب.

ولعل مشكلة البحث تتمثل في أن النانو عالم نجهل عنه الكثير، والتقنية النانوية لم تكتمل فصولها بعد. ومن هذا المنطلق علينا أن نتفكَّر مليًّا ودون استعجال حول هذه التقنية الحديثة، التي دخلت حياتنا من كافة جوانبها وأوسع أبوابها، ولا نهتم فقط بما تقدمه لنا من امتيازات وتطورات وإنجازات.

و- مصطلحات البحث:

لعل أبرز مصطلحات البحث هي: (الطب) و(النانو).

1 - الطب (Medicine):

علم الطب: هو العلم الذي يبحث فيه الأطباء عن السبيل الذي يوصل إلى علاج الأمراض التي تصيب الإنسان، ومداواة الجروح والكسور التي يتعرض لها في حياته، وكيفية تشخيص المرض، ومعرفة طرق الوقاية التي تحفظ للإنسان الصحيح صحته وعافيته وتقيه العدوى، وتخفف عنه آلام الأمراض.

وعلم الصيدلة يلتحم مع علم الطب في حفظ صحة الإنسان إذا كانت موجودة، وردها إليه إذا كانت مفقودة، والتغلب على المرض بالعلاج السريع[1].

2 - النانو (Nano):

كلمة «نانو» في الأصل مصطلح اختصاري يُضاف لوحدات القياس بهدف التخلص من كتابة الأرقام الصغيرة جدًّا، حيث تُغني كتابة كلمة «نانو» عن كتابة الرقم واحد على ألف مليون، وعند إضافة كلمة نانو قبل وحدة قياس الأبعاد «المتر» يصغر القياس إلى جزء واحد من ألف مليون جزء من المتر[2].

ز- خُطَّة البحث:

لقد استعنت بالله عَزَّوَجَلَّ وقسّمت بحثي إلى: مقدمة، وثلاثة فصول، وخاتمة.

---

(1) أضواء على تاريخ الطب: محمود السعيد الطنطاوي، سلسلة دراسات في الإسلام، يصدرها المجلس الأعلى للشئون الإسلامية بالقاهرة، العدد (183)، السنة 16 جمادى الآخرة 1396هـ/ يونيو 1976م، ص7.

(2) جون فانستون وهنري إيلوت، Nanotechnology: A Technology Forecast، Texas State Technical College، April 2003. لمزيد من التفصيل: انظر الفصل الأول.

أما المقدمة فاشتملت على: مدخل وتمهيد للبحث، ثم موجز لأهدافه وأهميته، وكذلك تناولت منهج البحث وأدواته وأهم مشكلاته، وأبرز مصطلحاته، وخطته.

يهدف الفصل الأول إلى إعطاء فكرة عامة عن تقنية النانو، مفهومها وتاريخها وآليات عملها، وكذلك أجيالها وبعض مصطلحاتها.

أما الفصل الثاني فيقدم رؤية بانورامية عن تطبيقات النانو في المجالات الطبية، خاصة تطبيقاتها المتمثلة في نظم إيصال الدواء إلى الأنسجة واستخدامها في التشخيص الطبي، ودورها في اكتشاف الأدوية والعقاقير العلاجية، ثم دور تقنية النانو في هندسة الأنسجة، وعلاج مرض السكري، وإصلاح الخلايا التالفة، وتطبيقاها في مجال طب الأسنان.كما تناول باستفاضة دور تقنية النانو في علاج السرطان من خلال التشخيص المبكر لمرض السرطان، واستخدام طرق العلاج النانوية، وكذلك استهداف الخلايا السرطانية دون غيرها.

وكذلك تطبيقات النانو في طب وجراحة العين والأذن والجراحة العامة، وجراحة الأوعية الدموية. وعلاج أمراض الكلى، وطب وجراحة العظام. وكذلك في الغذاء الصحي النانوي.

ثم يستشرف تطبيقات صحية في الآفاق، ويقدم رؤية إستراتيجية لتفعيل دور النانو في الطب في العالم العربي.

فضلاً عن الآثار الاجتماعية لتقنية النانو، والنظرة الدولية لتلك الأخطار المحدقة.

أما الفصل الثالث فيتحدث عن الآثار الصحية والأخلاقية السلبية لتقنية النانو، وهي الآثار السلبية المباشرة على صحة الإنسان وعلى البيئة.

ثم تمَّ بحمد الله البحث بخاتمة، ضمّنتها جملة من النتائج والتوصيات.

والله أسأل التوفيق والسداد في الدنيا والآخرة.

د.أحمد عوف محمد عبدالرحمن
1437هـ/ 2016 م

الفصل الأول

التقنية النانوية.. السر والإنجاز

تمهيد

فرضت تقنية النانو نفسها وبقوة على المجتمع العلمي؛ لأنها التكنولوجيا الوحيدة القادرة على دمج العلوم الأساسية، وصهرها في بوتقة واحدة؛ وقد كان لذلك أبلغ الأثر في أن ترتبط بمعاني الإبداع والانفراد، وأن تحمل في طياتها صفات الجودة والتميز.

ولا شك أن تقنية النانو (Nanotechnology) سوف تدفع بالبشرية نحو عالم مثير ومذهل، ومن أبرز التوقّعات المستقبلية لهذه التقنية هي إحداث سلسلة من الثورات والاكتشافات العلمية خلال العقدين القادمين، وما سيرافقها من تغير هائل في الكثير من ملامح الحياة في مجالات شتى؛ ولذا بدأ السباق المحموم في أبحاث وتطبيقات «النانو» على المستوى العالمي، ويُتوقّع أن تكون البحوث والتقنيات «النانوية» أكبر المشروعات العلمية في هذا القرن[1].

(1) www.aljarida.com/aljarida/resources/pdfpages/aljarida/182007 –08–/p02_secondpage.pdf

إن تقنية (النانو) مجال تطبيقي رحب، (**شكل 1**)، يشهد تسارعًا ملحوظًا، ويقتحم بكل قوة جميع مجالات الحياة، ويدخل بصورة مباشرة أو غير مباشرة في جميع الاحتياجات البشرية (**جدول 1**)[1]، حتى إنك لا تستطيع ملاحقة التطورات الحاصلة، أو متابعة الابتكارات المتلاحقة، أو الأبحاث الجارية، وحتى (تذهلك التقارير العلمية التي تنشرها الصحف حول تطور علم تقنية النانو نقلًا عن المعامل الجامعية والمعاهد)[2]، بل لقد أصبحت كلمة «النانو» من الكلمات الرائجة والشائعة في وسائل الإعلام، وأضحى العلماء يعدون التقنية النانوية من أهم وأكبر الفتوحات العلمية، التي أحرزها الإنسان في العصر الحاضر؛ حيث تعقد عليها الآمال في تطوير مناحي الحياة، ومساعدة البشرية على العيش بصورة أفضل، وتحقيق حياة أجمل، وهى في سبيل ذلك تسير في خطوات متسارعة نحو آفاق واعدة، وغد مشرق[3].

وإذا ألقينا نظرة سريعة على تشعب هذه التقنية، وما تقدمه كل يوم من ابتكارات استطعنا أن نرصد في قراءة مستقبلية أن

---

(1) انظر ملاحق البحث.

(2) توبي شـيللي: تقنية النانو آمال وأخطار جديدة، ترجمة: د. عقلا الحريص ود. عبدالله الحاج، كتاب العربية، الرياض، المملكة العربية السعودية، 1430هـ/ 2009م.

(3) مجلة عجمان للدراسات والبحوث: طب النانو.. الآفاق والأخطار؛ منير محمد سالم، المجلد العاشر العدد الأول، ص 75.

هذه التقنية تستطيع أن تغير وجه العالم، وتصنع ما يكون أشبه بالمعجزات، فقد استطاع الباحثون «تصنيع مفاتيح كهربائية بالغة الصغر من مادة السليكون، تستطيع الفتح والإقفال ملايين المرات في ثانية واحدة باستخدام طاقة كهربائية بالغة الضآلة[1]، وهذا الاكتشاف سوف يكون مصدر اهتمام كبير لمصنعي ذاكرة الحاسب. كذلك قاموا بتطوير آلية نانوية، تمكننا من بناء سلسلة من المادة الوراثية المكونة للـ DNA (**شكل 2**)، «يستطيع العلماء من خلالها وعن طريق استخدام جديلة DNA تحريك جزء صغير بالغ الصغر من مكان إلى مكان آخر في البناء النانوي في المادة، لتحديد طريقة عمله مسبقًا»[2]. وبذلك يكون بالإمكان صنع آلة تستطيع وضع الجزيء في المكان الذي نريده، ومن ثم ندع البناء يكتمل أوتوماتيكيًّا بدلًا من تبديل قطعة بقطعة أخرى واحدة بواحدة.

وكذلك مكنت تقنية النانو العلماء من استخدام الأسلاك النانوية كمجسمات حيوية في التشخيص، واكتشاف العديد من الأمراض في مراحلها الأولية، واستخدامها كذلك بوصفها حاملًا للدواء أو بوصفها أداة للتصوير داخل الجسم؛ إلى الانخراط في

(1) المرجع السابق نفسه.

(2) المرجع الأسبق.

عالم الإلكترونيات والاتصالات، وتصنيع رقائق لتخزين كم كبير من المعلومات، والاتجاه نحو تصنيع كمبيوتر كمي، أسرع في تنفيذ العمليات واستخدام كمية أقل من الطاقة.

وتَعِد التقنية النانوية بثورة في علم الغذاء[1]، سواء على مستوى الزراعة وإنتاج الأغذية، أو على مستوى حفظها والمحافظة على قيمتها الغذائية. (**شكل 3**)، حيث تقوم شركات عدة بتطوير مواد نانوية، تؤثر على طعم الأغذية وسلامتها، وعلى الفوائد التي تؤمنها[2]. على مستوى النانو، ودخلت كمادة مضافة في تصنيع عصائر الفواكه والأجبان والمارجرين وغيرها[3]. وهناك الكثير من المنتجات التي تصنع بهذه التقنية الرائعة، لتنتج لنا فراولة خالية من الفطريات، يمكن تخزينها لفترات طويلة، وكذلك آلة سيراميكية تحافظ على زيوت القلي دون تغير،

---

(1) Nanotechnology at BASF: A great future for tiny particles. At: www. Basf.com. and www.Nanotech.now.com.

(2) Qinhuangdao Taiji Ring Nano–products company limited. at: www. 369.com.cn, and «China Nano–products, Nano–Tea, Nanotechnology,Tea–China products catalog» at: www.made–in–China.com.

(3) Nanotechnology at BASF: A great future for tiny particles. At: www. Basf.com. and www.Nanotech.now.com.

وتقليل نسبة الاستهلاك إلى النصف، وغير ذلك من المنتجات الغذائية والصناعية الواعدة[1].

وفي مجال الطاقة المتجددة، استطاعت تقنية النانو تطوير مواد الخلايا الشمسية لإنتاج الجيل الثالث للسليكون الكهروضوئي، التي سوف تؤدي إلى التوسع في استغلال مصادر الطاقة المتجددة في العقد القادم[2]. وسوف تؤدي هذه التقنية إلى قيام صناعة متقدمة لا شك فيها، تهدف إلى إنتاج الجيل الثالث من الخلايا الشمسية، تصل كفاءتها إلى ثلاثين أو أربعين بالمئة[3].

لقد تنبأ العلماء بمستقبل واعد لهذه التقنية التي باتت الدول الصناعية تضخ الملايين من الدولارات من أجل تطويرها، وقد وصل تمويل اليابان لدعم بحوث النانو إلى بليون دولار، أما في الولايات المتحدة فهناك 4000 عالم أمريكي لديهم المقدرة على العمل في هذا المجال، وتقدّر الميزانية الأمريكية المقدمة لهذا العلم بتريليون دولار حتى عام 2015م.

---

(1) مجلة عجمان للدراسات والبحوث: طب النانو.. الآفاق والأخطار؛ منير محمد سالم، مرجع سابق.

(2) Catchpole K.R., Polman A., Plasmonic Solar cells, Optics Express, Vol. 16, No.6, Dec.2008.

(3) Enhancing Solar–cells–with Nanoparticles, Jan. 2009 at: www.Photoniconline.com.

إن هذه التقنية الواعدة سوف تحدث ما يشبه الطفرة في جميع فروع العلم المختلفة، ويعتقد عدد من الباحثين أن هذه التكنولوجيا سوف تؤثر على حياة الناس في الخمسين سنة المقبلة، بطريقة تفوق جميع التغييرات التي حدثت خلال الخمسة قرون الماضية[1].

(1) www.Aljarida.com/Aljarida/resources/Pdfpages/Aljarida/18–08– 2007/p02_secondpage. pdf.

المبحث الأول

تقنية النانو وجذورها التاريخية

تقنية النانو لا يمكن ربطها بعصر أو بحقبة تاريخية خاصة، بل لها جذر عميق على امتداد العصور والأجيال. ففي القرن الرابع للميلاد تم تصنيع أول كاس ملكي للملك الروماني لايكورجوس مطرز بمادتي الذهب والفضة، وتم الكشف عنه مؤخرًا في إحدى المتاحف البيزنطية، فوجد بأنه كان مصنوعًا من جسيمات نانوية من الذهب والفضة. ويتميز بظاهرة مثيرة، وتتمثل في تغير لونه وفقًا لزاوية سقوط الضوء عليه، فعندما ينفذ الضوء من هذا الإناء يأخذ اللون الوردي، وعندما ينعكس الضوء من الإناء يأخذ اللون الأخضر، وقد تم تفسير هذه الظاهرة، بعد أن تم اكتشاف جسيمات نانو ذهبية (Nano-gold)، التي كانت هي المسئولة عن التفاعل مع الضوء، ومن ثم إعادة بعثه باللونين السابقين.

وعلى الرغم من أن الجسيمات النانوية تعد اختراعًا في مجال العلم الحديث، إلا أن لها تاريخًا قديمًا جدًّا. حيث

كان الحرفيون يستخدمون الجسيمات النانوية منذ القرن التاسع الميلادي في بلاد ما بين النهرين، بهدف الحصول على تأثيرٍ براقٍ لأسطح الأواني والقدور، (**شكل 4**)[1].

وكذلك، فإن صناعة الفخار في العصور الوسطى وعصر النهضة غالبًا ما يتم إكسابها بريقًا معدنيًّا ملونًا: إما بالذهب أو النحاس. وينتج هذا البريق عن استخدام طبقةٍ معدنيةٍ على السطح الشفاف في أثناء عملية التزجيج. وقد تظل طبقة البريق أو اللمعان مرئية، لو كان للشريط مقاومة لأكسدة الجو، وظروف المناخ الأخرى.

و يكون البريق أو اللمعان متواجدًا بالطبقة نفسها، التي تحتوى جسيمات الفضة والنحاس، أو تشتمل عليها، والمتناثرة بصورةٍ متجانسةٍ في المصفوفة الزجاجية بالخزف المصقول. وقد أنتج الحرفيون المهنيون تلك الجسيمات النانوية من خلال إضافة النحاس وأملاح الفضة، وكذلك الأكاسيد المختلفة جميعها، مع الخل وأكسيد الرصاص، بالإضافة إلى الطين أو الصلصال، على سطح الأواني الفخارية المصقولة

(1) محمد صالح الصالحي، وعبدالله صالح الضويان: مقدمة في تقنية النانو، إصدار بمناسبة انعقاد ورشة عمل أبحاث النانو في الجامعات، جامعة الملك سعود، الرياض، المملكة العربية السعودية، 2007م.

مسبقًا. ثم يتم وضع ذلك الجسم بعد ذلك داخل فرنٍ، الذي يتم تسخينه ليصل إلى درجة حرارة 600 درجة مئوية في جوٍّ تقليصيٍّ.

وتصبح الطبقة المصقولة ملساء بفعل حرارة التسخين، مما يؤدي إلى نزوح أيونات النحاس والفضة إلى الطبقات الخارجية من تلك الطبقة المصقولة. ويُخَفِض جو التخفيض الأيونات عائدةً إلى المعادن، التي تتجمع بعد ذلك معًا مشكلةً الجسيمات النانوية والتي تعطي اللون والتأثيرات البصرية المقصودة.

ومن ثم فقد أظهرت أساليب التلميع أن المهنيين القدامى كانت لديهم معرفةٌ عمليةٌ أكثر تعقيدًا بالمواد. كما نبع ذلك الأسلوب كذلك في العالم الإسلامي. ونتيجة أنه من المحرم على المسلمين أن يستخدموا الذهب في العروض الفنية، فقد فرض ذلك الوضع عليهم ضرورة الحاجة إلى ابتكار طريقةٍ يحصلون منها على نفس التأثير دون استخدام الذهب الحقيقي. وكان الحل من خلال استخدام البريق أو اللمعان[1].

(1) Philip S. Rawson (1984). Ceramics. University of Pennsylvania Press. ISBN 0812211561.

و كان مايكل فاراداي أول من قدم وصفًا بمعناه العلمي للخصائص والسمات البصرية للمعادن النانوية في ورقته البحثية الكلاسيكية عام 1857م. في حين أوضح الباحث (تيرنر) في ورقةٍ بحثيةٍ أخرى أن: «من المعروف جيدًا عندما يتم وضع رقائق الذهب أو الفضة على سطحٍ زجاجيٍّ ثم يتم تسخينه لدرجة حرارة أقل من الحرارة الحمراء (~ 500 درجةٍ مئويةٍ)، يحدث تغيرٌ ملحوظٌ في الخصائص، حيث يتم إتلاف استمرارية الطبقة المعدنية. وتكون النتيجة أن ينتقل الضوء الأبيض بحرية، ويتلاشى الانعكاس بصورة تلقائيةٍ نتيجة لذلك، في حين تتزايد المقاومة الكهربائية[1]».

ومن الشعوب الأولى التي استخدمت هذه التقنية دون أن تدرك ماهيتها هم العرب، حيث كانت السيوف الدمشقية (**شكل 5**) التي استخدمت ما بين عام 900–1750م، وعرف عن تلك السيوف حدتها ومتانتها وكذلك قوتها، وعرف عنها أنها تقطع السيوف الأوروبية، بل وحتى الصخور، وامتازت أيضًا بالنقش على نصلها، حيث تم الكشف عن هذا السر العجيب للسيف الدمشقي من قبل إحدى البعثات الألمانية، فقد تبين في

(1) Faraday, Michael (1857). «Experimental relations of gold (and other metals) to light». Phil. Trans. Roy. Soc. London 147: 145–181. doi:10.1098/rstl.1857.0011.

أثناء تحليل لقطعة منه وجود لآثار أنابيب متناهية الصغر من الكربون. واليوم صارت تلك الأنابيب متناهية الصغر المصنوعة من الكربون قمة تكنولوجيا النانو، أو علم المواد متناهية الصغر[1].

(1) مجلة العلوم: (الترجمة العربية لمجلة سَـاينتفيك أمريكان Scientific American) تصدر شهريًّا في دولة الكويت عن مؤسسـة الكويت للتقدم العلمي، المجلد (17)، أغسطس/ سبتمبر2001م، «سرّ السيوف الدمشقية: D.J.ثيرهوڤن»،ص 15.

المبحث الثاني

تطور تقنية النانو

قبل ظهور النانو كانت تقنية الميكرو هي المستخدمة في الأنظمة التقنية، مثل الشرائح الإلكترونية، حيث تتراوح أحجامها في المدى من الميكرومتر إلى الميليمتر، والميكرومتر هو مقياس طولي يساوي جزء من المليون من المتر، أو يقابل 10/1 من حجم قطرة من الرذاذ أو الضباب، ويستخدم الميكرومتر لقياس الأطوال الموجية للأشعة تحت الحمراء.

وقد استخدمت الأجهزة الميكروية في عدد كبير من الصناعات، مثل طابعات الحبر النفاثة، ومجسات الضغط لقياس ضغط الهواء في إطارات السيارات وقياس ضغط الدم، القافلات الضوئية المستخدمة في الاتصالات وإرسال المعلومات[1].

ومن المواد المستخدمة في تصنع الأجهزة الميكروية هي مادة السليكون، حيث تعد العصب الرئيس لصناعة الدوائر

(1) مجلة العلوم: (الترجمة العربية لمجلة سَـاينتفيك أمريكان Scientific American) تصدر شهريًّا في دولة الكويت عن مؤسسـة الكويت للتقدم العلمي، المجلد (17)، أغسطس/ سبتمبر2001م، «سرّ السيوف الدمشقية: D.J.ڤيرهوڤن»،ص 15.

الإلكترونية المتكاملة، وهذه المادة تعطي عمرًا طويلًا للأجهزة، وتعمل لمدة تتجاوز البليون والترليون دورة دون عطب.

ويمكن كذلك استخدام البوليمرات لتصنيع الأجهزة الميكروية، حيث يمكن تصنيعها بأحجام كبيرة وذات خصائص مختلفة.

وأخيرًا تستخدم الفلزات في تصنيع الأجهزة المكروية، حيث تعطي درجة عالية من الاعتمادية، ومن الأمثلة على الفلزات المستخدمة: الذهب، النيكل، الألمونيوم، الكروميوم، والفضة.

واليوم تأتي تقنية النانو لتحل بديلاً عن الميكرو، حيث يمكن تصنيع الأجهزة الكهروميكانيكية والإلكترونية النانوية، وتقليل حجم جميع تلك الأجهزة المستخدمة بمقدار ألف مرة عن حجم أجهزة الميكرو، مما يؤدي إلى تغيير خصائص تلك الأجهزة إلى الأفضل.

لقد أصبحت كلمة «النانو» من الكلمات الرائجة والشائعة في وسائل الإعلام، و أضحى العلماء يعدون التقنية النانوية من أهم وأكبر الفتوحات العلمية التي أحرزها الإنسان في العصر الحاضر؛ حيث تعقد عليها الآمال في تطوير مناحي الحياة، ومساعدة البشرية على العيش بصورة أفضل، خاصة أنها جعلت من التعامل مع عالم الذرات وجسيمات النانو أمرًا ممكنًا من الناحية العملية والتطبيقية.

وفي العصر الحاضر ظهرت بعض البحوث التي صنعت مسيرة هذه التقنية، وجعلتها تقنية المستقبل، وتعد محاضرة عالم الفيزياء الشهير ريتشارد فيمان (Richard Feynman) إلى الجمعية الفيزيائية الأمريكية في 29/ 12/ 1959م هي البداية الأولى لظهور تقنية النانو، عندما تحدث عن إمكانية التحكم في إعادة ترتيب الجزيئات والذرات في المادة في مقياس معين إلى مقياس صغير، ثم إلى مقياس أصغر فأصغر، وبذلك نستطيع بناء الآلات، وإجراء عمليات نستطيع من خلالها إنتاج أجسام على مستوى الجزيئات. وقد توقع أن يكون للبحوث حول خصائص المادة عند مستويات النانو دورًا أساسيًّا في تغيير الحياة الإنسانية. ولم يشر فيمان إلى «تقنية النانو» بشكل مباشر، ولكنه تحدث وبشكل استشرافي عن مستقبل التقنية البشرية، وعن ملامح هذه التقنية وفلسفتها ومبادئها الأساسية؛ حيث أوضح أن البشر مع تقدم العلوم سيتمكنون من تصنيع آلات دقيقة، تمكنهم من تصنيع آلات بمقياس النانو (Nano-scale machines)[1].

وقبل هذه المحاضرة، وبالرغم من وجود أبحاث قليلة على مواد بمستوى النانو، وإن كانت لم تسم بهذا الاسم،

(1) http://www.makphys.com/vb3/showthread.php

فقد تمكن أهلير من تسجيل مشاهداته للسليكون الأسفنجي (Porous silicon) عام 1956، وبعد ذلك بعدة سنوات تم الحصول على إشعاع مرئي من هذه المادة لأول مرة عام 1990، حيث زاد الاهتمام بها بعدئذ.

كما أمكن في الستينيات تطوير سوائل مغناطيسية (Ferro fluids) حيث تصنع هذه السوائل من حبيبات أو جسيمات مغناطيسية بأبعاد نانوية، كما اشتملت الاهتمامات البحثية في الستينيات على ما يعرف بالرنين البارامغناطيسي الإلكتروني (EPR) لإلكترونات التوصيل في جسيمات بأبعاد نانوية تسمى آنذاك بالعوالق أو الغروانيات (Colloids) حيث تنتج هذه الجسيمات بالفصل أو التحلل الحراري (heat de-composition).

وفي عام 1969 اقترح ليو ايساكي تصنيع تركيبات شبه موصلة بأحجام النانو، وكذلك تصنيع شبيكات شبه موصلة مفرطة الصغر، وقد أمكن في السبعينيات التنبؤ بالخصائص التركيبية للفلزات النانوية كوجود أعداد سحرية عن طريق دراسات طيف الكتلة (mass spectroscopy)، حيث تعتمد الخصائص على أبعاد العينة غير المتبلورة.

كما أمكن تصنيع أول بئر كمي (quantum well) في بعدين في المرحلة نفسها بسماكة ذرية أحادية، تلاها بعد ذلك تصنيع النقاط الكمية (quantum dots) ببعد صفري التي نضجت مع تطبيقاتها هذه الأيام.

وقد ظهر مسمى تقنية النانو عام 1979 عبر تعريف البروفيسور نوريو تانيجوشي Norio Taniguchi في ورقته العلمية المنشورة في مؤتمر الجمعية اليابانية للهندسة الدقيقة، حيث قال: (إن تقنية النانو ترتكز على عمليات فصل، اندماج، وإعادة تشكيل المواد بواسطة ذرة واحدة أو جزيء)، وفي المدة نفسها ظهرت مفاهيم علمية عديدة، تداولتها الأوساط العلمية حول التحريك اليدوي لذرات بعض الفلزات عند مستوى النانو، ومفهوم النقاط الكمية، وإمكانية وجود أوعية صغيرة جدًّا، تستطيع تقييد إلكترون أو أكثر.

وفي عام 1991م اكتشف العالم الياباني «سوميو لجيما» أنابيب الكربون النانوية، ثم ظهرت البلورات النانوية شبه الموصلة، وأدَّت الأبحاث أيضًا إلى زيادة سرعة ظهور جسيمات نانوية لأكاسيد المعادن. وفي عام 1993 تمكن العالم دونالد بثيون من شركة IBM لتكنولوجيا الحاسبات في الولايات المتحدة الأمريكية من رصد نانوتيوب مكونة من طبقة واحدة

(single-wall)، ويبلغ قطر الأنبوب الواحد منها 12 نانومتر، ثم انطلق العلماء بعد ذلك في مجال النانوتيوب، حتى استطاع فريق من العلماء الصينيين حديثًا من رصد أصغر نانوتيوب في العالم، الذي يصل قطره إلى 0.5 نانومتر فقط، مع العلم أن أقل قطر لأصغر شيء نظريًّا هو 0.4 نانومتر.

وفي عام 1995م تمكن العالم الكيميائي منجي باوندي من تحضير حبيبات من أشباه الموصلات الكادميوم/ الكبريت ذات قطر 4-3 نانومتر.

وفي عام 2000م تمكن العالم الفيزيائي العربي منير نايفة[1] من تصنيع عائلة من حبيبات السليكون، أصغرها ذات قطر 1 نانو، وتتكون من 29 ذرة سليكون، هذه الحبيبات عند تعريضها لضوء فوق بنفسجي، فإنها تعطي ألوانًا مختلفة حسب قطرها.

وفي عام 2000م أعلنت أمريكا (مبادرة تقنية النانو الوطنية) NNI، التي جعلت تقنية النانو تقنية إستراتيجية وطنية، وفتحت مجال الدعم الحكومي الكبير لهذه التقنية في جميع المجالات الصناعية والعلمية والجامعية. وتلا ذلك قيام

(1) منير نايفة: عالم ذرة فلسطيني، ولد في ديسمبر 1945م بقرية شويكة بجوار طولكرم.

اليابان عام 2002م بإنشاء مركز متخصص للباحثين في تقنية النانو، وذلك بتوفير جميع الأجهزة المتخصصة ودعم الباحثين وتشجيعهم، وتبادل المعلومات فيما بينهم[1].

وفي عام 2003م تم معرفة أسرار هذه التقنية والتحكم بعالم المواد النانوية.

وفي عام 2004م بدأت مرحلة التطبيقات الصناعية لهذه التقنية، حيث استخدمت المواد النانوية في صناعة المطاط الماليزي، وكانت النتائج مذهلة، فقد قفزت الخصائص الميكانيكية للمطاط من 12 إلى 20 ضعفًا بإضافة أجزاء بسيطة من المواد النانوية.

وفي 2008م، منح الرئيس الأميركي جورج بوش «قلادة العلوم الوطنية الأميركية» للعالم الدكتور مصطفى السيد[2] في حفلة خاصة في البيت الأبيض، فكان أول عالِم عربي يحصل على هذا الوسام. وفي هذه الحفلة، تلي بيانٌ تكريمي جاء فيه: «يمنح الوسام الأعلى للعلوم في الولايات المتحدة إلى العالِم الأميركي مصطفى

(1) محمد صالح الصالحي، وعبدالله صالح الضويان، مقدمة في تقنية النانو، مرجع سابق، ص 26-35.

(2) مصطفى السيد: عالم كيمياء مصري، ولد عام 1933 م في مدينة أبوكبير بمحافظة الشرقية، ويعد أول مصري وعربي يحصل على قلادة العلوم الوطنية الأمريكية، التي تعد أعلى وسام أمريكي في العلوم، لإنجازاته في مجال النانو تكنولوجي، وتطبيقه لهذه التكنولوجيا باستخدام مركبات الذهب الدقيقة في علاج مرض السرطان.

السيد تقديرًا لمساهماته في التعرّف إلى الخصائص الإلكترونية والبصرية للمواد النانوية، وتطبيق هذا في الطب النانوي، واستخدامه لهذه التكنولوجيا في علاج مرض السرطان بواسطة مركبات الذهب الدقيقة».

ومن وجهة النظر الفيزيائية الإلكترونية تعد تكنولوجيا النانو هي الجيل الخامس الذي ظهر في عالم الإلكترونيات، الذي يمكن تصنيف ثوراته التكنولوجية على أساس أنها مرت بعدة أجيال، شكلت أسباب الورود الحقيقي للنانو الذي عبر عن المرحلة الراهنة لها:

الجيل الأول: المصباح الإلكتروني (Lamp) بما فيه التلفزيون.

الجيل الثاني: استخدام الترانزستور، وانتشار تطبيقاته الواسعة.

الجيل الثالث: الدارات التكاملية (Integrate circuit)، وقد شكّلت ما تشكله تقنيات النانو في وقتنا الحالي من قفزة مهمة، فقد قامت باختزال حجم العديد من الأجهزة، بل رفعت من كفاءتها، وعددت من وظائفها.

الجيل الرابع: المعالجات الدقيقة (Microprocessors) التي أحدثت ثورة هائلة بإنتاج الحاسوب الشخصي والرقائق الحاسوبية السليكونية.

الجيل الخامس: المنمنمات (الجزئيات المتناهية في الصغر)، والتكنولوجيا المجهرية الدقيقة، (Nanotechnology)، وهو الجيل الحالي[1].

(1) محمد صالح الصالحي، وعبدالله صالح الضويان، مقدمة في تقنية النانو، مرجع سابق، ص 26-35.

المبحث الثالث

منشأ مصطلح تقنية النانو

يعود منشأ مصطلح تقنية النانو[1] إلى العالم الياباني نوريو تانيجوشي Norio Taniguchiفي جامعة طوكيو، الذي أطلق هذه التسمية في العام 1974م على عمليات هندسة المواد الدقيقة في المستوى النانو متري[2]، حيث عرَّفها بأنها: «عبارة عن مجموعة من عمليات الفصل والتكوين والدمج للمواد على مستوى الذرات أو الجزيئات»[3]. وذكر أن هذه التقنية أطلقت على بحث جديد في أحد أقسام الهندسة في الجامعة لفصل أو ربط أو تغيير المادة بمقدار ذرة أو جزيئة واحدة، ولم يكن استخدام هذا المصطلح لدلالة على تقنية مستقلة.

---

(1) جون فانستون و هنري إيلوت

Nanotechnology: A Technology Forecast, Texas State Technical College, April 2003.

(2) اللجنة الفرعية للتقنيات الهندسية والعلمية المتناهية الصغر

The National Nanotechnology Initiative: Strategic Plan, National Science and Technology Council, December 2004

(3) WWW. Kheper.net/ topics/nanotech/nanotech–histoey.htm

بعد ذلك جاءت محاولة وضع تعريف شامل لتقنية النانو، على أنها «التقنية التي تعطينا القدرة على التحكم المباشر في المواد والأجهزة التي أبعادها تقل عن 100 نانومتر، وذلك بتصنيعها وبمراقبتها وقياس خصائصها ودراستها»، كالماء مثلًا، يبلغ قطر جزيئته حوالي 1 نانومتر، في حين يبلغ قطر كُرية دم حمراء بشرية حوالي 7000 نانومتر، ويبلغ قطر الشعرة الواحدة من شعر الإنسان حوالي 10000 نانومتر (**شكل 6**)، وهذا التعريف هو الأكثر شمولًا، والأكثر قبولًا في الأوساط العلمية. وكلمة النانو تكنولوجي تستخدم أيضًا بمعنى أنها تقنية المواد المتناهية في الصغر أو التكنولوجيا المجهرية الدقيقة أو تكنولوجيا المنمنمات[1].

وفي عام 1986م بدأ أول استخدام لمصطلح (تقنية النانو) Nanotechnology في الأوساط العلمية بعد عدد من المحاضرات، وظهور بعض الكتب التي صدرت في هذا الميدان، خاصة بعد نشر Eric Drexler كتابه الشهير بعنوان (محركات الإنشاء: عصر تقنية النانو القادم)، حيث أخذ بعد ذلك التاريخ هذا المصطلح بعدًا آخر؛ ليشمل إلى جانب التعامل الصناعي مع الذرات والجزيئات جميع أبعاد الإنتاج العلمي النظري والتجريبي

(1) http://www.makphys.com/vb3/showthread.php

للجسيمات ذات الأبعاد الدقيقة، التي تتراوح أبعادها من 0، 1 نانومتر (الأبعاد الذرية) إلى 100 نانومتر.

ثم جاء اختراع المجهر النفقي الماسح (Scanning Tunneling Microscopy، STM) (**شكل 7**) من قبل شركة IBM بواسطة العالمين جيرد بينج وهينريك روهر، وهو جهاز يقوم بتصوير الأجسام بحجم النانو، حيث زادت البحوث المتعلقة بتصنيع التركيبات النانوية للعديد من المواد ودراستها. بعد ذلك بسنوات استطاع العالم الفيزيائي إيجلر من تحريك الذرات باستخدام جهاز الميكروسكوب النفقي الماسح، مما فتح مجالًا جديدًا لإمكانية تجميع الذرات المفردة مع بعضها. وفي الوقت نفسه تم اكتشاف الفلورينات بواسطة هارولد كرونو، ريتشارد سمالي وروبرت كيرل، وهي عبارة عن جزيئات تتكون من 60 ذرة كربون، تتجمع على شكل كرة، وقد حصلوا على جائزة نوبل في الكيمياء 1996م[1].

من جهة أخرى، تلعب تأثيرات ميكانيكا الكمّ دورًا أكبرَ مع تقلص حجم المادة إلى عشرات النانو مترات أو أقل، مما يفضي إلى تغير الخصائص الضوئية والمغناطيسية والكهربائية للمادة.

---

(1) مجلة عجمان للدراسات والبحوث: طب النانو.. الآفاق والأخطار؛ منير محمد سالم، مرجع سابق.

فعلى سبيل المثال لا الحصر يمكن ملاحظة أن تغير نسبة مساحة السطح إلى الحجم لجسيمات السليكون، أدى إلى امتصاص هذه الجسيمات الضوء في مجال الطيف فوق البنفسجي، بل والقدرة على الإشعاع في مجال الضوء المرئي. وتجدر الإشارة إلى وجود تأثيرات أخرى، قد تؤثر على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمادة، مثل توترها السطحي أو لزوجتها، عند الحد الأعلى من مدى الأبعاد النانوية.

لذا، تهدف تقنية النانو إلى استثمار هذه التأثيرات المرتبطة بالأبعاد النانوية للمادة، لتكوين نظم وأجهزة وبُنى ذات خصائص ووظائف جديدة مفيدة، تبعًا لهذه الأبعاد والأحجام الجديدة[1].

وحتى وقت قريب كانت تقنية النانو وتطبيقاتها مجرد فلسفة وفرضيات، وكانت بعيدة عن الواقع التطبيقي والعلمي، وخلال العشرين سنة الماضية استطاعت الأجهزة والتقنيات الحديثة أن تجعل من التعامل مع عالم الذرات وجسيمات النانو أمرًا ممكنًا من الناحية العملية.

(1) التقنية متناهية الصغر «النانو»: محمد بن عتيق الدوسري، مجلة الأمن والحياة، العدد (358) ربيع الأول 1433 هـ، ص 62.

المبحث الرابع

خصائص المواد النانوية وتطبيقاتها

تعد جميع المواد التقليدية بمثابة الخامات الأولية المستخدمة في تخليق المواد النانوية، ولكن تتميز المواد النانوية بخواص فيزيائية وكيمائية وميكانيكية فريدة عن المواد التقليدية[1]، وذلك بسبب اتساع مساحة السطح الخارجي للمواد النانوية، التي تعد أهم خاصية لها، وفيما يلي بعض خواص المواد النانوية:

- **الخواص الميكانيكية:** تأتي الخواص الميكانيكية على رأس الخواص المستفيدة من تصغير حجم حبيبات المادة، ووجود أعداد ضخمة من الذرات على أوجه سطحها الخارجي، حيث ترتفع درجة صلادة المواد الفلزية وسبائكها، وتزيد مقاومتها لمواجهة الأحمال الواقعة عليها.

(1) M. Al Hoshan, «Novel nanoarray structures formed by template based approach: characterization and electrochemistry» PhD Thesis,Minnesota University, (2007).

- **النشاط الكيمائي:** حيث تعمل بوصفها محفزات تتفاعل بقوة مع الغازات السامة، مما يرشحها لأن تؤدي الدور الأهم في الحد من التلوث البيئي.

- **الخواص الفيزيائية:** تتأثر درجة انصهار المادة بتصغير أبعاد حبيباتها، فدرجة انصهار الذهب في حجمه الطبيعي التي تصل إلى 1064 درجة حرارة، تقل إلى 500 درجة بعد تصغير حبيباته إلى نحو 1.35 نانومتر.

- **الخواص البصرية:** وهذه الخاصية تمكننا من صناعة شاشات عالية الدقة فائقة التباين ونقاء الألوان، مثل شاشات التلفاز والحاسبات والتليفون النقال الحديثة.

- **الخواص المغناطيسية:** كلما صغرت حبيبات المواد، وتضاعف وجود الذرات على أسطحها الخارجية، كلما ازدادت قوة وفاعلية قدرتها المغناطيسية.

- **الخواص الكهربية:** يؤدي تصغير أحجام حبيبات المواد إلى أقل من 100 نانومتر إلى تزايد قدرتها على توصيل التيار الكهربي.

- **الخواص البيولوجية:** زيادة قدرة المواد النانوية على النفاذ واختراق الموانع والحواجز البيولوجية، وتحسين

التلاؤم والتوافق البيولوجي، مما يسهل وصول العقاقير العلاجية والأغذية إلى خلايا معينة[1].

هذا، ويعتمد أساس عمل تقنية النانو على إعادة ترتيب الذرات لتصنيع جزيئات جديدة ذات مواصفات جديدة محددة ومخطط لها. و أفضل مثال على ذلك أن حجر الألماس والفحم كلاهما مصنوعان من الكربون، غير أن ترتيب الذرات في جزيء الألماس يختلف عن ترتيب الذرات في جزيئة الفحم..!!

يجب أن يتم تحقيق ثلاث خطوات لإنتاج بضائع بتقنية النانو:

1. يجب على العلماء أن يكونوا قادرين على معالجة الذرات المفردة.
2. تطوير آلات نانوية مجهرية تدعى: (المجمعات assemblers) يمكن أن تبرمج لمعالجة الذرات والجزيئات عند الرغبة.
3. القدرة على إيجاد مجمعات كافية لبناء سلم استهلاكية نانوية، وتسمى تلك الآلات: (المستنسخات replicators) و تبرمج لبناء مجمعات أكثر ويجب أن تعمل المجمعات والمستنسخات يدًا بيد، لبناء منتجات بشكل آلي.

---

(1) اللجنة الفرعية للتقنيات الهندسية والعلمية المتناهية الصغر.

The National Nanotechnology Initiative: Strategic Plan, National Science and Technology Council, December 2004.

ويتم التصنيع بواسطة طريقتين: الصعودية (buttom- up) والنزولية (top- down) وحاليًا تقنيات أعقد من ذلك.

ومن الطموحات في هذا المجال تصنيع جزيئات ترتب نفسها ذاتيًّا، تمامًا كما تفعل بعض الإنزيمات الطبيعية التي تعرف الكيفية والمكان اللذين تؤثر فيهما، ويأمل العلماء الحصول على مصنعات حيوية تشبه الطبيعية في عملها وهيكلها الجزيئي[1].

ويمكن تصنيع المواد النانوية على عدة أشكال، وذلك بناء على الاستخدام المقرر لهذه المواد، ومن أهم هذه الأشكال ما يلي:

1. النقاط الكمية Quantum dots:

عبارة عن تركيب نانوي شبه موصل ثلاثي الأبعاد، يتراوح أبعاده بين 2 إلى 10 نانومتر، وهذا يقابل 10 إلى 50 ذرة في القطر الواحد أو تقريبًا 100 إلى 100000 ذرة في حجم النقطة الكمية الواحدة. وتقوم النقطة الكمية بتقييد إلكترونات شريط التوصيل وثقوب شريط التكافؤ.

كما تبدي النقاط الكمية طبقًا طاقيًّا مكممًا متقطعًا، وتكون الدوال الموجية المقابلة متمركزة داخل النقطة الكمية.

(1) http://www.makphys.com/vb3/showthread.php.

وعندما يكون قطر النقطة الكمية يساوي 10 نانومتر فإنه يمكن رصف 3 ملايين نقطة كمية بجانب بعضها البعض بطول يساوي عرض إصبع إبهام الإنسان.

2. الفولورين Fullerene:

تركيب نانوي غريب آخر للكربون، وهو عبارة عن جزيء مكون من 60 ذرة من ذرات الكربون، ويرمز له بالرمز C60، وقد اكتشف عام 1985م.

إن جزيء الفولورين كروي المظهر، ويشبه تمامًا كرة القدم التي تحتوي على 12 شكلًا خماسيًّا و20 شكلًا سداسيًّا.

ومنذ اكتشاف كيفية تصنيع الفولورين عام 1990م وهو يحضر بكميات تجارية. كما أمكن الحصول على جزئيات بعدد مختلف من ذرات الكربون، مثل C36 وC48 وC70 إلا أن العلماء أبدوا اهتمامًا خاصًّا بالجزيء C60.

لقد سمي هذا التركيب بالفولورين نسبة للمخترع والمهندس المعماري وبكمنستر فولر (R. Buckminster Fuller).

وهكذا فقد نشأ فرع جديد يسمى كيمياء الفولورين، حيث عرف أكثر من 9000 مركب فولورين منذ عام 1997م، وظهرت تطبيقات مختلفة لكل من هذه المركبات، ومنها المركبات

K3C60 وRbcs2C60 و C60–CHBr3 التي أبدت توصيلية فائقة (superconductivity). كما امتشقت أشكال أخرى منها كالفولورين المخروطي والأنبوبي إضافة إلى الكروي[1].

3. الكرات النانوية Nanoballs:

من أهمها كرات الكربون النانوية التي تنتهي إلى فئة الفولورينات، من مادة C60، لكنها تختلف عنها قليلًا بالتركيب، حيث إنها متعددة القشرة.

كما أنها خاوية المركز، على خلاف الجسيمات النانوية، بينما لا يوجد على السطح فجوات، كما هي الحال في الأنابيب النانوية متعددة الغلاف.

وبسبب أن تركيبها يشبه البصل فقد سماها العلماء (البصل) Bucky، وقد يصل قطر الكرات النانوية إلى 500 نانومتر أو أكثر[2].

4. الجسيمات النانوية Nanoparticles:

على الرغم من أن كلمة (الجسميات النانوية) (**شكل 8**)،

---

(1) محمد صالح الصالحي، وعبدالله صالح الضويان، مقدمة في تقنية النانو، مرجع سابق، ص 26–35.

(2) المرجع السابق نفسه.

حديثة الاستخدام إلا أن هذه الجسيمات كانت موجودة في المواد المصنعة أو الطبيعة منذ زمن قديم.

فعلى سبيل المثال، تبدو أحيانًا بعض الألوان الجميلة من نوافذ الزجاج الصدئة، وذلك بسبب وجود مجموعات عنقودية صغيرة جدًّا من الأكاسيد الفلزية في الزجاج، حيث يصل حجمها قريبًا من الطول الموجي للضوء.

ومن ثم، فإن الجسيمات ذات الأحجام المختلفة تقوم بتشتيت أطوال موجبة مختلفة من الضوء، مما ينتج عنه ظهور ألوان مختلفة من الزجاج.

يمكن تعريف الجسيمات النانوية على أنها عبارة عن تجمع ذري أو جزيء ميكروسوبي، يتراوح عددها من بضع ذرات (جزيء) إلى مليون ذرة، مرتبطة ببعضها بشكل كروي تقريبًا بنصف قطر أقل من 100 نانومتر.

فجسيم نصف قطري نانومتر واحد سوف يحتوي على 25 ذرة أغلبها على سطح الجسيم، وهذا يختلف عن الجزيء الذي قد يتضمن عددًا من الذرات بأن أبعاد الجسيم النانوي تقل عن أبعاد حرجة لازمة لحدوث ظواهر فيزيائية معينة، مثل: متوسط المسار الحر، الذي تقطعه الإلكترونات بين تصادمين متتالين

مع الذرات المهتزة، وهذا يحدد التوصيلية الكهربائية. وللتجمع الذري أعداد سحرية من الذرات لتكوين الجسيمات النانونية، فجسيمات السيلكون النانوية، مثلًا، تتكون من أعداد محددة من الذرات، وليس عند أي عدد، لينشأ جسيمات بأنصاف أقطار محددة 1، 1.67، 2.15، 2.9 نانومتر فقط.

عند تعرض هذه الجسيمات لأشعة فوق بنفسجية فإنها تبعث ضوءًا بلون مرئي طوله الموجي يتناسب عكسيًّا مع مربع قطر الجسيم، ومن ثم يمكن رؤية ألوان مرئية معينة.

عندما يصل حجم الجسيمات النانوية إلى مقياس النانو في بعد واحد، فإنها تسمى البئر الكمي (quantum well)، أما عندما يكون حجمها النانوي في بعدين فتسمي السلك الكمي (quantum wire)، وعندما تكون هذه الجسيمات بحجم النانو في ثلاثة أبعاد، فإنها تعرف بالنقاط الكمية (quantum dots).

ولا بد من الإشارة هنا إلى أن التغير في الأبعاد النانوية في التركيبات الثلاثة السالفة الذكر سوف يؤثر على الخصائص الإلكترونية لها، مما يؤدي إلى حدوث تغيير كبير في الخصائص الضوئية للتركيبات النانوية.

تكتسب الجسيمات النانوية أهمية علمية، حيث إنها تقع بين التركيب الحجمي الكبير للمادة، وبين التركيب الذري والجزيء،

حيث تحتوي هذه الجسيمات في العادة على 106 ذرة أو أقل، أما الجزئي فإنه يمكن أن يحتوي على 100 ذرة أو أقل، وقد يصل نصف قطره إلى أكثر من نانو متر واحد. ومن الخصائص المهمة وغير المتوقعة للجسيمات النانوية هو أن الخصائص السطحية للجسيمات تتغلب على الخصائص الحجمية للمادة.

وبينما تكون الخصائص الفيزيائية للمادة الحجمية ثابتة بغض النظر عن حجمها، فإن تلك الخصائص للمادة عندما تصل إلى مقياس النانو سوف تتغير، ومن ثم تعتمد على حجمها.

ويلاحظ كذلك أن النسبة المئوية للذرات السطحية للمادة تصبح ذات أهمية بالغة عندما يقترب حجم المادة من مقياس النانو، بينما عندما تكون المادة الحجمية أكبر من 1 ميكرومتر، فإن النسبة المئوية للذرات عند سطحها ستكون صغيرة جدًّا بالنسبة للعدد الكلي للذرات في المادة.

ومن الخصائص الأخرى للجسيمات النانوية هو إمكانية تعلقها داخل سائل أو محلول دون أن تطفو أو تنغمر، وذلك لأن التفاعل بين سطح الجسيمات والسائل يكون قويًّا، بحيث يتغلب على فرق الكثافة بينهما، لقد أمكن حديثًا تصنيع جسيمات

نانوية من الفلزات والعوازل وأشباه الموصلات والتركيبات المهجنة، (مثل الجسيمات النانوية المغلقة)، وكذلك تصنيع نماذج لجسيمات نانوية ذات طبيعة شبه صلبة وهي الليبوزومات.

ومن الصور الأخرى للجسيمات النانوية هي النقاط الكمية شبه الموصلة والبلورات النانوية.وتعد جسيمات النحاس النانوية التي يصل حجمها إلى أقل من 50 نانومتر ذات صلابة عالية، وغير قابلة للطرق أو السحب، وذلك عكس ما يحدث لمادة النحاس العادية، حيث يمكن ثنيها وطرقها وسحبها بسهولة[1].

الأنابيب النانوية Nanotubes:

تصنع الأنابيب النانوية، أحيانًا، من مواد غير عضوية مثل أكاسيد الفلزات (أكسيد الفاناديوم، أكسيد المنجنيز)، وهي شبيهة من ناحية تركيبها بأنابيب الكربون النانوية، ولكنها أثقل منها، وليست بالقوة نفسها مثل أنابيب الكربون.

وتعد أنابيب الكربون النانوية (**شكل 9**) التي اكتشفت عام 1991م أكثر أهمية، نظرًا لتركيبها المتماثل، وخصائصها

(1) محمد صالح الصالحي، وعبدالله صالح الضويان، مقدمة في تقنية النانو، مرجع سابق، ص 26-35.

المثيرة، واستخداماتها الواسعة في التطبيقات الصناعية، والعلمية، وفي الأجهزة الإلكترونية الدقيقة، والأجهزة الطبية الحيوية.

يمكن وصف أنابيب الكربون على أنها عبارة عن شرائح من الجرافيت، يتم طلبها حول محور ما، لتأخذ الشكل الأسطواني، حيث ترتبط ذرات نهايتي الشريحة مع بعضها لتغلق الأنبوب. تكون إحدى نهايتي الأنبوب في الغالب مفتوحة، والأخرى مغلقة على شكل نصف كرة، كما قد يكون جدار الأنبوب فردي الذرات، وتسمى في هذه الحالة بالأنابيب النانوية وحيدة الجدار SWNT (single wall nanotube)، أو ثنائي أو أكثر وتسمى الأنابيب متعددة الجدار (MWNT) multi wall nanotube، ويتراوح قطر الأنبوب بين أقل من نانومتر واحد إلى 100 نانومتر (أصغر من عرض شعرة رأس بمقدار 50000 مرة)، أما طوله فقد يصل إلى 100 مايكرومتر، ليشكل سلكًا نانويًّا.

للأنابيب النانوية أشكال عدة، فقد تكون مستقيمة، لولبية، متعرجة، خيزرانية أو مخروطية وغير ذلك.

كما أن لهذه الأنابيب خصائص غير اعتيادية من حيث القوة والصلابة والتوصيلية الكهربائية وغيرها. كما أن للكربون النانوي أشكالًا أخرى مثل الكرات النانوية والألياف النانوية.

ويتم إنتاج أنابيب الكربون النانوية بتقنيات عدة، منها، التفريغ القوسي، الكحت الليزري، الترسيب بواسطة أول أكسيد الكربون ذي الضغط العالي، والترسيب بواسطة البخار الكيميائي[1].

5. ألياف النانوية Nanofibres:

لاقت الألياف النانوية اهتمامًا كبيرًا مؤخرًا لتطبيقاتها الصناعية. وقد اكتشف العديد من أشكالها كالألياف السداسية والحلزونية والألياف الشبيهة بحبة القمح (corn-shaped).

إن الجزء الجانبي لليف النانوي اللويحي أو الأنبوبي له شكل سداسي، مثلًا، وليس أسطوانيًّا، ومن أشهر الألياف النانوية تلك المصنوعة من ذرات البوليمرات. إن نسبة مساحة السطح إلى الحجم كبيرة في حالة الألياف النانوية، كما للأنابيب النانوية، حيث إن عدد ذرات السطح كبير مقارنًا بالعدد الكلي، وهذا يكسب تلك الألياف خواص ميكانيكية مميزة كالصلابة وقوة الشد وغيرها مما يؤهلها بلا منافس لاستخدامها كمرشحات في تنقية السوائل أو الغازات، وفي الطب الحيوي وزراعة الأعضاء كالمفاصل، ونقل الأدوية في الجسم. وفي التطبيقات العسكرية كتقليل مقاومة الهواء إلى آخره من التطبيقات، لا سيما بعد تطوير طرق التحضير.

---

(1) المرجع السابق نفسه، ص 26.

هناك أكثر من طريقة لتحضير الألياف البوليمرية، من أشهرها التدوير الكهربي (electrospinning) ولا زالت تواجه العديد من الصعوبات للتحكم بخصائص الألياف الناتجة كاستمرارها واستقامتها وتراصفها[1].

6. الأسلاك النانوية Nanowires:

هي أسلاك بقطر قد يقل عن نانومتر واحد، وبأطوال مختلفة، أي بنسبة طول إلى عرض تزيد عن 1000 مرة.

لذا فهي تلحق بالمواد ذات البعد الواحد، وكما هو متوقع، فهي تفوق على الأسلاك التقليدية (ثلاثية الأبعاد)، وذلك بسبب أن الإلكترونات تكون محصورة كميًّا باتجاه جانبي واحد، مما يجعلها تحتل مستويات طاقة محددة، تختلف عن تلك المستويات العريضة الموجودة في المادة الحجمية.

وهنا تتضح أهمية الذرات السطحية مقارنة بالداخلية لظهور ما يعرف بالتأثير الحافي. وبسبب خضوعها للحصر الكمي المبني على ميكانيكا لكم، فسيكون لها توصيلية كهربية تأخذ قيمًا محددة، تساوي تقريبًا مضاعفات المقدر 12.9 كيلو أوم – 1. وهي لا توجد في الطبيعة، ولكنها تحضر في المختبر، حيث منها الفلزي: (كالنيكل والفضة والبلاتينيوم).

(1) المرجع السابق نفسه.

وشبه الموصل (كالسليكون ونترات الجاليوم وفوسفات الانديوم). والعازل (كالسليكات وأكسيد التيتانيوم)، ومنها الأسلاك الجزيئية العضوية (DNA) وغير العضوية (مثل Mo6S9-xlx Li2Mo6Se6 التي ينظر لها كتجمعات بوليمرية) ذات القطر 0.9 من النانومتر وبطول يصل لمئات من المايكرومتر. يمكن استخدامها، في المستقبل القريب، لربط مكونات إلكترونية دقيقة داخل دائرة صغيرة أو عمل وصلات ثنائية p-n، وكذلك بناء الدوائر الإلكترونية المنطقية، وقد تستخدم متقبلًا لتصنيع الكمبيوتر الرقمي.

لذا فتطبيقاتها الإلكترونية المتوقعة كثيرة جدًّا، مما سيقود إلى الحساسات الحيوية الجزئية النانوية، وللأسلاك النانوية أشكال عدة، فقد تكون حلزونية (spiral) أو تكون متماثلة خماسية الشكل، وقد تكون الأسلاك النانوية عند تحضيرها في المختبر على شكل أسلاك متعلقة من طرفها العلوي أو تكون مترسبة على سطح آخر.

ومن الطرق المستخدمة لإنتاج الأسلاك المتعلقة عمل كحت كميائي لسلك كبير، أو قذف سلك كبير بواسطة جسيمات ذات طاقة عالية[1].

(1) محمد صالح الصالحي، وعبدالله صالح الضويان، مقدمة في تقنية النانو، مرجع سابق، ص 26-35.

7. المركبات النانوية Nanocomposites:

هي عبارة عن مواد يضاف إليها جسيمات نانوية خلال تصنيع تلك المواد، ونتيجة لذلك فإن المادة النانوية تبدي تحسنًا كبيرًا في خصائصها.

فعلى سبيل المثال، يؤدي إضافة أنابيب الكربون النانوية إلى تغيير خصائص التوصيلية الكهربائية والحرارية للمادة.

وقد يؤدي إضافة أنواع أخرى من الجسيمات النانوية إلى تحسين الخصائص الضوئية وخصائص العزل الكهربي، وكذلك الخصائص الميكانيكية مثل الصلابة والقوة.

يجب أن تكون النسبة المئوية الحجمية للجسيمات النانوية المضافة منخفضة جدًّا (في حدود 0.5% إلى 5%)، وذلك بسبب أن النسبة بين المساحة السطحية إلى الحجم للجسيمات النانوية تكون عالية، تجري البحوث حاليًا للحصول على مركبات نانوية جديدة ذات خصائص تختلف عن المركبات الأصلية. ومن المركبات النانوية المعروفة الآن هي المركبات البوليمرية النانوية[1].

(1) المرجع السابق نفسه.

المبحث الخامس

مفاهيم أساسية في تقنية النانو

أولًا: مفهوم «النانو»:

كأنما هي كلمة سرّ سحريّة، تبدو البادئة «نانو»، مشتقة من النانومتر، ويذكر البعض أن كلمة نانو Nano في أصلها هي كلمة إغريقية مشتقة من الأصل (Nanos) وتعنى القزم dwarf، وتستخدم في العلوم للدلالة على جزء من البليون من شيء معين مثل الكتلة والمسافة[1]. وتستعمل كلمة النانو للتعبير عن الجزء من المليار من وحدة القياس، وهو ما يعادل طول خمس ذرات إذا وضعت الواحدة تلو الأخرى، ويمثل ذلك واحدًا على مئة ألف من قطر شعرة الإنسان[2].

ثانيًا: تكنولوجيا النانو:

توجد حاليًا عشرات التعاريف المختلفة لما هي عليه

(1) www.kfupm.edu.sa/dsr/research/arabicnewsletter/newsletter1.pdf

(2) صفات سلامة: النانوتكنولوجي (مقدمة في فهم علم النانوتكنولوجي)، الدار العربية للعلوم، بيروت، 2009م.

التكنولوجيا النانوية[1] أو يمكن أن تكون. ومن المهم أن ندرك أنه لم يتم الاتفاق على أي تعريف بعينه. و التعاريف سياسية وأخلاقية أيضًا- حيث يمكنها أن تحدد ما الذي يثير اهتمام الناس، أو ما الذي يقلقهم، وما الذي يتجاهلونه أو يتحرونه. ويعد وجود العديد من التعاريف مؤشرًا جيدًا على أن التكنولوجيا النانوية (شأنها شأن العلوم الناشئة الأخرى مثل التكنولوجيا البيولوجية) قد تسبب الخلط بين فئات البحوث النظرية والتطبيقية، والبحوث التي يمولها القطاع العام والقطاع الخاص. ومن شأن شتى الخلفيات التخصصية والمؤسسات العلمية الوطنية: أن تطرح هواجس وأفكارًا مختلفة للتأثير على ما ستكون عليه التكنولوجيا النانوية».

ويصف مطبوع اليونسكو بهذا الصدد خمسة تعاريف على الأقل قيد الاستعمال حاليًا، ويلاحظ أن «مختلف المجموعات تعرف التكنولوجيا النانوية تعريفًا مختلفًا، وذلك رهنًا بما ينتظرون منها تحقيقه «وتتفاوت هذه التعاريف أيضًا بتفاوت مصالح الدول والجهات الاجتماعية الفاعلة المهتمة بالتكنولوجيا النانوية ».

ويرد في استعراض أجراه «المركز الأوروبي المعني بالسميّة الإيكولوجية والسميّة الكيميائية (ECETOC)»، ذكر

(1) The Ethics and Politics of Nanotechnology (UNESCO, 2006) http://unesdoc.unesco.org/images/0014145951/001459/e.pdf

تعاريف وأوصاف أنماط مختلفة من المواد النانوية المصنعة، والأدوات النانوية والجهائز النانوية[1].

ويعرف العلم النانوي بأنه دراسة ظواهر المواد ذات الأحجام الذرية والجزيئية، والجزئيات الكبيرة الممكن رؤيتها بالعين المجردة وتداولها، حيث تختلف خصائصها وطريقة تداولها اختلافًا كبيرًا عن المواد الأكبر حجمًا.

وتعرف التكنولوجيات النانوية بأنها تصميم البنى والجهائز والنظم وتوصيفها وإنتاجها وتطبيقها بالتحكم في الشكل والحجم النانومتريين. وتعرف بأنها تداول أو ضبط أو موضعة أو قياس أو صوغ أو تصنيع مواد حجمها أقل من 100 نانومتر. وتعرّف أيضًا بأنها التعامل مع الأجهزة الفعالة القائمة على استخدام وحدات فرعية ذات خصائص محددة تعتمد على الحجم، وتميّز بها الوحدات الفرعية أو الإفرادية جملة منها[2].

(1) Borm PJA, Robbins D, Haubold S, Kuhlbusch T, Fissan H, Donaldson K, Schins R, Stone V, Kreyling W, Lademann J, Krutmann J, Warheit D, Oberdörster E: The potential risks of nanomaterials: a review carried out for ECETOC. Part Fibre Toxicol. 2006, 3:135–

(2) Schmidt G, Decker M, Ernst H, Fuchs H, Grunwald W, Grunwald A et al. Small dimensions and material properties. Europaische Akademie Graue Reihe. A definiton of nanotechnology; 134; 2003.

ثالثًا: المواد النانوية:

المواد التي تتألف من مكوّن واحد أو أكثر له بُعدٌ واحد على الأقل يبلغ ما يتراوح بين 1 و100 نانومتر، وتحتوي على جسيمات نانوية، وألياف نانوية وأنابيب نانوية، ومواد مركبة، وسطوح بنى نانوية. وتشمل هذه المواد الجسيمات النانوية كمجموعة فرعية من المواد النانوية، التي تعرّف حاليًا بتوافق الآراء على أنها جسيمات أحادية يبلغ قطرها < 100 نانومتر. ويمكن أن تكون كتل الجسيمات النانوية أكبر من 100 نانومتر من حيث قطرها، لكنها ستكون جزءًا من النقاش الدائر، لأنها قد تتفكك على قوى ميكانيكية ضعيفة أو في المذيبات. وتشكل الألياف النانوية صنفًا فرعيًّا من الجسيمات النانوية (بما فيها الأنابيب النانوية)، التي يبلغ قطرها < 100 نانومتر، لكن بعدها (المحوري) الثالث يمكن أن يكون أكبر من ذلك بكثير[1].

هذا، ويتم تصنيف المواد النانوية كما يلي:

1. المواد النانوية أحادية الأبعاد:

تقع تحت هذه الفئة جميع المواد التي يقل أحد مقاييس

(1) Meyer M, Kuusi O: Nanotechnology: Generalizations in an Interdisciplinary Field of Science and Technology (2002), Vol., No.2 (2004), pp. International Journal for Philosophy of Chemistry; 2002, 10: 153168–

أبعادها عن 311 نانومتر. وسميت هذه الفئة بالمواد النانوية أحادية الأبعاد. (أي التي لها بعد نانوي واحد فقط). ومن أمثلة هذه المواد الرقائق أو الأغشية Thin Layers مثل المواد النانوية الموظفة في أعمال طلاء الأسطح Surface Nanocoating كمثل التي تستخدم في طلاء أسطح المنتجات الفلزية بفرض حمايتها من التآكل بالصدأ، أو تلك الأفلام رقيقة السمك Thin Films المستخدمة في تغليف المنتجات الغذائية بهدف وقايتها من التلوث والتلف. كذلك تصنع مواد أشباه الموصلات المختلفة، مثل رقائق السليكون لتوظيفها في صناعة الخلايا الشمسية.

2. المواد النانوية ثنائية الأبعاد:

يشترط في مجموعة هذه الفئة من المواد النانوية أن يقل مقياس بعدين من أبعادها عن 311 نانومتر. وتعد الأنابيب أو الأسطوانات النانوية (Nanotubes) ومنها أنابيب الكربون النانوية والألياف النانوية، وكذلك الأسلاك النانوية (Nanowires) نماذج مهمة لتلك الفئة من المواد.

ولم يكن غريبًا أن ترشح ترشيح أنابيب الكربون النانوية، لأن توظف كمواد داعمة ومقوية لقوالب الفلزات لرفع قيم صلادتها، وتحسين خواصها الميكانيكية، وعلى الأخص رفع مقاومتها للانهيار، كما أنها تجمع خواص فريدة أخرى، مثل القدرة الفائقة

على التوصيل الحراري والكهربي. علاوة على خواصها الكيميائية المتميزة. ومن المتوقع استخدام الأنابيب والأسلاك النانوية في تصنيع مكونات الخلايا الشمسية والشرائح الإلكترونية وأجهزة الاستشعار والأجهزة الإلكترونية الدقيقة.

3. المواد النانوية ثلاثية الأبعاد:

تمثل الكريات Spheres نانوية الأبعاد، مثل الحبيبات النانوية، وكذلك مساحيق الفلزات والمواد السيراميكية فائقة النعومة، أمثلة لهذه الفئة من المواد التكنولوجية المهمة التي نعتت بأنها ثلاثية. نظرًا إلى مقاييس أبعادها على المحاور الثلاثة X، Y، Z تقل عن 311 نانومتر.

وهذه الفئة من المواد النانوية ثلاثية الأبعاد، سواء كانت على هيئة حبيبات أم مساحيق فائقة النعومة، تتصدر قائمة الإنتاج العالمي من المواد النانوية بوجه عام، وذلك نظرًا لتعدد استخداماتها في المجالات والتطبيقيات التكنولوجية الحديثة. فعلى سبيل المثال تتوافر الآن في الأسواق مساحيق حبيبات نانوية لأكاسيد الفلزات ذات أهمية اقتصادية كبيرة، حيث تدخل أكاسيد الفلزات مثل أوكسيد السيميكون (SiO_2) (أكاسيد التيتانيوم) ($(TiO)_2$)، أكسيد الألمنيوم (Al_2O) (وكذلك أكاسيد الحديد) (Fe_3O_4) (في قطاع صناعة الإلكترونيات ومواد البناء

وصناعة الطلاء، وكذلك في صناعة الأدوية والأجهزة الطبية الحديثة لتحل بذلك محل المواد التقليدية، ولتساهم في رفع كفاءة وجودة المنتجات. وتعد فئة الحبيبات النانوية لعناصر الفلزات الحرة Nobel Metals. وعلى الأخص فلز الذهب من هم المواد النانوية الحبيبية، وذلك لأهميتها واستخداماتها في كثير من التطبيقات المتعمقة بدحر وقتل الأورام السرطانية، التي تصيب أعضاء الجسم. وقد استخدمت حبيبات الذهب النانوية في تحديد سلاسل الحامض النووي DNA المرتبطة بالمرض، وكذلك في تحديد سلاسل الحامض النووي للفيروسات التي تغزو جسم الإنسان.

رابعًا: الأدوات النانوية:

الأدوات والتقنيات المستعملة في تخليق المواد النانوية، وتداول الذرات وصنع بنى الجهائز- والأهم من ذلك بكثير- قياس وتوصيف المواد والجهائز ذات الحجم النانوي.

خامسًا: الجهائز النانوية:

هي جهائز نانوية الحجم، (شكل 10) تعد حاليًا ذات أهمية في مجال الإلكترونيات الميكرونية والإلكترونيات البصرية، وكذلك عند وجيهة الالتقاء مع التكنولوجيا البيولوجية، حيث

يكون الهدف محاكاة عمل النظم البيولوجية من قبيل المحركات الخلوية. ويعد هذا الميدان الأخير ميدانًا ينحو نحو المستقبل أكثر من أي ميدان آخر، ويثير أكبر قدر من ردود الفعل لدى الجمهور[1].

سادسًا: الطب النانوي:

لم يجد مصطلح طب النانو Nanomedicine صعوبة في أن يحتل مكانًا مهمًّا وبارزًا في قائمة المصطلحات الطبية والدوائية، وأن يتردد في كل المؤتمرات الطبية والدوريات العالمية المهتمة بالعقاقير الطبية والرعاية الصحية، وإذا ما أردنا أن تضع تعريفًا دقيقًا ومحددًا لهذا المصطلح فسوف نعرفه: بأنه مجموعة من التقنيات الطبية الحديثة تحت مظلة تكنولوجيا النانو، لتشمل كل ما يتعلق بالمجالات الطبية المختلفة الرامية إلى تحسين صحة الإنسان والحفاظ على سلامته[2]. وتتنوع أساليب طب النانو من الاستخدام الطبي للمواد النانوية إلى أجهزة الاستشعار الحيوية

(1) The Royal Society and the Royal Academy of Engineering: Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties; 2004.

(2) Freitas RA Jr. (2005). «What is Nanomedicine?». Nanomedicine: Nanotech. Biol. Med. 1 (1): 2–9. doi:10.1016/j.nano.2004.11.003. PMID 17292052.

للإلكترونيات النانوية، وكذلك التطبيقات المستقبلية لتقنية النانو الجزيئية. وتتضمن مشكلات الطب النانوي الحالية عملية، فهم القضايا المرتبطة بعلم السموم والتأثيرات البيئية للمواد النانوية.

ويهدف الطب النانوي إلى التوصل إلى مجموعةٍ قيّمةٍ من الأدوات البحثية بالإضافة إلى الأجهزة المفيدة في العيادات العلاجية في المستقبل القريب[1]، وتتوقع مبادرة التقنية النانوية القومية أن يتم التوصل إلى تطبيقاتٍ تجاريةٍ جديدةٍ في مجال توصيل الدواء، والتي قد تشتمل على أنظمةٍ متقدمةٍ لتوصيل الدواء، بالإضافة إلى علاجاتٍ جديدةٍ، وكذلك التصوير الداخلي[2]، كما أن واجهات التفاعل العصبية الإلكترونية والمحسات الأخرى المرتبطة بالإلكترونيات النانوية تمثل هدفًا نشيطًا آخر للبحث في ذلك المجال. ويؤمن المجال التنبؤي لتقنية النانو الجزيئية أن آلات إصلاح الخلية قد يكون لها القدرة على إحداث ثورةٍ في مجال الطب والأدوية كذلك.

---

(1) Wagner V, Dullaart A, Bock AK, Zweck A. (2006). «The emerging nanomedicine landscape». Nat Biotechnol. 24 (10): 1211–1217. doi:10.1038/nbt10061211–. PMID 17033654.

(2) Nanotechnology in Medicine and the Biosciences, by Coombs RRH, Robinson DW. 1996, ISBN 29–080–88449–.

ومن ثم يعد الطب النانوي صناعةً واسعة المجال، حيث وصلت مبيعات الطب النانوي نحو 6.8 مليار دولار أمريكي عام 2004م. ومع إنشاء 200 شركة، وتوفر 38 منتجًا عالميًّا، يتم استثمار نحو 3.8 مليار دولار أمريكي سنويًّا كحدٍّ أدنى في مجال تقنية النانو[1]، وباستمرار نمو صناعة الطب النانوي، فمن المتوقع أن يكون لها عظيم الأثر على الاقتصاد في المستقبل.

(1) Nanotechnology: A Gentle Introduction to the Next Big Idea, by MA Ratner, D Ratner. 2002, ISBN 0131014005.

المبحث السادس

رواد تقنية النانو في العصر الحديث

تلك قائمة بأبرز رواد تقنية النانو في العصر الحديث:

عالم الرياضيات ريتشارد فاينمان:

أول من قام بالتفكير في تقنية النانو في عصرنا الحالي، يقول أ.د. المهندس محمد شريف الإسكندراني: «لعل من الإنصاف أن نرجع الفضل في التفكير بأهمية تكنولوجيا النانو إلى عالم الفيزياء الأمريكي الشهير (Richard Feynman) الذي عمل في أبحاث تطوير القنبلة الذرية في الأربعينيات من القرن الماضي، والحائز على جائزة نوبل في عام 1959م، وقد قدم للعالم من خلال إحدى محاضراته، تنبؤه لحدوث ثورة في التكنولوجيا، وطفرة في تخليق مواد جديدة، يتحكم الإنسان في ترتيب ذراتها، لتصنيع أجهزة متناهية في الصغر، لا تتعدى أحجامها حجم خلية بكتيرية أو فيروس، لكنها قادرة على تنفيذ الأعمال الدقيقة جدًّا». ويضيف أ.د. الإسكندراني، أنه لم يكن من السهل لهذه التكنولوجيا الحديثة أن يبزغ فجرها في يوم

وليلة، بل استغرق الأمر أكثر من 22 عامًا قضاها علماء العالم في معاملهم في جد ومشقة، ليبرهنوا صحة تلك الفرضيات التي أضحت حقيقة وواقعًا ملموسًا.

الباحث الياباني نوريو تانيجوشي:

هو أول من قام بإدخال مصطلح التكنولوجيا النانوية، وذلك في عام 1974م، عندما حاول بهذا المصطلح التعبير عن وسائل وطرق تصنيع وعمليات تشغيل عناصر ميكانيكية وكهربائية بدقة عالية.

المخترعان العالمان جيرد بينج و هينريك روهر:

قاما سنة 1981م، باختراع المجهر النفقي الماسح (STM)، حيث ساعد هذا الاختراع على ازدياد البحوث المتعلقة بتصنيع ودراسة التركيبات النانوية للعديد من المواد. وقد حصل العالمان على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1986م على اختراعهما.

عالم الرياضيات إريك دريكسلر:

يعد هو المؤسس الفعلي لهذا العلم، حينما ألّف كتابًا اسمه محركات التكوين Engines of Creation، الذي اعتبر البداية الحقيقية لعلم النانو.

الدكتور منير نايفة:

دكتوراه في حقل الفيزياء الذرية وعلوم الليزر. له ما يزيد عن 130 مقالًا وبحثًا علميًّا، وشارك مع آخرين في إعداد وتأليف العديد من الكتب عن علوم الليزر والكهربية والمغناطيسية. كما وردت الإشارة إلى اسم نايفة في العديد من موسوعات العلماء والمشاهير، وكان من أبرزها موسوعة «بريتنيكا» الشهيرة، وموسوعة «ماجروهيل»، وقائمة رجال ونساء العلم الأمريكيين، تمكن البروفيسور نايفة من الإجابة على استفهام مهم طرحه عالم الفيزياء الشهير «ريتشارد فاينمان» في عام 1959، عندما تساءل: ماذا سيحدث لو استطاع الإنسان التحكم في حركة ومسار الذرة، ونجح في إعادة ترتيب مواضعها داخل المركبات الكيميائية، عندما نجح في تحريك الذرات منفردة ذرة ذرة. يعمل على تأسيس فرع جديد في علم الكيمياء يدعى «كيمياء الذرة المنفردة»، الذي يمهد بدوره لطفرة طبية سوف تسهم في علاج العديد من الأمراض، التي وقف العلم عاجزًا أمامها سنوات طويلة؛ حيث يتيح هذا الإنجاز بناء أجهزة ومعدات مجهرية، لا يزيد حجمها عن ذرات عدة بما يمكنها من الولوج في جسم الإنسان، والسير داخل الشرايين والوصول إلى أعضائه الداخلية.

الدكتور مصطفى السيد:

حصل على جائزة الملك فيصل العالمية للعلوم عام 1990م والعديد من الجوائز الأكاديمية العلمية من مؤسسات العلوم الأمريكية المختلفة، ومنح زمالة أكاديمية علوم وفنون السينما الأمريكية، وعضوية الجمعية الأمريكية لعلوم الطبيعة، والجمعية الأمريكية لتقدم العلوم، وأكاديمية العالم الثالث للعلوم. تركزت أبحاث الدكتور مصطفى السيد حول استخدام تقنية النانو في مجال الطب، وبخاصة في أبحاث السرطان.

الدكتور سامي بن سعيد بن علي حبيب:

مدير مركز التميز البحثي في تقنية النانو بجامعة الملك عبدالعزيز: دكتوراه في هندسة الطيران، وهو أحد رواد تقنية النانو الأوائل بالمملكة العربية السعودية، استطاع أن ينقل أفكاره عن هندسة الطيران إلى علم النانو، وكانت بداية اهتمامه بتقنيات النانو عام 1998م من خلال أبحاثه عن المواد المركبة لاستخدامات منشآت الطائرات والمركبات الطائرة، وقد قام بالكثير من الأبحاث في هذا المجال، منها أبحاث في الأنابيب الكربونية النانوية، وله عدد من الدراسات والمقالات عن طبيعة تقنية النانو وتطورها، والتحديات التي ستواجه تقنيات النانو، وأيضًا له ورقة علمية عن تقنيات النانو للعالم النامي، وأخرى عن

تطبيقات تقنيات النانو في مجال الطب. وهو مؤسس الجمعية السعودية لتقنيات النانو، وحاليًا هو المدير المؤسس لمركز التقنيات متناهية الصغر (النانو) بجامعة الملك عبدالعزيز.

الدكتور زين بن حسن يماني:

مدير مركز التميز البحثي في تقنية النانو بجامعة الملك فهد للبترول والمعادن: دكتوراه في مجال فيزياء الحالة الصلبة، مدير فرع النادي العلمي السعودي بالمنطقة الشرقية، تخصص في تقنية النانو تحت إشراف البروفسور منير نايفة، له براءتا اختراع مسجلتان في مكتب براءات الاختراع الأمريكي، وله العديد من الأبحاث العلميّة المنشورة في المجلات العالميّة العلميّة المحكّمة.

المبحث السابع

بعض مصطلحات تقنية النانو[1]

تلك قائمة بأهم المصطلحات[2] الخاصة والمرتبطة بتقنية النانو:

1. **ميكروسكوب القوة الذرية AFM:**

هو عبارة عن مجهر يعطي معلومات عن تضاريس سطح المادة بدقة تصل إلى المستوى الذري. حيث تعمل مجساته على مسح تضاريس المواد بدقة متناهية عن طريق حساب أي مقاومة يتعرض لها المجس.

2. **جهاز الاستشعار البيولوجي Nano–biosensors:**

هو جهاز استشعار متقدم يستخدم للكشف عن البكتيريا والغازات والهرمونات وبدقة تصل لحد اكتشاف بضعة جزيئات، ويدخل في تركيبة مواد عضوية.

---

(1) المصدر: المركز السعودي لتقنية النانو.

(2) وهي قائمة أولية ستكون خاضعة بإذن الله للتجديد والإضافة، وقد تم ترتيبها حسب ترتيب الحروف الإنجليزية.

3. كرات بوكي Buckyball:

هي جزيئات كروية من الكربون، وتتكون عادة من 60 ذرة كربون على شكل كرة القدم، حيث تترتب ذرات الكربون بشكل سداسي.

4. طريقة البناء Bottom up:

هي طريقة بناء المواد بوضع الذرة بجانب الذرة الأخرى، أو الجزيء بجانب الجزيء الآخر، حتى تتكون مركبات وهياكل عضوية وغير عضوية مكونة من ذرات وجزيئات عدة.

5. أنابيب النانو الكربونية Carbon nanotubes:

هي أنابيب كربونية أسطوانية الشكل ورقيقة للغاية. يكون قطرها بمقدار النانو. وهي عبارة عن رقائق من الجرافيت ملفوفة على شكل أنبوب أسطواني، وهذه الأنابيب تتميز بخصائص استثنائية إلكترونية وحرارية ومكانيكية وتركيبية، مما يجعلها أخف من الألومونيوم، وأقوى بخمسة أضعاف من الحديد الصلب، وهناك نوعان من أنابيب النانو الكربونية: أنابيب النانو الكربونية وحيدة الجدار، أي ذات طبقة وحيدة، والنوع الآخر أنابيب النانو الكربونية متعددة الجدر.

6. الحفاز Catalyst:

هو مادة تعمل على زيادة معدل التفاعل الكيميائي من خلال الحد والتقليل من الطاقة الفعالة، ولا تتغير هذه المادة بالتفاعل، و الحفاز يعمل على توفير سطح ملائم للتفاعل من خلال إتاحة الفرصة لمزيد من الجسيمات للاصطدام بعضها مع بعض.

7. الرقاقة الإلكترونية (المعالج الدقيق) Chips:

الرقائق الإلكترونية (المعروفة أيضًا باسم المشغلات أو المعالجات الدقيقة) عبارة عن قطعة إلكترونية صغيرة تحتوي على رقائق صغيرة من أشباه الموصلات السليكون، التي صنعت لأداء الوظائف الإلكترونية في الدوائر المتكاملة.

8. المركب Composites:

هو مادة مركبة من مادتين أو أكثر تختلف خواصها عن المواد المكونة لها. وتكون أحد مكونات هذا المركب مقواة بالمادة الأخرى، حيث تعمل هذه الخاصية على تحسين خصائص مواد المركب بشكل عام، وعادة تكون المادة الأساسية في طور السائل، أما مواد التقوية عادة ما تكون جسيمات أو ألياف، والأسمنت المقوى بقضبان الفولاذ من الأمثلة الأولية للمركبات.

9. المجهر الإلكتروني Electron Microscopy:

هو عبارة عن مجهر يستخدم حزمة من الإلكترونات بدلًا من الضوء المستخدم في المجاهر التقليدية، ويتميز بقوة تكبير عالية، تفوق أفضل المجاهر البصرية بأكثر من مئة مرة.

10. الجزيء Molecule:

هو عبارة عن مجموعة ذرات مرتبطة معًا بروابط كيميائية.

11. تقنية النانو البيولوجية Nanobiotechnology:

هي استخدام تقنية النانو في بناء أجهزة تمكن من دراسة النظم البيولوجية.

12. نانوبوت Nanobot:

هو عبارة عن روبورت ذي أبعاد بحجم النانو، وتكون إما ميكانيكية أو كهروميكانيكية.

13. مركبات النانو Nanocomposites:

هي مركبات تتكون عادة من اثنين أو أكثر من المواد، وتكون أحد مركباتها ذات أبعاد أقل من 100 نانومتر.

14. بلورات النانو Nanocrystals:

هي مواد صلبة صغيرة بلورية، وتكون بها المسافة متساوية بين كل ذرة وأخرى أو جزئ وآخر. بلورات النانو لها تطبيقات كثيرة ومهمة منها الإلكترونيات البصرية، حيث لها القدرة على تغيير الطول الموجي للضوء. ولها تطبيقات أخرى في الخلايا الشمسية وغيرها.

15. نانومتر Nanometer:

هو عبارة عن واحد من المليار من المتر.

16. جسيمات النانو Nanoparticles:

هي الجسيمات التي تقل أبعادها أو أحد أبعادها عن 100 نانومتر.

17. مقياس النانو Nanoscale:

هو مقياس يستخدم لحساب وقياس أبعاد تتراوح من 0.1 الى 100 نانومتر.

18. علم النانو Nanoscience:

هو العلم الذي يتعامل مع المواد في مستواها الذري

والجزيئي بمقياس لا يزيد عن 100 نانومتر، و هو أيضًا علم يهتم باكتشاف ودراسة الخصائص المميزة لمواد النانو.

19. تقنية النانو Nanotechnology:

التقنية التي تعطينا القدرة على التحكم المباشر في المواد والأجهزة التي أبعادها تقل عن 100 نانومتر، وذلك بتصنيعها وبمراقبتها، وقياس خصائصها ودراستها.

20. صدفات النانو Nanoshells:

هي جسيمات في أبعاد النانو لها عبارة عن قشرة أو طبقة معدنية رقيقة، تحيط بكرة مصنوعة من مادة شبه موصلة، لها القدرة على امتصاص أو تشتيت الضوء في جميع أطواله الموجية.

21. تراكيب النانو Nanostructure:

هي تراكيب وهياكل بنيت من مواد النانو.

22. أنابيب النانو Nanotubes:

هي أنابيب في مقياس النانو، من أمثلتها أنابيب النانو الكربونية، وهي عبارة عن أنابيب أسطوانية من ذرات الكربون ذات بعد واحد، مرتبة بشكل سداسي أو خماسي، ولها خصائص فيزيائية مميزة جدًّا.

23. أسلاك النانو Nanowires:

هي أسلاك متناهية الصغر في أبعاد النانو، لها تركيب ذو بعد واحد، وتتميز بخصائص كهربائية وضوئية مذهلة، وتعد أسلاك النانو البنية الأساسية التي سوف تستخدم في بناء أجهزة النانو.

24. النقاط الكمية Quantum dots:

تصنع النقاط الكمية من مواد موصلة أو من مواد شبه موصلة، وتكاد تكون صفرية الأبعاد، ولها شكل بلوري. وللنقاط الكمية خصائص كهربائية مميزة جدًّا تمكنها من تخزين الإلكترونات وتحويل لون الضوء ، حيث تعمل على امتصاص اللون الأبيض، وإعادة انبعاثه خلال نانوثانية بلون مميز، لها تطبيقات كثيرة في مجال الكمبيوتر والطب والهندسة.

25. التصنيع الدقيق Nanofabrication:

يشير إلى تصميم أجهزة بأبعاد النانو وتصنيعها.

26. طباعة النانو NanoLithography:

هو أي عمل من حفر أو كتابة أو طباعة في نطاق مقياس النانو، ويعد الميكروسكوب النفقي الماسح (STM) وميكروسكوب

القوة الذرية (AFM) من الأدوات التي يمكن بها الحفر والكتابة والطباعة على سطح ذو أبعاد ذرية.

27. البئر الكمي Quantum well:

هو مفهوم يستخدم لتفسير سلوك النطاقات النانوية المقيدة وخاصة توزيع الطاقات الميكانيكية المكماة.

28. الأسلاك الكمية Quantum wires:

هو مصطلح آخر لأسلاك النانو.

29. البايت الكمي Quantum bit:

هي أصغر وحدة معلوماتية تستخدم في الحوسبة الكمية.

30. المجهر الإلكتروني الماسح SEM:

هو تقنية تصورية تعمل عن طريق تسليط حزمة من الإلكترونات للمنطقة المراد دراستها، حيث يتم التفاعل بين الإلكترونات وذرات السطح مولدة ثلاثة أنواع من الأشعة، الإلكترونات المتشتتة من الخلف والإلكترونات الثانوية وأشعة أكس.

31. مجهر المجس الماسح SPM:

تحتوي هذه الأنواع من المجاهر على مجس يعمل على

تجميع معلومات السطح، وذلك عن طريق التفاعل بين المجس وتضاريس السطح المراد دراسته، ويندرج تحت هذا النوع مجهر التأثير النفقي الماسح STM ومجهر القوة الذرية AFM.

32. مجهر التأثير النفقي الماسح STM:

يعمل عن طريق الحصول على صور للذرات الموجودة على السطح بواسطة مجس ماسح.

33. التجمع الذاتي Self-Assembly:

هي عبارة عن ظاهرة طبيعية لتجمع الجزيئات أو الذرات في نظم وتراكيب معقدة، كما هو الحال مع أنابيب النانو الكربونية.

34. طريقة التصغير Top down:

وفيها يتم استخدام طرق مختلفة مثل التكسير أو النحت أو الإذابة للمواد الكبيرة، وذلك لتقليل حجمها، والوصول إلى مواد ذات أحجام في مستوى أبعاد النانو.

35. التوليف Synthesis:

هو مصطلح يستخدم لوصف طريقة تحضير وتشكيل مركبات أكثر تعقيدًا باستخدام مكونات بسيطة.

36. طرق التوليف Synthesis methods:

يوصف البروتوكول المستخدم لتركيب وإنشاء مواد جديدة.

37. المجهر الإلكتروني النفاذي TEM:

أحد أنواع المجاهر الإلكترونية، وفيه تستخدم حزمة من الإلكترونات ذات الطاقة العالية لدراسة التركيب الدقيق للعينات، وذلك عن طريق الإلكترونات النافذة من خلال العينة المدروسة.

38. تحليل أشعة إكس X-ray analysis:

تحليل أشعة إكس عبارة عن تطبيق من تطبيقات أشعة إكس للتميز بين العناصر الثقيلة من الخفيفة، ويستخدم كذلك في تحديد العناصر الموجودة بالمادة، ومعرفتها.

39. حيود أشعة إكس X-ray diffraction:

عبارة عن تشتت أشعة إكس من العينات البلورية، الذي يعطي أنماط تداخل معينة، يمكن من خلالها دراسة التراكيب الدقيقة لهذه البلورات.

الفصل الثاني

تطبيقات تقنية النانو في المجال الطبي

تمهيد

يعد «طب النانو» أحد أهم المجالات التطبيقية لتقنية النانو، بل وأعظمها على الإطلاق، يرجع ذلك لارتباطها المباشر بحياة الإنسان وصحته، فقد ساعد التطور الحديث في تقنيات النانو على تغيير القواعد الطبية المتبعة في منع الأمراض وتشخيصها وعلاجها (**شكل 11**)، وأصبحنا نعيش عصر التقنية الطبية النانوية، حيث تقدم تقنية النانو على سبيل المثال، طرقًا جديدة لحاملات الدواء داخل جسم الإنسان، تكون قادرة على استهداف خلايا مختلفة في الجسم، وكذلك مواجهة أكثر الأمراض فتكًا بالإنسان مثل أمراض السرطان، والذي بدأت الكثير من أبحاث النانو وتطبيقاته التجريبية في الكثير من مراكز الأبحاث حول العالم[1]. أما أجهزة الاستشعار النانوية فباستطاعتها أن تزرع

(1) David H Geho, Clinton D Jones, Emanuel F Petricoin and Lance A Liotta. Nanoparticles: Potential biomarker harvesters. Current opinion in Chemical Biology. 2006.

في الدماغ لتمكن المصاب بالشلل الرباعي من الحركة والسير[1].

وهناك الكثير من التطبيقات في مجال الرعاية الصحية، وتصنيع الأجهزة الطبية النانوية، وتشير الأبحاث أنه سوف تظهر على مدى أبعد تقنيات إصلاح الخلايا الحية، وكذلك روابط إلكترونية عصبية نانوية، وإذا حدث ذلك فسوف تحدث ثورة حقيقية في عالم العلاج والمداواة.

ومن الواضح أن هذه التقنية قد غيَّرت من النظرة التقليدية في طرق المعالجة للأمراض، وفتحت آمالًا عريضة لعلاج الكثير من الأمراض، وهو ما جعل الباحثين يرون أن طب النانو هو طب المستقبل؛ ولهذا السبب تتسابق الدول وتتجه بصورة واضحة للأخذ بزمام هذه التقنية؛ نظرًا لتطبيقاتها الطبية الواعدة ذات المردود الاقتصادي الكبير، وقد توجهت دول عديدة إلى دعم النانو، فقد دعمت الولايات المتحدة النانو بخطط خمسية بدأت من عام 2005م، كما أنها تصرف سنويًّا ما يقارب 4 بليون دولار على أبحاث النانو في جميع المجالات بشكل عام والمجال الطبي بشكل خاص. وتدخل شركات الدواء العالمية حلبة الصراع، حيث

(1) د. خالد قاسم: جدوي استخدام تكنولوجيا النانو في تطوير القاعدة التكنولوجية الصناعية العربية، المنظمة العربية للتنمية الصناعية والتعدين، والبنك الإسلامي للتنمية، الرباط، المغرب، 2006م.

تتسابق جميعها لاختراع أدوية وتسجيلها مستفيدة من تقنية النانو، حيث يوجد ما يقارب 130 مشروعًا دوائيًّا مهتمًّا بتقنية النانو وفقًا لإحصائية 2006م[1].

ومن الجدير بالذكر، أنه خلال السنوات القليلة الماضية، ونتيجة للتقدم السريع والمتقن في مجال بحوث تكنولوجيا النانو تم تحقيق طفرات مثيرة، تمثلت في ابتكار أنواع متقدمة من أجهزة التوصيف تم توظيفها من أجل فهم وتحليل بنية وتركيب الحامض النووي DNA للإنسان والفيروسات على حد سواء. وأدى هذا بطبيعة الحال إلى معرفة سلوك الأمراض والفيروسات وميكانيكية حركتها وتنقلاتها داخل الجسم ومعرفة الطرق والحيل التي تسلكها لمهاجمة خلاياه، وذلك على مستوى النانومتر الواحد (جزء من مليار جزء من المتر)[2].

(1) http://www.hazemsakeek.com.

(2) مجلة العربي، مجلة شهرية ثقافية عربية كويتية مصورة. تصدرها وزارة الإعلام الكويتية، طب النانو: سيمفونية القرن لقهر المرض والسرطان: محمد الإسكندراني، العدد 615، أكتوبر 2010م.

المبحث الأول

تقنية النانو وإيصال الدواء إلى الأنسجة

حينما يفكر العلماء في مستقبل الدواء فإنهم يتخيلون شكلًا مغايرًا تمامًا عما ألفوه من أشكال الدواء التقليدية التي نعرفها ونستخدمها في حياتنا اليومية. ولعل ذلك يرجع إلى الوتيرة المتسارعة للتقدم العلمي في العديد من المجالات الجديدة، التي ستؤثر بالضرورة على الدواء المستقبلي. وتعد تكنولوجيا النانو أحد أهم المجالات العلمية، التي يعول عليها العلماء إحداث طفرات دوائية تغير من مفهوم التداوي والعلاج لكثير من الأمراض. وقد بدأت بوادر طب النانو في الظهور كأمل جديد ومستمر نحو صحة أفضل وحياة أطول لبني البشر.

ويعد توصيل الدواء (Drug Delivery) إلى الأنسجة أحد أولويات البحث في مجال طب النانو، حيث يعتمد على تصنيع مواد نانوية دقيقة، تعمل على تحسين التوافر الحيوي للدواء (Bioavailability) ويعني ذلك تواجد جزيئات الدواء في المكان المستهدف من الجسم، حيث تعمل بأقصى فاعلية، ومن ثم

ينخفض معدل استهلاك الدواء، والتقليل من أعراضه الجانبية، وكذلك التكلفة الإجمالية للعلاج. ويحاول علماء الصيدلانيات (Pharmaceutics) تصنيع منظومات تتكون من البوليميرات النانوية لتوصيل الدواء إلى المناطق المراد بلوغها، وعادة ما تكون الخلايا الحية نفسها، وهذا الهدف مهم جدًّا؛ لأن الكثير من الأمراض تحدث نتيجة لخلل في داخل الخلية نفسها. وكذلك يمكن لبعض الأدوية أن تعطى للمريض وهي خاملة، وتنشط في المناطق المصابة فقط، لتفادي التأثير السلبي للدواء في بعض الأنسجة، ولهذا سيكون من أهم واجبات طب النانو تصنيع أدوية جديدة ذات نفع أكثر وفائدة أكبر وتأثيرات جانبية أقل. ويتوقع علماء الصحة أن تصبح تقنية النانو جزءًا أصيلًا من الممارسة الطبية اليومية، ولا سيما في مجال توصيل الدواء إلى الأجزاء المصابة[1].

وتأخذ طرق إيصال الدواء أهمية طبية في كونها تؤثر بشكل كبير في علاج المرض بطريقة فعالة وبتأثيرات جانبية بسيطة قدر الإمكان على جسم المريض، ولهذه الطرق المختلفة سلبياتها ومشكلاتها التي تعيق معالجة المرض، وتقلل من فرص

(1) Nalwa. H. S., Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology, Stevenson Ranch, American scientific Publishers, 2003.

نجاح العلاج، وتؤدي إلى تأثيرات جانبية، فيصعب التحكم في إيصال العلاج إلى مكان محدد من الجسم لعدة أسباب منفردة أو مجتمعة[1]، أهمها: عدم قدرة الدواء على اختراق حاجز حيوي (مثل الدماغ)، وصعوبة الوصول إلى مكان العضو أو النسيج داخل الجسم، وارتفاع سمية الدواء، وزيادة آثاره السلبية، مثل العلاج الكيميائي في حالة أورام السرطان، فقد ثبت أن له تأثيرًا سلبيًّا على الأنسجة السليمة المجاورة. ولذا يعول كثير من العلماء والعاملين في أبحاث طرق إيصال العلاج على أن تساهم تقنيات النانو في تحسين هذه الطرق والتخلص من بعض التأثيرات الجانبية المرافقة للطرق الحالية المستخدمة في العلاج[2].

ومن المعلوم أن علم الأدوية (Pharmacology) من العلوم التي تحتاج لدقة عالية؛ لارتباطها ارتباطًا مباشرًا بصحة الإنسان، فوصول كمية كبيرة من الدواء إلى أعضاء الجسم غير المصابةتقلل من فعالية الدواء، وتؤدي إلى حدوث آثار جانبية

(1) Nathaniel G. Portneyl and Mihrimah Ozkan. Nano–oncology: drug delivery, imaging and sensing. Analytical and Bioanalytical Chemistry.2006; 384: 620–630.

(2) Rajni Sinha, Gloria J. Kim, Shuming Nie and Dong M. Shin. Nanotechnology in cancer therapeutics: bioconjugated nanoparticles for drug delivery. Molecular Cancer Therapeutics. 2006.

غير مرغوب فيها، فعلى سبيل المثال نجد أن الوسائل التقليدية لمعالجة مرض السرطان كالعلاج الكيميائي والإشعاعي تؤدي إلى آثار جانبية كبيرة مع انخفاض فعاليتها في معالجة هذا المرض[1]، وعليه فإن من المهم أن يتم إيصال الأدوية المضادة للسرطان إلى الأجزاء المصابة بدقة متناهية جدًّا للحصول على أقصى فائدة ممكنه من الدواء.

إن استخدام الجسيمات متناهية الصغر في الأنظمة الحيوية يشكل فرصة كبيرة للتطبيقات الطبية، (شكل 12) حيث يساهم صغر حجمها في تخطيها للحواجز الحيوية، ويمكن الاستفادة من هذه الخصائص على مستوى مقياس النانو في تحسين علاج الأمراض، وذلك بأن يتم ربط الدواء بهذه الجسيمات، أو استخدام هذه الجسيمات كحامل (Carrier) يحمل الدواء داخله لينطلق عند وصوله إلى المكان المحدد، ومن ثم يتخلص الجسم منه عند تحقق العلاج واستجابة العضو أو النسيج المصاب للعلاج[2].

(1) Mauro Ferrari: Cancer Nanotechnology: Opportunities and Challenges. Nature Reviews/Cancer. 2005.

(2) Samul A. Wickline and Gregory M. Lanza.Nanotechnology for Molecular Imaging and Targeted Therapy. Circulation. 2003.

وقد أظهرت الأبحاث المنشورة حديثًا إمكانية حمل وتوجيه العلاج إلى مناطق محددة من جسم الإنسان، والتحكم في جرعات العلاج على فترات زمنية مختلفة، والقدرة على تتبع استجابة العضو أو النسيج المصاب للعلاج في أثناء مرحلة العلاج بمضاعفات جانبية أقل، مما يشكل فرصة كبيرة لتحسين طرق إيصال العلاج باستخدام تقنية النانو. ويعد الوصول إلى الجسيمات متناهية الصغر وتغير خصائصها عند هذا الحجم ميزة كبيرة يعطيها القدرة على الحركة والانتقال خلال الشعيرات والأغشية الحيوية، ومن ثم القدرة على إيصال الدواء داخل الأنسجة الحيوية[1].

تتعدد الأبحاث المتعلقة بطرق إيصال الدواء المبنية على تقنيات النانو، حيث يعتمد بعضها على أنابيب ذات مقياس صغير جدًّا لها القدرة على الحركة، ويمكن توجيهها إلى المنطقة المراد علاجها، والبعض الآخر يعتمد على أنظمة ذكية ذات حجم صغير جدًّا يمكن زراعتها داخل الجسم، ولها القدرة على التحكم في جرعات الدواء والوقت المناسب لإيصاله. ويمكن التطرق إلى بعض طرق الإيصال، مع ملاحظة أن بعضها ما زال في مرحلة

(1) Salata OV. Applications of nanoparticles in biology and medicine. Journal of Nanobiotechnology.2004.

البحث والتطوير، والبعض الآخر انتقل إلى مرحلة التجارب على الحيوانات للتأكد من فعاليتها في أثناء تجربتها على أنظمة حيوية مختلفة[1].

إن أنظمة توصيل الأدوية أيضًا لها قيود شديدة على المواد وعمليات الإنتاج التي يمكن استخدامها، ومادة توصيل الدواء يجب أن تكون متوافقة وتتحد بسهولة مع الدواء، ويجب أن تكون قابلة للتحلل البيولوجي، (أي تتفكك إلى أجزاء بعد استخدامها، حيث إما تستقلب أو تزال بواسطة طرق الطرح العادية)، وعملية الإنتاج يجب أن تحترم الشروط الصارمة للتصنيع[2].

ويمكن لتقنية النانو أن تقدم حلول توصيل الدواء الجديدة في المجالات التالية:

1. تغليف الدواء (Drug Coating):

إحدى الأنواع الأساسية من أنظمة توصيل الأدوية هي المواد التي تغلف الأدوية لحمايتها خلال انتقالها في الجسم، وتشمل مواد تغليف الأدوية الجسيمات الشحمية والبوليمرات

(1) David A LaVan, Terry McGuire and Robert Langer. Small–scale systems for in vivo drug delivery. Nature biotechnology. 2003.

(2) Dewdney AK. Nanotechnology: wherein molecular computers control tiny circulatory submarines. Sci Am 1988.

(مثل البولي لاكتيد Polylactide – PLA و اللاكتيد المشترك مع الجليكوليد PLGA التي تستخدم الجزئيات الدقيقة)، وتشكل المواد الكبسولات حول الأدوية، وتسمح بتحرير الدواء في الوقت المناسب، حيث إن الدواء يتسرب عبر مادة التغليف، والأدوية يمكن أيضًا أن تتحرر عند تحلل مادة المحفظة أو تتآكل في الجسم عندما تنتج مواد التغليف من الجزيئات النانومترية في مجال الحجم 100–1 نانومتر بدلًا من الجزيئات الميكرومترية الأكبر، فإنه يجب أن يكون لها مساحة سطح أكبر من أجل الحجم نفسه، وحجم مسام أصغر، واستقرار محسّن/ وخواص بنيوية مختلفة، وهذا يمكن أن يحسن كل من مميزات الانتشار والتحلل لمادة التغليف، ويمكن أن تناسب بشكل أفضل تحديات توصيل الأدوية.

وتطور شركة Advectus life Sciences نظام توصيل دواء يستند إلى الجزيئات النانومترية من أجل علاج أورام الدماغ، ويلتصق الدواء المضاد للورم Doxorubicin بجزيئة البوليمير النانومتري PolyCyanoAcrylate مع Polysorbate 80، الدواء يحقن عن طريق الوريد وينقل عبر الدم، حيث يجذب Polysorbate 80 البروتينات الدهنية في المصورة، ويستخدم من قبل الدم الجاري لحمل الشحوم، وهذا يقصد منه إنشاء

تأثير تمويهي مشابه للكولسترول LDL الذي يسمح للدواء بالانتقال عبر حاجز الدم - الدماغ[1].

2. الحاملات الدوائية (Drug Carrier):

وهي الصنف الآخر من أنظمة التوصيل الدوائي (**شكل 13**)، حيث تقدم تقنية النانو حلولًا مهمة، حيث يمكن التحكم بها للارتباط مع الدواء، الجزيئة المستهدفة، ومادة التصوير، وبعدها تجذب خلايا معينة وتحرر حمولتها عند اللزوم، وبسبب الحجم النانومتري، فإن لها المقدرة على الدخول للخلايا، حيث إن الخلايا نوعيًّا تمتلك مواد داخلية أدنى من 100 نانومتر، وبعض المواد النانومترية المتقدمة التي تستخدم لهذا الغرض تشمل fullerenes و dendrimers.

إن المادة النانومترية المستخدمة كمساعد لتوصيل الدواء مثل dendrimer هي جزيئة بوليمير مكتشفة من قبل Don Tomalia من شركة Nanotechnologies، والباحثون في جامعة ميشيجان يستخدمون dendrimers للحصول على مادة

(1) Drexler KE. Engines of creation: The coming era of nanotechnology.New York: Anchor Press/Doubleday; 1986:99–129. Available at:www. foresight.org/EOC/Accessed Sept. 26, 2008.

جينية أو علاجات مدمرة للأورام في خلية بدون قدح استجابة مناعية، وهذا ناتج عن الحجم الصغير لها، والبنية المتفرعة يمكن تصميمها لتحرر مركبات مرتبطة استجابة لجزيئات خاصة أو تفاعل كيميائي، إن الكرة الطبقية التي تدعى الغلاف النانومتري تم تطويرها من قبل Nanospectra من أجل توصيل الأدوية والغلاف النانو متري له طبقة ذهبية خارجية التي تغطي الطبقات الداخلية من السيليكا والأدوية والأغلفة النانومترية يمكن صنعها لامتصاص الطاقة الضوئية وبعدها تحويلها إلى حرارة، ومن ثم عندما توضع الأغلفة النانومترية قرب منطقة مستهدفة مثل خلية الورم، فإنها يمكن أن تحرر أضداد خاصة بالورم عندما يعطى ضوء الأشعة تحت الحمراء.

3. أنابيب الكربون النانوية (Carbon Nanotubes):

أظهرت الأبحاث الحديثة إمكانية استخدام تلك الأنابيب من خلال ربطها مع مركبات ببتيدية (Peptides) لتعريفها بنظام المناعة في الجسم، ومن ثم استخدامها في إيصال اللقاح مما يساهم في رفع المناعة مقارنة بطرق إيصال اللقاح التقليدية، كما يمكن استخدام أنابيب الكربون المعدلة في إيصال الأحماض النووية إلى الخلايا ونقل المورثات (Genes)،

حيث تتميز الأنابيب المعدلة بقدرتها على تكوين تجمعات معقدة مستقرة مع المركبات الحيوية، مما يساعد في رفع مستوى تعبير المورثات) Gene Expression)، ويفتح مجالًا كبيرًا للتطبيقات المتعلقة بالعلاج المبني على المورثات[1].

4. جسيمات نانوية غير عضوية (Ceramic or Inorganic):

يتوقع أن تساهم الجسيمات النانوية غير العضوية في تحسين طرق إيصال الدواء، لسهولة تحضيرها والتحكم في شكلها وحجمها وتكيفها مع درجة الحرارة المحيطة بها، وقدرتها على حماية المركبات الحيوية المرتبطة بها من التغيرات التي يمكن أن يسببها تغير الرقم الهيدروجيني (pH)، كما أن هذه الجسيمات متوافقة مع الأنظمة الحيوية، ولها سمية ضعيفة جدًّا، ويمكن تعديل السطح الخارجي بمجموعات وظيفية مختلفة، مما يسمح بربطها مع مركبات حيوية تعمل على توصيلها إلى منطقة العلاج المحلية. وقد أظهرت بعض الدراسات الحديثة إمكانية استخدام جسيمات السليكا (Silica) متناهية الصغر في احتواء عقار مضاد للسرطان، قابل للتفاعل مع الضوء، يمكن تفعيله عند

(1) Jindol,v,r.etall: Carbon nanotubes production using arc ignition under magnetic field.j.nanotechnology& its application–2007–vol–2 no–1 (abstract).

وصوله لمكان الورم عن طريق تسليط الضوء بطول موجي محدد، مما يقلل الآثار السلبية للعقار على الأنسجة السليمة المجاورة[1].

5. المركبات العضوية (Organic compounds):

تلعب المركبات مثل المتشجرات (Dendrimers والحويصلات الدهنية Liposomes) الحيوية دورًا كبيرًا في إيصال الدواء، وتتميز هذه المركبات والأجسام بصلاحيتها لأن تعمل على إيصال الدواء، وذلك لأن حجمها في حدود مقياس النانو ومتوافقة مع الأنظمة الحيوية[2].

لهذه المركبات خصائص فريدة متعلقة بشكلها والقدرة على بناء النهايات الخارجية لربط المركبات بها، كما يمكن الاستفادة من تجويفها الداخلي لحمل الدواء وإيصاله إلى المنطقة المصابة، ولها القدرة على الذوبان في الماء والزيت في آن واحد، مما يمكنها من حمل المركبات الدوائية المختلفة الذوبان، ومن ثم إطلاقه بمعدل مناسب للعلاج، ويمكن تعديل سطح هذه الحويصلات بربطها بمركبات ذات خصائص

(1) Alberto Bianco, Kostas Kostarelos and Maurizio Prato. Applications of Carbon nanotubes in drug delivery. Current openion in Chemical Biology. 2005.

(2) T.C. Yih and M. Al–Fandi. Engineered Nanoparticles as precise drug delivery systems. Journal of Cellular Biochemistry. 2006.

مميزة، مما يساعد في انتقالها خلال الأوعية الدموية والوصول إلى المكان المراد إيصال الدواء إليه[1].

6. المستحلبات متناهية الصغر (Nano emulsions):

أظهرت دراسات حديثة إمكانية استخدام المستحلبات النانوية كنظام متعدد الوظائف لإيصال الدواء ومتابعته. تتكون هذه الأنظمة من حبيبات من الزيت في الماء مرتبطة مع مركبات (DTPA) لها القدرة على الاتصال بأيونات فلزية محددة، ويتم تحميل الدواء داخل هذه الأنظمة بالإضافة إلى أيونات جالينوم (+3GD) لتوفير خاصية المادة المتباينة للاستخدام مع جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي، ومن ثم يمكن تتبع مراحل علاج الورم، والتخلص من الآثار الضارة للعلاج الكيميائي[2].

لا بد من التأكيد أن ما تم من أبحاث في مجال استخدام النانو تحمل وعودًا طيبة في طرق إيصال الدواء، إلا أنها في مراحلها الأولية، وتحتاج إلى وقت طويل حتى يتم التأكد من سلامتها وعدم إحداثها لمضاعفات جانبية في حال دخولها

(1) Sandip Tiwari, Yi–Meng Tan and Mansoor Amiji. Preparation and In Vitro Characterization of Multifunctional Nanoemulsions for Simultaneous MR Imaging and Targeted drug delivery. Journal of Biomedical Nanotechnology.2006.

(2) المرجع السابق نفسه.

جسم الإنسان. ويمكن تلخيص الفوائد التي ستضيفها تقنيات النانو في تطوير طرق إيصال الدواء فيما يلي:

1. القدرة على توجيه الدواء إلى المنطقة المصابة تحديدًا.
2. إيصال العلاج وإطلاقه حول المنطقة المصابة فقط دون التأثير على الأنسجة السليمة القريبة منها.
3. تقليل التسمم الناتج عن استخدام جرعات زائدة من الدواء دون الحاجة إلى ذلك.
4. التحكم في عملية إطلاق العلاج على فترات زمنية محددة داخل جسم الإنسان.
5. القدرة على الحركة وتجاوز الحواجز الحيوية.
6. إمكانية متابعة مراحل العلاج ومدى استجابة المنطقة المصابة له.
7. تقليل معاناة المرضى، والآلام المصاحبة لطرق إيصال الدواء.
8. تقليل تكاليف الدواء والاستفادة من طرق العلاج الحالية المتوفرة بتكلفة أقل.
9. إمكانية استخدام الدواء المتوفر حاليًا بعد تحسن طرق إيصاله، دون الحاجة إلى إنتاج أدوية جديدة.

وتمثل طرق إيصال الدواء النسبة الكبيرة من التطبيقات الطبية لتقنيات النانو، التي بدأت تظهر في مراحلها النهائية من التجربة، حيث يفوق تطورها تطور التطبيقات الأخرى لتقنيات النانو المتعلقة بالتشخيص، ويتوقع أن تنتشر بشكل أكبر في السنوات القليلة القادمة، وأن يكون لها تأثير كبير في علاج الأمراض الخطرة مثل السرطان.

المبحث الثاني

تطبيقات تقنية النانو في اكتشاف الأدوية والعقاقير العلاجية

تساهم تقنية النانو في اكتشاف العقاقير (Drug Discovery) المختلفة، خاصة في مجال المضادات الحيوية ومضادات السرطان وغيرها، وهي جزء من الحلول المتقدمة والجديدة لخفض زمن الاكتشاف والتطوير، ومن الممكن أن تنخفض تكاليف التطوير المعتمدة على طرق التجريب والخطأ التقليدية في عملية اكتشاف الدواء، وقد زاد عدد الأدوية المرشحة التي تم دراستها في السنوات العشر الماضية بمقدار 3 أضعاف من 500 ألف مركب دوائي إلى تقريبًا 1.5 بليون مركب. ومن أهم الاكتشافات النانوية في مجال تشييد الأدوية:

1. **النانوبيوتك (Nanobiotics):**

يعتبر النانوبيوتك البديل الجديد للمضادات الحيوية (Antibiotics)، ومن المتوقع أن يحدث النانوبيوتك ثورة غير مسبوقة في التصدي للكائنات الدقيقة، وذلك وفق اعتماد مبدأ (Nanobiotics) بدلًا من (Antibiotics). ففي جامعة

(هانج بانج) في سيؤول استطاع الباحثون إدخال نانو الفضة إلى المضادات الحيوية، ومن المعروف أن الفضة قادرة على قتل 650 جرثومة ميكروبية دون أن تؤذي جسم الإنسان.

سوف تقضي هذه التقنية على سلالات البكتيريا المقاومة للمضادات الحيوية، التي أحدثت طفرات تحول دون تأثيره عليها مثل: Staph. aureus و P.aeruginosa حيث يقوم النانوبيوتك بثقب الجدار الخلوي للبكتيريا أو الفيروس، وعند دخول الملايين منها داخل الغشاء الهلامي للبكتيريا فإنها تنجذب كيميائيًّا بعضها إلى بعض، وتجمع بعضها على شكل أنابيب طويلة أو دبابيس كثيرة، تقوم بثقب الغشاء الخلوي، وتعمل المجموعات الأخرى على توسيع الثقب في جدار الخلية البكتيرية، حتى تموت خلال بضع دقائق، نتيجة لتشتيت الجهد الكهربائي الخارجي لغشائها، ومن ثم تدميرها خلال دقائق، ولا تستطيع معها تكييف جهازها المناعي[1].

وقد تمكن باحثون من جامعة يالا من إنتاج أنابيب متناهية في الصغر، مصنوعة من الكربون (نانوبيوتك)، من الممكن أن يكون لها الأثر التدميري على أي بكتيريا، حيث تحدث الباحثون

(1) West JL, Halas NJ. Applications of nanotechnology to biotechnology. Curr Opin Biotechnol 2000;11 (2) :215–7. [Medline].

في مؤتمر الجمعية الكيميائية الأمريكية الذي عقد في بوسطن 2007 م عن مواصفات هذه الأنابيب، وأوضح أن عرضها واحد نانوميتر، وما إن يحدث اتصال بينها وبين البكتيريا تؤدي فورًا لموت الأخيرة. وسوف يوفر النانوبيوتك حوالي 10 بلايين دولار سنويًّا تكلفة المعالجة بالعدوى المصابة عن طريق الجراثيم، حسب إحصائيات منظمة الصحة العالمية.

2. التعقيم والتطهير الطبي:

نجحت شركة MAEDA KOUGYOU اليابانية باستخدام تقنية النانو ومادة التيتانيوم في إنتاج سائل شفاف عديم اللون والرائحة من أكسيد التيتانيوم (MVX) له مواصفات خاصة أمكن استخدامها في أعمال التعقيم، والقضاء على البكتريا، ومقاومة الروائح، وكذلك عدم تراكم الأتربة على الأسطح المدهونة بهذه المادة؛ وذلك عن طريق التفاعلات الضوئية الناتجة عن تعرض هذه المادة إلى أقل كمية من الضوء، بإنتاج ال (– O) والـ (– OH) اللذان يحملان الإشارة السالبة التي تقتل البكتريا، و إزالة الروائح، والمواد العضوية العالقة بالأسطح لمدة تصل إلى خمس سنوات بالكفاءة نفسها[1]. وقد استخدم MVX في كبرى

(1) California Molecular Electronics Corporation (CALMEC). Available at: «http://www.calmec.com/». Accessed Sept. 26, 2000.

مستشفيات العالم، لتعقيم غرف العمليات وغرف المرضى، وقد عالج العديد من حالات تلوث المستشفيات والأماكن المصابة بالجراثيم والأمراض المعدية.

وأجرت بعض الشركات العديد من الأبحاث العلمية المثيرة على الحبيبات النانوية لفلز الفضة لمعرفة مدى إمكانية توظيفه في مجال مقاومة العدوى وقتل الأنواع المختلفة من البكتيريا الضارة والفيروسات. وقد أشارت النتائج إلى أن الحبيبات البلورية لفلز الفضة لها قدرة مدهشة على قتل أنواع متعددة من البكتيريا الضارة والفيروسات والجراثيم. وذلك يرجع إلى تصغير تلك الحبيبات إلى أقطار تقل عن 1 نانومتر يعمل على زيادة كبيرة في مساحة السطح للحبيبات.

ومع تناقص أقطار الحبيبات وزيادة مساحة السطح تتولد لدى ذرات عنصر الفضة الموجودة بلب الحبيبات النزعة في الهجرة إلى السطح الخارجي للحبيبات، مما يؤدي إلى زيادة كبيرة في نشاطها الكيميائي، وكذلك زيادة في تفاعلها مع أوكسجين الهواء الجوي.

ونتيجة لذلك تتكون أيونات الفضة السامة التي تكون مسؤولة عن قتل الجراثيم والفيروسات.وقد احتكرت إحدى الشركات الكورية المتخصصة في صناعة الأجهزة الكهربية

والإلكترونية تصنيع الثلاجات المنزلية المغطاة من الداخل بطبقة رقيقة من فلز الفضة بهدف قتل البكتريا والجراثيم، التي قد توجد لأجل حماية الأطعمة المحفوظة من التلوث البكتيري.

كذلك قامت إحدى الشركات المتخصصة في صناعة الأحذية بوضع ألياف نانوية من فلز الفضة بداخل الحذاء، وذلك من أجل منع فطريات القدم والبكتريا من النمو في أثناء مدة ارتداء الحذاء، ويمثل هذا المنتج أهمية كبيرة لمرضى الداء السكري، الذين يعانون بصورة دائمة من التقرحات والالتهابات بالقدم، تمنع الإصابة بالعدوى البكتيرية التي قد تؤدي إلى عواقب وخيمة، تتمثل في حدوث غرغرينا بالقدم[1].

3. آلات نانوية تصنع الدواء داخل جسمك:

في سبق علمي جديد تمكن فريق من الباحثين الدوليين من تطوير آلات نانوية قادرة على تصنيع مركبات دوائية داخل جسم الإنسان. حيث تمكن العلماء من تصنيع كبسولة نانوية دقيقة ذات قدرة على الاستجابة لمؤثر خارجي من أجل بدء تصنيع جزيئات دوائية بروتينية داخلها بطريقة تحاكي الطريقة التي يتم تصنيع تلك البروتينات بها داخل الكائنات الحية. ويعد هذا السبق ثورة

(1) R. L. jones. Soft Machines: Nanotechnology and Life. Oxford, UK: Oxford University Press, 2004.

جديدة من شأنها إحداث طفرة تمكننا من تصنيع الدواء داخل جسم الإنسان (**شكل 14**).

تمكن العالم الأمريكي (دانييل أندرسون) وفريقه البحثي من معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا الأمريكي وجامعة بريتيش كولومبيا الكندية من تصنيع تلك الآلات النانوية المتطورة، وقد قاموا بنشر النتائج التي توصلوا إليها في دورية (Nano Letters). هذه الآلات النانوية عبارة عن كبسولات مفرغة مصنوعة من مواد دهنية يقدر حجمها بحوالي 170 نانومتر. وتحتوي تلك الكبسولة النانوية على آلية تقوم بتصنيع جزيئات من البروتين ذات خصائص دوائية تشبه آلية تصنيعها داخل جسم الإنسان. تتكون تلك الآلية من أجزاء من الحمض النووي المحبوسة داخل قفص من مادة تتحلل ضوئيًّا، بالإضافة إلى بعض الإنزيمات، والأحماض الأمينية، وأجسام الريبوسوم.

تعمل تلك الآلية كاستجابة لمؤثر خارجي عبارة عن شعاع ليزر فوق بنفسجي، يقوم بتحليل القفص الذي يحبس أجزاء الحمض النووي، ليتم تحريرها داخل الكبسولة، وعندئذ يتم نسخ ذلك الحمض النووي الدي أوكسي ريبوزي بواسطة إنزيمات النسخ إلى حمض نووي ريبوزي، يتم ترجمته عبر الريبوسوم وبمساعدة إنزيمات أخرى إلى البروتين الدوائي المطلوب.

توفر تلك الآلات النانوية العديد من الفرص الجديدة في عالم الدواء. فهي ستمكننا من الاستغناء عن توصيل الدواء إلى الجسم عبر الفم أو بالطرق الأخرى، حيث إن الدواء سيتم تصنيعه داخل الجسم عبر تلك المصانع النانوية، بالإضافة إلى هذا سيتمكن الأطباء من التحكم في إطلاق الدواء وقت الحاجة فقط عبر التأثير بمؤثر خارجي أو داخلي، تستجيب له تلك الآلات النانوية لتقوم بتنفيذ الأوامر المبرمجة على أدائها وإنتاج الدواء المطلوب. كما تمكننا تلك الآلات من توصيل الدواء بشكل ذكي إلى الجزء المريض فقط من الجسم وعلى مستوى خلوي، دون الحاجة إلى توسيع نطاق تأثير المركبات الدوائية على الجسم والإضرار بمناطق سليمة؛ أي أن الدواء لن تكون له أي آثار جانبية تذكر.

إن دواء بهذه المواصفات هو غاية الأطباء والصيادلة في إيجاد دواء أكثر ذكاء يتلافى العيوب الموجودة في الأدوية المستخدمة في عصرنا هذا. وعلى الرغم من أن أمام تلك الآلات النانوية عدة سنوات تقصر أو تطول قبل أن تكون متاحة للاستخدام، فإن هذا المفهوم الدوائي الجديد هو شرارة البدء لثورة من نوع آخر .. ثورة علمية دوائية للقضاء على الأمراض ولصحة أفضل لبني البشر[1].

(1) Nano Letters Journal – http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/nl2036047.

المبحث الثالث

تطبيقات تقنية النانو في التشخيص الطبي

يساهم التشخيص الطبي في الاكتشاف المبكر للمرض، مما يجعل عملية العلاج أكثر نجاحًا وأقل تكلفة، كما أنه يريح المريض نفسيًّا من متابعة العلاج لفترة طويلة. والآمال معقودة على دور تقنية النانو في تطور عملية التشخيص وقدرة الأطباء على معرفة أسباب الأمراض وطرق حدوثها مبكرًا؛ وهو ما سينعكس بصورة إيجابية على حياة الإنسان وتقدم المجتمعات.

يتم في التطبيقات الطبية لتقنية النانو تحضير الجسيمات متناهية الصغر، والأجهزة المعتمدة عليها؛ بحيث تتخاطب وتتفاعل مع الأنسجة والخلايا الحية على المستوى الجزيئي، وليس على مستوى الخلايا بدقة عالية وتحكم وظيفي، مما يساعد في دفع عجلة التطور في تقنيات الأنظمة الحيوية، وتصبح الاختبارات الحيوية لقياس وجود أو نشاط المواد المختبرة أسرع و أكثر دقة[1].

(1) Dynan.W, ETALL:Understanding & reengineering nucleoprotein machines to care human disease. J. nanomedecine. Feb.vol 2008:3–no:1.

ويمكن دمج جزيئات النانو المغناطيسية مع الأجسام المضادة المناسبة، واستخدامها كعلامات على وجود جزيئات محددة أو ميكروبات، وبالمثل استخدام جزيئات الذهب المدمجة مع مقاطع صغيرة من الحمض النووي، للتعرف على تسلسل الجينات في عينة ما. هناك أيضًا تقنية ثقوب النانو لتحليل الحمض النووي، التي تحول تسلسل وحداته مباشرة إلى إشارة كهربائية.

وفي خطوة جريئة تبشر بتطوير طرق حديثة لتشخيص العديد من الأمراض، مثل الكبد والقلب والسرطان، مما يمهد للكشف عن إيجاد علاج مناسب يوقف انتشارها، أظهرت دراسة أمريكية حديثة أجريت علي الحيوانات، أن استخدام «النانو تيوب» أو الأنابيب الفائقة الدقة الكربونية في الأنسجة الحية، ليس له آثار سلبية مباشرة علي صحة الفرد.

وتتميز تلك الأنابيب الفائقة الدقة بخصائصها الكيميائية والضوئية الفريدة، فباستطاعتها أن تشع موجات ضوئية بطول موجي محدد، لذا فهي تجتذب اهتمام الكثير من الباحثين في مجال الطب الحيوي، حيث يتوقع أن تساهم في تحقيق إنجازات مميزة في المجالين التشخيصي والعلاجي.

ويتكون هذا النوع من الأنابيب الفائقة الدقة أو ما يسمي Nanotube من مادة الكربون النقية، وهي تأخذ شكل أسطوانات مفرغة يصل قطر الواحد منها إلي واحد نانوميتر، أي واحد من مليون جزء من المليمتر، وهو ما يعادل عرض جديلة واحدة من جدائل الحمض النووي DNA.

وكان فريق ضم باحثين من جامعة رايس ومركز آي. دي. أندرسون للسرطان التابع لجامعة تكساس الأمريكية، أجري دراسة بهدف رصد تأثير استخدام أنابيب Nanotube الكربونية، على أجسام الكائنات الحية، حيث تضمنت تجارب تعد الأولى من نوعها، والتي تتبع الباحثون من خلالها مسار تلك الأنابيب المجهرية في أجسام الحيوانات، من خلال فحص نسيج العضو الذي يتوقع أن تستقر فيه.

وبالبحث تبين أن الأنابيب قد استقرت في النسيج الكبدي بعد ساعة من حقن الحيوان بها، كما تبين أن بعض تلك الأنابيب قد ترسب في أجزاء من النسيج الكلوي، وهو ما توقعه الباحثون حيث يعد هذان العضوان مصفاة للدم.

ويمكن تلخيص التقدم في التشخيص الطبي الذي ستساهم فيه تقنية النانو في محاور عدة، منها:

أجهزة التشخيص (Diagnostic Instruments)

يمكن لأجهزة التشخيص أن تستفيد من التقدم في تطبيقات النانو في مجال الإلكترونات، ومعالجة الإشارات، وأجهزة الحاسب لتحليل البيانات، مما يساهم في سرعة أدائها ودقة تشخيصها، واكتشافها للمرض بصورة مبكرة.

وتشمل أجهزة التشخيص ما يلي:

أ. تقنيات التصوير (Imaging Techniques):

يعد التصوير الطبي بتقنياته المتعددة من المجالات التي ستساهم فيها تقنية النانو، حيث يتوقع أن تدفع عجلة التطور فيها من حيث كفاءة أدائها وسرعة عملها وزيادة سبل الأمان فيها، ذلك بسبب دخول تقنية النانو في صناعة الشرائح الإلكترونية، ودوائر التوصيل الكهربائي ومعالجات البيانات المستخدمة في تلك الأجهزة (**شكل 15**).

كما أنها ستساهم في تخفيض تكلفة صناعتها، ومن ثم انتشار استخدامها، حيث لا تتواجد تقنيات التصوير التي تستخدم فيها تقنية النانو حاليًا إلا في المستشفيات والمراكز الطبية الكبيرة. وتشمل تقنيات التصوير أجهزة مختلفة لها أسسها الفيزيائية والهندسية، واستخداماتها الخاصة بها في التشخيص، ومن تلك الأجهزة ما يلي:

1. التصوير بالرنين المغناطيسي:

وهو من أهم الاستخدامات الرئيسة التي يمكن تطويرها بتقنية النانو؛ حيث تساعد تلك التقنية في زيادة كفاءة الصور ثنائية وثلاثية الأبعاد، ويصبح التباين بين الأنسجة الطبيعية وغير الطبيعية واضحًا في مراحله الأولى، وسيكون لدى الطبيب معلومات وافية عن حالة المريض وأعراض المرض من دون الحاجة إلى التدخل الجراحي، ومن أهم المجالات التي يمكن أن تستفيد من هذه التقنية تشخيص أمراض الدماغ والمفاصل والظهر والأعصاب.

يتميز جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي بقدرته العالية على تصوير الأنسجة اللينة والتعرف على أنواع الأورام عن طريق عوامل مختلفة تؤثر في الإشارة المستقبلة من النسيج، حيث تتأثر قيم هذه العوامل بالوضع التركيبي والفسيولوجي في الأنسجة الطبيعية عنها في حالة تكون الأورام، إلا أن التمييز بين قيم العوامل في الأنسجة الطبيعية في حالة المرض خاصة في مراحله الأولية يشكل تحديًا كبيرًا، وهنا يأتي دور جسيمات النانو عمليًّا في الارتباط بمنطقة الورم عند إدخالها الجسم مع القدرة على التحكم في سيرها، والتأكد من وصولها إلى منطقة النسيج المتوقع انتشار المرض فيه، ومن ثم تأثيرها على قيم العوامل

المقاسة بالجهاز، مما يسهل تحديد منطقة الورم وحجمه ومدى انتشاره عند الحصول على الصور التشخيصية من الجهاز.

2. التصوير بالأشعة السينية:

يمكن الاستفادة من تقنية النانو في هذا النوع من التصوير في تطوير تشخيص أمراض العظام والثدي والصدر وإصابات الحوادث.

3. التصوير بالموجات فوق الصوتية:

يستخدم التصوير بالموجات فوق السمعية في تشخيص أمراض القلب ومتابعة نمو الجنين، ولذلك فإن تقنية النانو سوف تطور هذا النوع من التشخيص.

إن دراسة خلايا الجسم يكون صعبًا، ومن هنا يلجأ العلماء إلى تلوينها، وهناك مشكلة أخرى ألا وهي أن الخلايا التي تصدر أمواجًا ضوئية مختلفة في الطول لا تعمل بشكل واحد أو بكيفية واحدة على الدوام، الأمر الذي يجعل عمليات التصوير الطبي تواجه مشكلات على صعيد التشخيص الصحيح، وقد تمكن العلماء من حل هذه المشكلة باستخدام بعض جزئيات النانو التي تبدي ردود فعل مختلفة إزاء الترددات الموجية المختلفة الناشئة بطبيعة الحال عن اختلاف طول الموجة، وهو ما سيمكن الباحثين والأطباء من تعقب أي حركة تحدث في النسيج الحي

داخل جسم الإنسان، وفي مستطاع الأطباء هنا التعرف بدقة على حركة الدواء داخل النسيج المريض[1].

ب. الجسيمات متناهية الصغر (Nanoparticles):

وهي مواد نانوية لها خواص فيزيائية وهندسية متميزة، يمكن الاستفادة منها في تشخيص الأمراض، كمواد متباينة (Contrast agents)؛ بحيث ترفع درجة التباين بين الأنسجة ذات التركيب المختلف، ومن ثم يمكن تمييز التغيرات التركيبية والفسيولوجية باستخدام تقنيات التصوير المتعددة أو كمواد يمكن تتبعها Trace elements أو كمواد مميزة (Tagging and Labeling agents) للجزيئات الحيوية مثل البروتينات والإنزيمات، بحيث يسهل تتبع حركتها ودخولها إلى الخلايا وتفاعلها مع الجزيئات الأخرى، أو كمواد ملتصقة بمكان المرض، بحيث يتم اكتشاف مكان المرض بدقة عالية، ومن ثم تحديده كهدف للعلاج[2].

(1) Drexler KE, Peterson C, Pergamit G. Unbounding the future: The nanotechnology revolution. New York: William Morrow/Quill Books. 2009.

(2) Drexler KE.Molecular engineering: an approach to the development of general capabilities for molecular manipulation. Proc Natl Acad Sci USA 1981;78(9):5275–8. Available at:http://www. imm.org/PNAS.html.

ويمكن إنتاج هذه المواد وبخصائص متباينة بتغيرات بسيطة على سطحها لتهيئتها، لأن تؤدي وظائف مختلفة تساعد في التشخيص الأولي المبكر. وتوصف هذه الجسيمات بأنها متعددة الوظائف، فالجسم يعمل مثل الكبسولة يحمل بداخله مادة متباينة ذات طبيعة خاصة يمكن تتبعها باستخدام تقنيات التصوير الطبي. كما يعمل أيضًا كناقل للدواء يتم التحكم في الوقت والمكان المناسب لإطلاقه عن طريق الديناميكا الضوئية، بحيث يكون المركب حساسًا للضوء (أو لشعاع الليزر) عند تسليطه عليه، كما يحمل على سطحه مركبات حيوية لها القدرة على الارتباط الاختياري بالخلايا، بهذه الوظائف المختلفة، يوفر الجسيم قدرة عالية على استهداف الأورام وتتبع علاجها، ويقلل من تأثير الدواء على الأنسجة السليمة المجاورة للورم[1].

ج. الاختبارات الحيوية (Biochemical tests)

تستخدم الاختبارات الحيوية لتحديد وجود المرض ومسبباته، وهي من الأساسيات المهمة في تحديد التغيرات الفسيولوجية الوراثية المصاحبة للأمراض المختلفة، ويعوَّل

(1) Drexler KE, Peterson C, Pergamit G. Unbounding the future: The nanotechnology revolution. New York: William Morrow/Quill Books. 2009.

عليها في اكتشاف الأمراض وتشخيصها في وقت مبكر، وبربط الجزيئات الحيوية بجسيمات نانوية تصبح الاختبارات أكثر حساسية لأي تغير حيوي، وأكثر دقة في اكتشاف مسببات الأمراض وبشكل سريع، كما يتوقع أن تظهر اختبارات جديدة معتمدة على الخواص المميزة للأنظمة والجسيمات متناهية الصغر، ويتوقع أن تعتمد هذه الاختبارات على حجم عينة أقل مما هو مستخدم اليوم في المستشفيات والمعامل الحيوية.

إن طريقة جديدة لتشخيص تسمم الدم تعتمد على بطاقة في حجم بطاقة الائتمان بإمكانها أن تعطي نتائج لتحليل الدم في ساعة، ويعتمد هذا النظام على جسيمات النانو، التي تتحرك أوتوماتيكيًّا عن طريق قوى مغناطيسية.

فبالرغم من أن تسمم الدم يعد الثالث من الأمراض المميتة في ألمانيا، إلا أنه يستهان به، ففي هذه الدولة يموت سنويًّا حوالي 60.000 شخص معظمهم من تعفن الدم، وهذه النسبة توازي تقريبًا نسبة الموتى من النوبات القلبية. فقد أوضحت رابطة خبراء مرض تعفن الدم The Sepsis Nexus of Expertise أن المرضى الذين يصلون إلى غرفة العناية المركزة نسبة النجاة لديهم من هذا المرض تصل إلى 50% فقط، وأن أحد أسباب ارتفاع معدل الوفيات من

هذا المرض هو أن المرضى لا يعالجون بالشكل الصحيح، وذلك بسبب التأخر في تشخيص المرض، و ذلك لأن كلًّا من الطبيب والمريض عليهم الانتظار لأكثر من 48 ساعة للحصول على النتائج من المختبر.

أما في المستقبل، فهناك طريقة محمولة لتشخيص المرض، سريعة وأقل تكلفة، حيث يمكن تشخيص المرض حتى أثناء نقل المريض إلى المستشفى، و هذه الطريقة أطلق عليها MinoLab، وهي عبارة عن بطاقة بلاستيكية، حجمها حجم بطاقة ائتمان، يتم إدخالها في وحدة التحليل، التي هي أصغر من دفتر الملاحظات. وهذا النظام يحقق نتائج سريعة في أقل من ساعة، مما يمكّن الطبيب المعالج من وصف العلاج، وإنقاذ حياة المريض. وتعتمد هذه الطريقة على جسيمات ممغنطة تدخل إلى الخلايا المصابة في عينة الدم، وتسير بشكل أوتوماتيكي عن طريق تعرضها لقوى مغناطيسية، وفي نهاية العملية، فإن التشخيص يتم بواسطة مجسّات مغناطيسية[1].

الدكتور ديريك كوهليمير Dr. Dirk Kuhlmeier، عالم في معهد فراونهوفر لعلاج الخلية وعلم المناعة، فسّر كيف يتم كل

(1) إنقاذ الأرواح باختبار لمرض تعفن الدم: أمل باسم، مركز الترجمة العلمي http: / /physicsworld.com /cws /article .

ذلك قائلًا: «بعد أن يتم أخذ عينة الدم، فإن جسيمات نانوية تربط نفسها بالخلية المستهدفة في عينة الدم من خلال جزيئات ربط نوعية، ثم نقوم بتعريضها لمجال مغناطيسي بسيط، مما يؤدي إلى نقل الجسيمات إلى البطاقة البلاستيكية على طول مسببًا المرض، وتحركها من خلال تفاعلات دقيقة مختلفة خلال الثغرات الموجودة، حيث تتم سلسلة من تفاعلات البلمرة. وهذه الطريقة تقوم بنسخ جزيئات DNA ملايين المرات. بعد عملية النسخ فإن جسيمات النانو تنقل مسببات المرض في DNA إلى ثغرات الكشف، حيث يوجد نوع جديد من الرقائق الحيوية الممغنطة بإمكانها التعرف على مسببات المرض ومقاومات المضادات الحيوية».

وأضاف: «تبدأ جميع التفاعلات من عملية تحضير العينة مرورًا بعزل الجزيئات إلى عملية التوثيق بشكل أوتوماتيكي تام دون أي تدخل».

وهذا يعين أن عملية روتينية تتم بشكل أبسط بكثير من التحليل المختبري، وكذلك تقلل من خطر التلوث البكتيري الناجم عن البيئة، التي قد تعطي إنذارات خاطئة. وهناك ميزة أخرى كما أوضح دكتور ديريك كوهليمير:» لم توفر هذه الطريقة الوقت فحسب، بعملية اتحاد جسيمات النانو مع السائل الدقيق

micro-fluid. فالتصغير Miniaturization يعين أيضًا أن نوفر على أنفسنا أجهزة مختبرية باهظة الثمن»[1].

د. متابعة المرض:

ستساهم التقنيات الحديثة المعتمدة على النانو في تحليل العينات في وقت قصير وبحجم أقل، مما يمكن الطبيب من اتخاذ قراره في الوقت المناسب، وستوفر تقنيات التصوير المرتبطة بالجسيمات متناهية الصغر الفرصة لمتابعة تطور المرض (Monitoring)، ومراحل علاجه، كما هو الحال في علاج مرض السرطان بأنواعه المختلفة، حيث أظهرت بعض نتائج الدراسات الأولية في هذا الخصوص أهمية استخدام الجسيمات متناهية الصغر في توصيل الدواء إلى الأورام السرطانية، مع توفر القدرة في الوقت نفسه على متابعة قتل الخلايا السرطانية وانكماش الورم بدون تدخل جراحي من قبل الفريق الطبي.

هـ- مغانيط نانوية لتنقية الدم:

يعمل الباحثون في مدينة زيوريخ بسويسرا على تطوير مغانيط نانوية (شكل 16)، يمكنها أن تقوم في يوم من الأيام بسحب المواد الضارة من الدم. وقد تستخدم هذه التقنية لعلاج

(1) المرجع السابق نفسه.

الأشخاص الذين يعانون التسمم الدوائي، والتهابات مجرى الدم، وبعض أنواع السرطان[1].

يتكون المشروع من جسيمات نانوية ممغنطة مغلفة بالكربون، ومرصعة بأجسام مضادة للجزيئات، التي يرغب الباحثون في تطهير الدم منها، مثل البروتينات الالتهابية كالـ «إنترلوكن»، أو المعادن الضارة كالرصاص؛ حيث يستطيع الباحثون من خلال إضافة المغانيط النانوية للدم، ثم تمرير الدم في جهاز غسيل الكلى أو أي جهاز آخر مشابه، تصفية المركبات غير المرغوب فيها.

وتقول إنجي هيرمان، وهي المهندسة الكيميائية التي تترأس فريق البحث في جامعة زيوريخ موضحة: «إن المغانيط النانوية تقوم بالتقاط المواد المستهدفة، ثم يقوم حاجز مغناطيسي بتجميع المغانيط النانوية المحملة بالسموم في خزان مباشرة قبل أن يعاد تدويرها، ويبقيها منفصلة عن الدم الذي تجري إعادة تدويره».

وطبقا لدراسة نُشرت في مجلة «أمراض وغسيل وزرع الكلى» في فبراير 2011م، فقد تمكن الباحثون من إزالة 75% من

(1) مغانيط نانوية.. للقضاء على الأمراض في جسم الإنسان، جريدة الشرق الأوسط، الجمعة 18 صفر 1433 هـ، 13 يناير 2012م، العدد 12099.

«ديجوكسين»، وهو دواء للقلب يمكن أن يكون قاتلًا إذا تم تعاطيه بجرعات كبيرة مرة واحدة باستخدام جهاز لترشيح الدم؛ حيث قامت المغانيط النانوية بإزالة 90% من الـ«ديجوكسين»، بعد انتهاء عملية التطهير، التي استغرقت ساعة ونصف الساعة.

وأحد المحاذير الخطيرة التي ينبغي على الباحثين إثبات عدم حدوثها، هو أن تكون هذه الجسيمات سامة للجسم، وأنها لن تعوق قدرة الدم على التجلط، لكن النتائج الأولية واعدة؛ حيث أظهرت مجموعة هيرمان من خلال بحث في الطب النانوي عام 2011م، أن المغانيط النانوية لم تتلف الخلايا أو تساعد على التخثر، وهما اثنان من أهم معايير السلامة.

وفي الاجتماع السنوي للجمعية الأميركية لأطباء التخدير، الذي عقد في أكتوبر 2011م، قدمت هرمان بيانات تظهر أن المغانيط النانوية قد تم تقبلها جزئيًّا من قبل الوحيدات والبلاعم، وهما نوعان من الخلايا المناعية؛ حيث يعد هذا دليلًا مهمًّا، من حيث المبدأ، لأي تطبيق محتمل لهذه التكنولوجيا في المستقبل في محاربة الالتهابات الخطيرة.

وتجري هيرمان وزملاؤها الآن دراسة على استخدام هذه التكنولوجيا مع الفئران التي تعاني الإنتان، وهو نوع شديد من العدوى التي تصيب الدم، وتتسبب في حدوث تراكم هائل من

الجزيئات المناعية الضارة؛ حيث يصاب نحو مليون شخص في الولايات المتحدة كل عام بالإنتان الشديد.

ويقول جون دوبسون، وهو مهندس طب حيوي في جامعة فلوريدا: إن إزالة السموم تعد أحد تطبيقات تكنولوجيا النانو (المثيرة للاهتمام حقًّا)؛ حيث قامت مجموعته باستخدام الجسيمات النانوية المغناطيسية: كنوع من أجهزة التحكم عن بعد لمعالجة النشاط الخلوي، مثل تمايز الخلايا الجذعية «عند استخدام المواد الكيميائية يكون من الصعب إيقاف العملية بعد أن تبدأ، لكن التكنولوجيا المغناطيسية تمكننا من تشغيل وإيقاف العملية كيفما نرغب».

وقد تتجاوز الاستخدامات المحتملة لأسلوب الفريق السويسري معالجة الإنتان إلى غيره من الأمراض، بما في ذلك سرطان الدم، فقد يكون من الممكن، على سبيل المثال، تصميم مغانيط نانوية يمكنها الاتحاد مع خلايا اللوكيميا المنتشرة في الدم، بحيث تقودها إلى خارج الجسم.

ويقول تومسون ميفورد، وهو خبير في تكنولوجيا النانو في جامعة كليمسون: إن هذا النهج الجديد يعد نهجًا واعدًا؛ حيث إنه يلاحظ أن جسم الإنسان يعد بيئة عالية التأكسد، مما يضعف الخواص المغناطيسية لمادة الجسيمات الممغنطة، نتيجة

لأكسدة الحديد، لكن فكرة طلاء المغانيط النانوية بالكربون، التي ابتكرها مجموعة الباحثين السويسريين، ربما كانت هي الحل الأمثل لمنع حدوث هذا التآكل، لكنه يقول، على الرغم من ذلك: إنه لم يتم التحقق بعد من مدى جدوى هذه الطريقة؛ حيث «يتمثل التحدي الحقيقي لهذه الطريقة الجديدة في التأكد من عدم إعاقة المغانيط النانوية للدورة الدموية، وعدم قيام الجهاز المناعي بمهاجمتها، وعدم تجمعها معًا في كتلة واحدة»[1].

و- الأذن النانوية لسماع الفيروسات والبكتيريا:

الأذن النانوية- من اختراع د.جوشين فيلدمان Dr. Jochen Feldmann وزملائه من جامعة «لودفيش ماكسيميليان» في ميونيخ - عبارة عن جسيمات مجهرية «ميكروسكوبية» من الذهب لا يزيد قطرها عن 60 نانومتر المسلط عليه شعاع الليزر، وهذه الأذن لها القدرة على سماع الأشياء الأكثر خفوتًا مليون مرة أكثر مما نسمعه نحن بالأذن العادية، ويعد هذا الاختراع بمثابة خطوة فعالة لفتح مجال جديد في الدراسات المجهرية الصوتية (acoustic microscopy) حيث يمكن دراسة الكائنات الحية باستخدام الأصوات التي تنبعث منها.

---

(1) المرجع السابق نفسه.

يتم الإدراك لهذه الموجات الصوتية عندما ينضغط الهواء من قبل موجات التضاغطات، فتسافر هذه الموجات الصوتية للأمام والخلف محل الجزيئات التي تمر بها، وستقوم بتحديد الصوت، وذلك لتقيس هذه الحركة ذهابًا وإيابًا، وقد تم تطوير (Nano-microphone) بعد الأذن النانوية، التي تسمح للعلماء من الاقتراب أكثر من الكائنات المجهرية.

وهذه التقنية تمكنا من التعرف أكثر حول التغييرات التي تحدث في الخلايا، والتي تؤدي لحدوث الأمراض، فمثلًا على سبيل المثال كرات الدم الحمراء، تصبح أقل اهتزازًا عندما تصاب بطفيليات الملاريا.

وتستطيع تلك الأذن النانوية استشعار الأصوات حتى سالب (-) 60 ديسيبل، ومن ثم يعد أكثر الأجهزة حساسية للصوت، التي تقدر على كشف الموجات الصوتية عن أي جهاز آخر. كما يمكن ترتيب هذه الأذن في نسق ثلاثي الأبعاد لتستوعب الاستماع للميكروبات كالفيروسات والبكتيريا[1].

ولعل من أهم مزايا تلك الأذن النانوية:

- القدرة على استشعار حركة وتأثير الكائنات الدقيقة «البكتريا والفيروسات».

(1) www.dr-saud-a.com/vb/showthread.php?52676

- إمكانية التعرف حول التغييرات التي تطرق على الخلايا المصابة بالأمراض.
- تستطيع الأذن النانوية سماع الأصوات حتى سالب (-) 60 ديسيبل.

المبحث الرابع

تطبيقات النانو في تشخيص السرطان وعلاجه

إن قدرة تقنية النانو على تشخيص الأورام السرطانية، هي من بين الأحلام التي راودت مخيلة الباحثين لسنين عديدة. وباستخدام تقنية النانو أصبح بالإمكان الحصول على صور متطورة من الناحية الطبية للأورام والخلايا السرطانية، وأحجام هذه الصور تساعد الأطباء والباحثين في الحصول على معلومات دقيقة حول هذه الأورام، حيث أظهرت آخر البحوث أن العلماء قد توصلوا إلى طريقة نانوية جديدة يمكن بواسطتها تصوير الأورام السرطانية داخل الجسم، وتحديدها بدقة، ومن ثم القيام بالعلاج بشكل مباشر للتخلص من هذه الأورام السرطانية[1].

(1) Nie, Shuming, Yun Xing, Gloria J. Kim, and Jonathan W. Simmons (2007). «Nanotechnology Applications in Cancer». Annual Review of Biomedical Engineering 9. doi:10.1146/annurev.bioeng.9.060906.152025. PMID 17439359.

أولًا: التشخيص المبكر للسرطان وعلاجه:

يعد مرض السرطان من أشد الأمراض فتكًا بالبشر، إذ يشكل حوالي 13% من حالات الوفيات على مستوى العالم. وعلى ما يبذله الباحثون من جهد للحد من انتشاره والقضاء عليه،فإنه ما يزال سببًا من الأسباب الرئيسة للوفاة بحسب إحصائيات منظمة الصحة العالمية. وتتم معالجة المرضى المصابين بالسرطان بالتدخل الجراحي، والعلاج الكيماوي، والعلاج الإشعاعي[1].

وفي كثير من الحالات يكون اكتشاف السرطان قد تم في وقت متأخر، مما يعجل بانتشاره في أعضاء الجسم، ويقلل من فرص نجاح علاجه، ولهذا فإن التطور في تشخيص مرض السرطان سوف يساهم في اكتشافه مبكرًا، وإمكانية استئصاله وعلاجه قبل أن يستفحل الأشكال (17-23)، وقد نُشرت حديثًا أبحاث عدة تبين مساهمة تقنية النانو في دفع عجلة التطور في التشخيص الطبي خاصة في مرض السرطان، إلا أنه ينبغي التأكيد على أن هذه الأبحاث في مراحلها الأولى من إجراء التجارب على الحيوانات، ومن هذه الأبحاث ما يلي:

---

(1) Schuster, M., Nechansky, A., & Kircheis, R. (2006). Cancer immunotherapy. Biotechnol J, 1(2), 138–147.

- قام باحثون بمركز أبحاث السرطان في جامعة ميتشيجن في الولايات المتحدة بإجراء تجارب على فئران مصابة بسرطان في الدماغ، وذلك بحقنها بدواء ومادة متباينة داخل جسيمات متناهية الصغر، بحيث يتم التحكم في وصول الدواء وتتبع حركته عن طريق جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي (MRI)، والتأكد أن الدواء يؤثر على الخلايا السرطانية دون السليمة، وبهذه الطريقة جمع الباحثون بين التشخيص (تحديد مكان الورم ومتابعة تقلصه واضمحلاله)، وبين العلاج (إيصال الدواء إلى مكان الورم، والتحكم في جرعاته واستهدافه، من دون التأثير على الأنسجة الطبيعية)، وقد أظهرت النتائج الأولية أن حيوانات التجارب استجابت للعلاج بشكل أكبر عند استخدام الجسيمات النانوية، كما كان بالإمكان تتبع مسارها، وتشخيص حالة الورم السرطاني بشكل أدق[1].

- قام باحثون في جامعة نبراسكا في الولايات المتحدة الأمريكية باستخدام جسيمات متناهية الصغر من أكسيد الحديد، تتميز بخواص مغناطيسية للمساهمة في اكتشاف

(1) Roco MC. National nanotechnology initiative. Available at:http:// www. nano. gov/.Accessed Sept. 26, 2000.

الأورام السرطانية، وذلك عن طريق استخدامها كمادة متباينة مع التصوير بالرنين المغناطيسي، حيث ساهمت الخصائص المغناطيسية الجديدة للجسيمات متناهية الصغر في اكتشاف الورم وتوصيل الدواء لمعالجته[1].

- أوضح باحثون من الولايات المتحدة الأمريكية وهولندا أنه يمكن اكتشاف عقد ليمفاوية صغيرة الحجم في مرضى سرطان البروستاتا لم يكن بالإمكان اكتشافها سابقًا، وذلك باستخدام جسيمات متناهية الصغر مع التصوير بالرنين المغناطيسي.

- استطاع العلماء تطوير جهاز فريد من نوعه يجمع بين تقنيات الفحص بأشعة الليزر والموجات الصوتية في آن واحد، للكشف عن الأورام الصغيرة في الثدي خلال بضع دقائق، وتحديد نوعها إذا كانت خبيثة أو حميدة.

ويعتمد هذا الجهاز على توجيهه لموجة محددة بأشعة الليزر للكشف عن تجانس الأنسجة ورصد الأورام التي لا يتعدى حجمها حجم رأس عود الكبريت، فيما تسمح الأشعة بموجات ذات ترددات أخرى بتحديد درجة خطورة الورم.

---

(1) Merkle RC. The molecular repair of the brain.Available at:http://www. merkle. com/cryo/techFeas.html."Accessed Sept. 26, 2009.

ومن خلال الدراسة التي أجريت علي الجهاز بمستشفى سان كارلو بوروميو في مدينة ميلان، اتضح أن الجهاز يستطيع التنبؤ بـ 93% من أورام البروستاتا، أما عن التجربة الأخرى التي أجريت على 200 امرأة بالمعهد الأوروبي للأورام بميلان، فقد أظهرت أن الجهاز نجح بدقة في تحديد سرطان الثدي في 66% من الحالات.

- استطاعت مجموعة من الباحثين تطوير تقنية لتصوير الخلايا السرطانية، وذلك باستخدام الخصائص الضوئية لمجسمات الفلورة متناهية الصغر (Fluorescent nanoparticle probes)، حيث عرض الباحثون في أبحاث منشورة التصوير الضوئي لخلايا سرطانية مستزرعة من رئة إنسان بوجود جسيمات متناهية الصغر ذات خصائص ضوئية، ويعتقد الباحثون أن ذلك سيساهم في المستقبل في تشخيص حجم الخلايا السرطانية وانتشارها، ودراسة خيارات استئصال الورم السرطاني من قبل الفريق الطبي.

- وصف باحثون في دراسة حديثة أن استخدام جسيمات متناهية الصغر ذات خواص معينة (Magnetic nanoswitches)، يساهم في قياس تركيز المواد الكيميائية تحت التحليل، وستساعد هذه التقنية في قياس تركيز المواد الحيوية في

الجسم عند عمل التحاليل لاكتشاف التغيرات الفسيولوجية والتركيبية المصاحبة للأمراض، كما هو الحال في قياس مستوى الجلوكوز.

- كما أكد باحثون بجامعة «بنسلفانيا» الأميركية في دراسة أجريت على حيوانات التجارب نجاحهم في التوصل إلى تقنية تعتمد على استخدام فقاعات بحجم النانو (Nano-Bubbles) تحتوي على جزيئات من الدهون يطلق عليها اسم (ceramide-6) تستهدف خلايا سرطان الكبد بدقة عالية من دون التأثير على الخلايا السليمة، كما يمكنها أيضًا استهداف الأوعية الدموية الدقيقة المغذية للورم، مما يؤدي إلى ضمور الورم كليًّا أو جزئيًّا.

وأكد الباحثون عزمهم على تجربة التقنية الجديدة باستخدام الفقاعات النانوية، التي أطلقوا عليها اسم «Cerasomes» كبديل للعلاجات الكيميائية شائعة الاستخدام حاليًا لمعالجة سرطان الخلايا الكبدية في الإنسان[1].

ومما لاشك فيه أنه كلما كان اكتشاف الخلايا السرطانية سريعًا كلما كانت نسبة الشفاء عالية، وتقنية النانو استطاعت

(1) جريدة الشرق الأوسط؛ تقنيات حديثة.. في تشخيص وعلاج سرطان الكبد: د.مدحت خليل، الجمعة 4 شوال 1432 هـ، 2 سبتمبر 2011 م، العدد 11966.

أن تقدم آلية نستطيع من خلالها الكشف المبكر عن الأورام السرطانية، والباحثون من أسبانيا يتحدثون عن طريقة جديدة يستخدمها الأطباء في الكشف عن خلايا السرطان بسرعة وخاصة سرطان الثدي، كما تقول (لورا ليشاغا) مديرة المركز القومي للإلكترونيات الدقيقة بأسبانيا، وقد تم نشر هذه الدراسة في العام 2005م[1].

ثانيًا: مكافحة السرطان عن طريق استهداف الجينات المسببة له:

في إطار البحث الدائم عن سبل فعالة لمقاومة وعلاج السرطان بعيدًا عن العقاقير الكيميائية، استطاع باحثون في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا في باسادينا، تطوير أسلوب جديد عبر توظيف تكنولوجيا النانو لتعقب الخلايا السرطانية، ويقوم في الوقت نفسه بوقف عمل جين محدد يساهم في نمو تلك الخلايا[2].

---

(1) جريدة الشرق الأوسط جزء من هذه الدراسة في العدد الصادر يوم الخميس 14 رجب 1426 هـ الموافق 18 أغسطس 2005 م، العدد رقم (9760).

(2) Fahy GM. Molecular nanotechnology and its possible pharmaceutical implications. In: Bezold C, Halperin JA, Eng JL ,eds. 2020 visions:Health care information standards and technologies. Rockville, Md.: U.S. Pharmacopeial Convention; 1993

فقد طور الباحثون جسيمات نانوية بإمكانها التحرك في دم المريض والوصول إلى الأورام، حيث تطلق علاجًا يوقف عمل جين مهم يساعد على نمو السرطان، واستخدم فريق الباحثين تقنية النانو لتصنيع جسيمات آلية صغيرة جدًّا من مركب البوليمر الكيميائي مغطاة ببروتين يسمى ترانسفيرين تبحث عن مستقبل أو مدخل جزيئي في أنواع كثيرة مختلفة من الأورام. وقال مارك ديفيز أستاذ الهندسة الكيميائية، الذي قاد الدراسة ومستشار شركة كالاندو الخاصة للمستحضرات الدوائية، التي تطور العلاج: هذه أول دراسة تتمكن من الوصول إلى هذا الحد وتظهر كيف تعمل آليتها، وتستعرض النتائج التي نشرتها دورية «نيتشر» أدلة مبكرة على أن النهج الجديد في العلاج الذي يسمى تدخل الحمض النووي الريبي (RNA)، قد ينجح مع البشر، والحمض النووي الريبي موصل كيميائي تبين أنه لاعب أساسي في عملية تطور المرض وبموجب العلاج الجديد متى ما تجد الجسيمات الخلية السرطانية، وتدخل إليها تتحلل لتخرج الحمض الريبي التدخلي، الذي يوقف عمل جني ينتج بروتينًا يساعد على نمو السرطان، إلا أن وصول العلاج للهدف الصحيح في الجسم يمثل تحديًا، يشار إلى أن عشرات الشركات المتخصصة في التكنولوجيا الحيوية والدوائية من بينها مرك وفايزر ونوفارتس وروش تبحث عن سبل التلاعب بالحمض النووي الريبي، ليوقف عمل الجينات التي

تنتج البروتينات المسببة للأمراض، والتي تسهم في الإصابة بالسرطان أو العمى أو مرض نقص المناعة المكتسبة (الإيدز).

وقد نشرت بعض الأبحاث التي أثبتت ارتباط بعض الجينات بزيادة فرص الإصابة بالسرطان، آخرها الدراسة التي كشفت عن وجود تغيرات جينية يسهم حدوثها في رفع أخطار الإصابة بسرطان الرئة لدى غير المدخنين، فبينما يعد التدخين السبب الأول لسرطان الرئة، إذ ترتفع أخطار إصابة المدخنين بهذا النوع من السرطان بأكثر من 20 مرة مقارنة بغير المدخنين، وفي المقابل فإن 15% من الرجال و 53% من النساء الذين يصابون بسرطان الرئة هم من غير المدخنين، أي أن 25% من حالات سرطان الرئة في العالم تظهر لدى غير المدخنين، إلا أن العامل الجيني أيضًا قد يقف وراء الإصابة بهذا النوع من السرطان حتى لدى غير المدخنين، وكانت دراسات عديدة قد أجريت على الخريطة الجينية للإنسان أثبتت حدوث تغييرات جينية يمكن أن يكون لها أثر متوسط على الإصابة بسرطان الرئة، إلا أن أيًّا من هذه الدراسات لم تخصص لغير المدخنين[1].

(1) Merkle RC. Nanotechnology and medicine. In:Klatz R, Kovarik FA, Goldman B, eds. Advances in anti–aging medicine. Vol. 1. Larchmont, N.Y.: Mary Ann

Liebert; 2009: 277–86. Available at: www. zyvex. com/nanotech/ nanotech And Medicine.

ثالثًا: نانو الذهب: العلاج الضوء- حراري:

اكتشف العلماء أن الذهب على مستوى النانو يتمتع ببعض الخواص العلاجية وخاصة علاج السرطان، وتشير الدراسات أن جزيئات الذهب في حجم النانو يكون لها القدرة على امتصاص الضوء وتحويله إلى طاقة حرارية، وقد تم الاستفادة من هذه الخاصية في علاج السرطان؛ من خلال حقن الورم بجزيئات نانو الذهب والتي توضع داخل جزيئات خاصة تمكنه من دخول الخلايا السرطانية فقط دون الخلايا السليمة، وبعد ذلك تسلط على الورم كمية معينة من الضوء، فتمتصه جزيئات الذهب وتحوله إلى حرارة، تكون كافية لقتل وتدمير الخلايا السرطانية دون الإضرار بالخلايا السليمة[1].

ويستخدم نانو الذهب كذلك في عملية تشخيص السرطان، حيث يتغير لونه باختلاف حجم الجزيئات الخاصة به، ومن الملاحظ أن جزيئات الذهب في مستوى النانو يعطي اللون الأحمر، والجزيئات الأقل حجمًا تعطي اللون الأصفر، بينما الجزيئات الصغيرة جدًّا تعطي اللون الأخضر. وقد تمكن الباحثون من

(1) Shi X, Wang S, Meshinchi S, Van Antwerp ME, Bi X, Lee I, Baker JR Jr. (2007). «Dendrimer–entrapped gold nanoparticles as a platform for cancer–cell targeting and imaging». Small 3 (7): 1245–1252. doi:10.1002/smll.200700054. PMID 17523182.

من الاستفادة من هذه الخاصية في عملية التشخيص، فعند وضع هذه الجزيئات في محلول به خلايا نجد أن الجزيئات الحمراء تلتصق بسطح الخلية من الخارج؛ لأن حجمها الكبير يجعلها عاجزة عن المرور إلى داخل الخلية، أما الجزيئات الصفراء فتعبر الغشاء الخلوي وتبقى في السيتوبلازم، بينما الجزيئات الخضراء الأصغر حجمًا ستدخل أجزاء الخلية، وبهذا يمكن صبغ الخلية بألوان مختلفة، وتساعد في عملية التشخيص المعملي[1].

وقد أجرى الباحثون بجامعة رايس بحثًا تحت إشراف البروفيسور «جينيفر ويت» حول استخدام قشور نانوية مقياسها 120 نانومتر ومطلية بالذهب لقتل الأورام السرطانية بالفئران. ويكون الهدف من استخدام تلك القشور النانوية الارتباط بالخلايا السرطانية من خلال توحيد وربط الأجسام المضادة أو الببتيد بسطح القشرة النانوية. وينتج عن تعريض تلك المنطقة المصابة بالورم السرطاني إلى الأشعة باستخدام أشعة الليزر تحت الحمراء، والتي تخترق اللحم بدون تسخينه، تسخين الذهب بدرجةٍ كافيةٍ ليسبب موت الخلايا السرطانية[2].

(1) Loo C, Lin A, Hirsch L, Lee MH, Barton J, Halas N, West J, Drezek R. (2004). «Nanoshell–enabled photonics–based imaging and therapy of cancer». Technol Cancer Res Treat. 3 (1): 33–40. PMID 14750891.

(2) المرجع السابق.

وفي إطار الجهود المبذولة للبحث عن وسائل حديثة للتشخيص المبكر لسرطان الكبد بأنواعه المختلفة، أكد باحثون بجامعة «براون» الأميركية في دراسة نشرت خلال شهر يونيو (حزيران) الماضي، في مجلة الجمعية الأميركية للكيمياء، نجاحهم في استخدام تقنية جديدة تعتمد على جسيمات الذهب بحجم النانو (النانو هو جزء واحد من المليار) Nano-Gold particles مغلفة بمواد بوليمرية (Polymers) يمكن حقنها بالجسم لتمكن أجهزة الأشعة المقطعية أو الرنين المغناطيسي من تشخيص أورام الكبد بحجم دقيق جدًّا يصل إلى 5 ملليمترات، مقارنة بالتقنيات المستخدمة حاليًا والتي تستطيع تشخيص أورام الكبد فقط عندما يزداد حجمها على 5 سنتيمترات[1].

وحديثًا، قام Peter J. Sadler وشركاؤه في العمل في جامعتي ويرويك و أدنبرا وكذلك في مستشفى نينويل في دندي، بتطوير مركب بلاتيني جديد مناسب لهذه الطريقة. وأفاد الباحثون البريطانيون في مجلة Angewandte Chemie، أن الدواء الجديد أظهر نتائج فائقة بالمقارنة مع السسبلاتين (cisplatin).

(1) جريدة الشرق الأوسط؛ تقنيات حديثة.. في تشخيص وعلاج سرطان الكبد: د. مدحت خليل، العدد 11966، مرجع سابق.

أثبتت مركبات البلاتين على أنها مستحضرات مضادة للأورام السرطانية. ومن أبرز المركبات البلاتينية مركب السيسبلاتين. ولكن أدوية البلاتين لها تأثيرات جانبية. ويأمل Sadler وآخرون أن هذه الآثار الجانبية يمكن أن تقلل باستخدام أدوية التنشيط الضوئي. وللحصول على دواء بآثار جانبية أقل طوروا مركبًا بلاتينيًّا جديدًا يحتوي على مجموعتين من (N3) azido، ومجموعتي هيدروكسيل (OH)، ومركبين بيريدين (pyridine). في صورته غير النشطة، فإن المركب يظهر الاستقرار المطلوب، حتى في الجزيئات البيولوجية النشطة.

يقول Sadler «نحن نأمل أن مركبات البلاتين المنشطة ضوئيًّا أن تكون علاجًا محتملًا للسرطان الذي لم يتأثر بالعلاج الكيميائي مع مركبات البلاتين». «الأورام السرطانية التي طورت مقاومة ضد أدوية البلاتين، يمكن أن تستجيب لهذه المركبات الجديدة»[1].

رابعًا: نانو طبي للتخلص من السرطان:

لقد استطاع علماء من مركز السرطان (ميموريان كيتيرنج) الأمريكي من التوصل إلى تطوير ذرات مجهرية ذكية تخترق

(1) Peter J. Sadler, A Potent Trans–Diimine Platinum Anticancer Complex Photoactivated by Visible Light, Angewandte Chemie International Edition, http://dx.doi.org/ … ie.201003399.

الخلايا السرطانية، وتقضي عليها من الداخل، واستطاع العلماء بقيادة (ديفيد شينبيرج) من استخدامها في القضاء على الخلايا السرطانية في فئران المختبرات، وعمل العلماء على تجهيز ذرات مشعة من مادة (أكتينيوم 225) ترتبط بنوع من الأجسام المضادة، ونجحت هذه الذرات في اختراق الخلايا السرطانية، ومن ثمَّ الفتك بها والقضاء عليها، واستطاعت الفئران المصابة بالسرطان أن تعيش 300 يوم بعد هذا العلاج، في حين لم تعِش الفئران التي لم تتلقَّ العلاج أكثر من 43 يومًا، وتوجد في كل (ذرة) خلية (ألفا) ذات عناصر إشعاعية قادرة على إطلاق ثلاثة جزيئات، وكل جزيء من هذه الجزيئات تطلق ذرة ذات طاقة عالية؛ لذلك فإن وجودها داخل الخلية السرطانية يقلص من احتمال قيام ذرات (ألفا) بقتل الخلايا السليمة. وقد تم تجريب الطريقة على خلايا مستنبَتة مختبريًّا من مختلف الأنواع السرطانية التي تصيب الإنسان، مثل أورام الثدي والبروستاتا، وسوف يتم تجربة الطريقة أولًا في مكافحة سرطان الدم بعد أن تأكد العلماء أن التجارب على الفئران سارت دون ظهور أعراض جانبية.

والفرق بينه وبين الأجسام المضادة العادية أن الأخيرة ترتبط في جسم الإنسان بنوع واحد فقط من البروتينات ولم

تستطع إثبات قدرتها في معظم حالات السرطان المختلفة بينما يستطيع هذا الجهاز الصغير الارتباط بأكثر من 12 نوعًا من البروتينات في نفس اللحظة ومن ثم يستطيع تحديد تركيز أنواع مختلفة من الجزيئات في نفس الوقت وبعد تحديد التركيز يقوم المعالج في هذا الجهاز بمقارنة هذه البروتينات بالبيانات المخزنة عليه، فإذا وجد تطابقًا فيقوم بإفراز السم، والذي بدوره يقوم بتدمير هذه الخلايا.

خامسًا: إيصال الدواء بتقنية النانو لعلاج السرطان:

تحمل تطبيقات تقنية النانو آمالًا كبيرة لتحسين طرق إيصال الدواء بشكل عام، وعلى وجه الخصوص في حالة أمراض السرطان (Cancer)، حيث ساهمت هذه التقنية في التمكن من قتل الخلايا السرطانية دون التأثير على الخلايا السليمة المجاورة لها.

من المعلوم أن من التحديات الأساسية في تشخيص وعلاج الأورام السرطانية في الوقت الحالي القدرة على تعيين حدود المنطقة المصابة، وإيصال العلاج لها، ولذا فإن طريقة إيصال العلاج المستهدفة (Targetted Drug Delivery) ستساهم في التغلب على هذه العوائق والتخفيف من الآثار الجانبية الخطيرة للعلاج الكيميائي. وينصب اهتمام الباحثين على حصول

الأنسجة من الناحية البيولوجية على الدواء الذي تحتاجه في حالة المرض. والمراد من الحصول البيولوجي، مقدار تواجد الجزيئات الخاصة من الدواء في الأنسجة المريضة، وفي أي جزء من هذه الأنسجة يكون الدواء أكثر فاعلية. وتشير الأبحاث القائمة في مجال استخدام تقنيات النانو في طرق إيصال العلاج إلى منطقة الأورام السرطانية سيكون لها دور كبير في التأثير على طرق العلاج القائمة حاليًا وتحسينها[1].

سادسًا: المساعدة في جراحة الأورام:

وباستخدام جزيئات النانو كعوامل للتباين (كبديل عن الصبغة) نحصل على صور بالرنين المغناطيسي والأشعة فوق الصوتية ذات تباين وتوزيع أفضل، بل إن جزيئات النانو المضيئة تستطيع أن تساعد الجراح في أثناء العملية الجراحية في التعرف على مكان الورم، ومن ثم تجعل من عملية استئصاله أمرًا أكثر سهولة[2].

هذا بالإضافة إلى اختراع جون كانزيزس لآلة ترددات لاسلكية التي تستخدم مزيجًا من الموجات اللاسلكية وجسيمات

(1) Sahoo SK, Labhasetwar V. Nanotech approaches to drug delivery and imaging. Drug Discov Today. 2003; 8(24):111220.

(2) مجلة الشرق الأوسط، العدد رقم (9760)، مرجع سابق.

الكربون أو الذهب النانوية لتدمير الخلايا السرطانية. تتوهج الجسيمات النانوية لسيلينيد الكاديوم cadmium selenide (نقاط كمومية quantum dots) عندما تتعرض لإضاءة فوق بنفسجية. حيث تتسرب وتسيل إلى داخل الأورام السرطانية عندما يتم حقنها. ومن ثم يستطيع الجراح رؤية الورم المتوهج، ويستخدم ذلك التوهج كمرشدٍ له لإزالة الورم بدقةٍ أكبر[1].

سابعًا: رصد خلايا السرطان واكتشافها بدقة متناهية:

جهاز الكانتيلفير cantilever هو جهاز دقيق جدًّا بمقياس النانو، حيث تقارب أبعاده أبعاد كرية الدم البيضاء، وهو أحد أجهزة النانو المستقبلية، التي تستطيع رصد واكتشاف الخلايا المصابة بالسرطان، وذلك من خلال انحناء نتوءاتها الدقيقة. وأجهزة النانو كانتيلفير يمكن تصميمها هندسيًّا بشكل خاص يمكنها من الارتباط بالخلايا التي تشير تغيراتها إلى الإصابة بأنواع مختلفة من أمراض السرطان، وتتميز هذه الأجهزة بقدرتها الفائقة على تشخيص خلايا السرطان في مراحلها المبكرة، وذلك بدقة تصل إلى حد اكتشاف خلية سرطانية

(1) Shi X, Wang S, Meshinchi S, Van Antwerp ME, Bi X, Lee I, Baker JR Jr. (2007). «Dendrimer–entrapped gold nanoparticles as a platform for cancer–cell targeting and imaging». Small 3 (7): 1245–1252. doi:10.1002/smll.200700054. PMID 17523182.

واحدة، والجدير بالذكر أن هذه الأجهزة ما زالت في مراحل تطويرها الأولى، وهي من تطبيقات تقنية النانو المتقدمة جدًّا، والتي ما زالت في حاجة لمزيد من البحث والدراسة[1].

ثامنًا: تقنية النانو تغير الفلسفة العلاجية للسرطان:

جاءت فكرة العلاج المناعي للسرطان على ضوء نظرية نشوء السرطان بفعل الجهاز المناعي (Cancer Immunoediting). تفترض هذه النظرية أن نشوء السرطان يمر بثلاث مراحل، يلعب فيها الجهاز المناعي دورًا محوريًّا يؤدي في النهاية إلى تمكن السرطان من الجسم.

المرحلة الأولى تسمى مرحلة الإبادة (Elimination) ويكون فيها الجهاز المناعي قادرًا على أن يتعرف على خلايا السرطان، ويميزها من خلايا الجسم الطبيعية، فيقوم بالقضاء عليها.

إلا أن السرطان يبدأ في التكيف مع هذا الهجوم، ويحاول أن لا يخسر المعركة أمام الجهاز المناعي، فيغير من خواصه

(1) Zheng G, Patolsky F, Cui Y, Wang WU, Lieber CM. (2005). «Multiplexed electrical detection of cancer markers with nanowire sensor arrays». Nat Biotechnol. 23 (10): 1294–1301. doi:10.1038/nbt1138. PMID 16170313.

الداخلية بحيث يزيل أسباب تعرف الجهاز المناعي عليه، ويساعده في ذلك عدم انضباط أنظمته الجينية، وتبدأ من هنا المرحلة الثانية التي تسمى مرحلة الاتزان (Equilibrium).

والتي قد تمتد لفترة قد تصل أحيانًا إلى عشرين سنة يكون فيها السرطان في حالة اتزان أو هدنة مع الجهاز المناعي، وخلال هذه المدة يقضي الجهاز المناعي على خلايا السرطان إلا تلك الخلايا السرطانية التي استطاعت أن تحمي نفسها من الجهاز المناعي، فتدخل بعد ذلك في مرحلة الهروب (Escape).

وهي المرحلة الثالثة وفيها يتغلب السرطان على الجهاز المناعي بأن يكون قد طور إمكانياته للتخفي عنه، بل ويقوم تثبيط قدرته على مكافحته، فينمو السرطان في هذه البيئة إلى أن يصل لدرجة التشخيص. وقد دعمت الأبحاث المخبرية والدراسات الإكلينيكية هذه النظرية، لتصبح مع مطلع القرن الحادي والعشرين أساسًا في فهم آلية نشوء السرطان وتصميم الإستراتيجيات العلاجية لمكافحته.

ينقسم العلاج المناعي للسرطان إلى فرعين رئيسين:

1. العلاج التكميلي (Passive immunotherapy).
2. العلاج التحفيزي (Active immunotherapy).

فأما النوع الأول فيقوم على إعطاء المريض مكونات مناعية نشطة، لتتعرف على السرطان وتقضي عليه، كالأجسام المضادة على سبيل المثال.

ولكن هذا النوع من المعالجة باهظ التكلفة، وعيبه الرئيس هو قصر عمر هذه المكونات المناعية، مما يتطلب استمرارية في تزويد المريض بهذه المواد، وهذا أمر شديد العسر والخطورة، بل ومن المحتمل أن يفقد العلاج فاعليته مع الوقت[1].

أما النوع الثاني (العلاج التحفيزي) فقائم على تحفيز الجهاز المناعي المثبط أصلًا في المريض وإعادة تأهيله لمكافحة السرطان والقضاء عليه.

ومن مميزات هذا الأسلوب في العلاج تمكين الجهاز المناعي من التصدي للسرطان على عدة جبهات وبمختلف الأوجه، مما يحقق فاعلية أكبر من الحال مع العلاج التكميلي الآنف الذكر[2]. ويدعى هذا العلاج التحفيزي بلقاحات السرطان، وسميت بذلك

(1) Casadevall, A. (1999). Passive antibody therapies: Progress and continuing challenges. Clin Immunol, 93(1), 5–15.

(2) Neeson, P., & Paterson, Y. (2006). Effects of the tumor microenvironment on the efficacy of tumor immunotherapy. Immunol Invest, 35(3–4), 359–394.

لأنها الإستراتيجية نفسها التي قامت عليها اللقاحات المعروفة لتحفيز المناعة بغرض الوقاية من الأمراض. ولكن في لقاحات السرطان الهدف هو العلاج لا الوقاية، لذا فإن هذا النوع من اللقاحات يحفز الجهاز المناعي في جسم المريض المصاب بالسرطان، ولا تعطى للشخص السليم، أي أنها لقاحات تعيد تأهيل الجهاز المناعي للقضاء على السرطان.

ومما يرغب كذلك في استخدام هذه اللقاحات على الطرق التقليدية لعلاج السرطان هو دقتها في الأداء وقلة الآثار الجانبية المترتبة عليها، وكذلك إمكانية استمرارية مفعولها، لأنها بتحفيزها للجهاز المناعي تمكنه من تكوين خلايا مناعية ذاكرة، تظل متيقظة لنشوء السرطان فتقضي عليه قبل تفاقمه.

أنواع اللقاحات للسرطان:

النوع الأول لقاح خلوي، أي أنه يعتمد في مبدئه على إعطاء المريض خلايا تعمل عمل اللقاح، كأن تكون خلايا سرطانية معدلة، بحيث تعمل على تحفيز الجهاز المناعي، أو نوعًا منشطًا من الخلايا المناعية تدعى الخلايا المتغصنة (Dendritic Cells) تقوم بدورها بتحفيز جهاز المناعة ضد

السرطان، أو أن يعطى المريض خلايا أخرى معدلة وراثيًّا تفرز مواد تحفز الجهاز المناعي وتقاوم السرطان[1].

وبالرغم من النتائج الأولية الإيجابية لمثل هذه الأساليب، إلا أنه من الصعب تطبيقها على المرضى في المستشفيات، لذلك لم تنجح كأسلوب علاج، ولكنها نجحت في إثبات مبدأ فاعلية اللقاح.

أما النوع الثاني من لقاحات السرطان فهو المبني على إعطاء المريض أجزاء مستخلصة من الخلية السرطانية كبروتينات السرطان أو أحماضه الأمينية[2]. ولكن هذا النوع فشل في تحفيز الجهاز المناعي في المرضى بالصورة المرجوة.

وأما النوع الثالث فمبني على حقن المريض بفيروسات تحمل جينات السرطان على غرار الفيروسات المستخدمة في اللقاحات العادية للوقاية، إلا أن خطورة هذا الأسلوب على الجسم أدت إلى الحد من تداوله، كما أنه اتضح أن الاستخدام المتكرر

(1) Kowalczyk, D. W., Wysocki, P. J., & Mackiewicz, A. (2003). Cancer immunotherapy using cells modified with cytokine genes. Acta Biochim Pol, 50(3), 613–624.

(2) Albert, M. L., Sauter, B., & Bhardwaj, N. (1998). Dendritic cells acquire antigen from apoptotic cells and induce class i–restricted ctls. Nature, 392(6671), 86–89.

لهذه الحوامل الفيروسية ينتج ردة فعل من الجهاز المناعي ضدها باعتبارها جسما غريبًا، فتقل فاعليتها في العلاج[1].

وأما النوع الأخير فهو لقاحات السرطان المحمولة في جسيمات النانو. ويعد هذا النوع آخر ما توصل له العلم من أساليب لتطوير لقاحات السرطان العلاجية المحفزة لمناعة المريض. ومن المستحسن أن نعطي نبذة عن الفكرة التي تقوم عليها هذه اللقاحات ثم نرى كيف تدخلت تقنية النانو لتحقيقها.

هذه اللقاحات في أصلها هي أجزاء من بروتينات ينتجها السرطان يمكن للجهاز المناعي التعرف عليها، إلا أن استخدامها بهذا الشكل لم ينجح في استثارة الجهاز المناعي، وهذا يعود لعدة أسباب:

أولًا: لأن خواص السرطان المثبطة لقدرة الجهاز المناعي تحول دون استفادة خلايا المناعة من اللقاح في شكله الأصلي.

وثانيًا: لأن هذه البروتينات سريعة التكسر والعطب داخل الجسم إن أعطيت بشكلها الطبيعي.

(1) Razzaque, A., Dye, E., & Puri, R. K. (2000). Characterization of tumor vaccines during product development. Vaccine, 19(6), 644–647.

لذلك اتبع العلماء إستراتيجية لعمل اللقاح بطريقة تحميه من العطب السريع في الجسم وتكسر حلقة التثبيط الذي يضعها السرطان على الجهاز المناعي. وتتلخص هذه الإستراتيجية بأن تجمع البروتينات السرطانية مع مواد جرثومية محفزة للجهاز المناعي، وتحمل جميعًا على جسيمات تلتقطها الخلايا المتغصنة دون غيرها. وبما أن وظيفة الخلايا المتغصنة أصلًا هو التعرف على الجراثيم والتقاطها وتقديمها للخلايا الفعالة في الجهاز المناعي، فإنها ستقوم بالشيء نفسه مع هذه الجسيمات، فتتعرف عليها كما تتعرف على البكتيريا تمامًا، وتلتقطها وتستخلص ما بها من مكونات، وتقدمها لخلايا T المناعية بنوعيها المساعدة (CD4+) والقاتلة (CD8+)، فيعاد تنشيطها وتتعرف بدورها على السرطان وتبدأ بمهاجمته[1].

وحيث إن الخلايا المستهدفة بهذا اللقاح هي الخلايا المتغصنة، فإنه من الحكمة أن نمكن هذه الخلايا وحدها من التقاط اللقاح دون غيرها من خلايا الجسم. وما يميز الخلايا المتغصنة عن بقية خلايا الجسم هو قدرتها الفائقة في ابتلاع الميكروبات وتحليلها وتقديم مكوناتها للجهاز المناعي،

(1) O'Hagan, D. T., & Valiante, N. M. (2003). Recent advances in the discovery and delivery of vaccine adjuvants. Nat Rev Drug Discov, 2(9), 727–735.

ولهذا الغرض استخدمت تقنية النانو في تصنيع جسيمات حاملة لبروتينات السرطان والمركبات الجرثومية المحفزة للمناعة، هذه الجسيمات عبارة عن كريات متناهية في الصغر (Nanoparticles) تصنع من بوليمرات طبيعية مثل (Albumin) أو صناعية مثل (PLGA) ويتراوح حجم أحدها بين 200 إلى 500 نانوميتر، أي أنها في حجم البكتيريا، لذا تتعرف عليها الخلايا المتغصنة، وتلتقطها دون غيرها من خلايا الجسم، وتتعامل معها كما تتعامل مع البكتيريا تمامًا، فتستخلص البروتينات السرطانية الموجودة بداخلها لتحفز الجهاز المناعي، ولكن هذه المرة ضد السرطان.

وقد أثبتت الدراسات المخبرية أن الخلايا المتغصنة تلتقط لقاح السرطان حين يوضع في جسيمات النانو تلك 1000 مرة أكثر مما لو أعطيت اللقاحات دون هذه الجسيمات. كما أن هذه الجسيمات تحمي بروتينات السرطان من العطب داخل الجسم، وأدى هذا إلى امتداد مفعول اللقاح أكثر مما لو أعطي دون جسيمات النانو، ولهذا الأثر فائدة تطبيقية كبيرة، لأنه يقلل من عدد جرعات العلاج المعطاة ويباعد بينها، وهذا الأمر ولا شك يخفف المشقة على المرضى وعلى المستشفى آن واحد.

وحري بالذكر أن لقاح السرطان المثالي يجب أن يستوعب حمل عدة مواد محفزة للجهاز المناعي، التي قد تتفاوت في خواصها الكيميائية والفيزيائية مما يعسر المهمة في وضعها جميعًا في حامل واحد. وقد أفاد العلماء من تقنية النانو فأنتجوا مواد قادرة على حمل هذه المحفزات في الجسيمات نفسها الحاملة لبروتينات السرطان. وهذه المواد المحفزة هي أصلًا مركبات مشتقة من الجراثيم مثل أجزاء من جدار البكتيريا أو بروتيناتها أو أحماضها النووية، وتدعى جميعًا بالطراز الجزيئي الجرثومي (Pathogen-Associated Molecular Pattern)، إلا أن هذه المواد الجرثومية معالجة كيميائيًّا لتخفيف آثارها الضارة على الجسم مع الحفاظ على قدرتها المنشطة للجهاز المناعي. فتحمل هذه المواد المحفزة مع لقاح السرطان على جسيمات النانو، وحين تلتقطها الخلايا المتغصنة تقوم بالتعرف عليها كما تتعرف على الجراثيم، وذلك لأن المواد المحفزة مواد جرثومية أصلًا، فتظن الخلايا المتغصنة أنها التقطت جرثومة، وذلك لأن المواد الجرثومية ترتبط بمستقبلات على غشاء الخلايا المتغصنة تدعى بمستقبلات تمييز الطراز (Pattern-Recognition Receptors) التي تؤدي عند استثارتها إلى تنشيط الخلايا المتغصنة، فتزيد من تحفيزها للخلايا القاتلة للسرطان (CD8).

وهكذا مكنتنا جسيمات النانو من عمل لقاحات أتت بنتائج إيجابية في الدراسات المخبرية. واليوم تخوض العديد من هذه اللقاحات مرحلة التجارب الإكلينيكية المتقدمة، ويوشك بعضها أن يرى النور قريبًا.

ولأن السرطان يقاوم الجهاز المناعي من خلال تثبيط نشاط الخلايا المتغصنة، فكر العلماء بتحميل جسيمات النانو مواد تقاوم تأثير السرطان المثبط على الخلايا المتغصنة، وتعيد بذلك نشاط الخلايا المتغصنة. وكمثال على ذلك اكتشف مؤخرًا بروتين يمد السرطان بخواصه المثبطة للجهاز المناعي يدعى (STAT3).يقوم هذا البروتين بتصنيع مواد يفرزها السرطان في محيطه، فتؤثر على الخلايا المجاورة له، ومنها الخلايا المتغصنة، وتزيد من إنتاج مادة (STAT3)بداخلها. وحين ترتفع نسبة (STAT3) داخل الخلايا المتغصنة، فإنها تثبط عن أداء دورها، بل تصبح مساهمة في شل حركة الجهاز المناعي تجاه السرطان.

وقد توصل العلم إلى استحداث مواد من شأنها تثبيط بروتين (STAT3) داخل الخلايا المتغصنة وتعيد بذلك كفاءتها المناعية. ومن الأمثلة الحديثة لمثل هذه المواد مادة تتألف من شريط قصير من الحمض النووي الريبوزي يسمى (siRNA).

يعمل هذا الحمض على منع إنتاج أي بروتين يوجه ضده. فهنا على سبيل المثال نريد أن نمنع تكوين بروتين (STAT3) داخل الخلايا المتغصنة، فإننا نضيف إلى لقاحات السرطان الآنفة الذكر هذا الحمض النووي، ونختار النوع الذي يثبط تكوين هذا البروتين الضار بالذات. وباستخدام تقنية النانو نصنع هذه التوليفة التي تؤدي إلى رفع الكفاءة العلاجية للقاحات السرطان[1].

ولتنفيذ هذه الفكرة تطلب الأمر تضافرًا لعدة مجالات بحثية كعلم المناعة وعلم الأحياء الجزيئي وعلم كيمياء البوليمرات وعلم الصيدلانيات، لتساهم جميعًا في إيجاد هذا المنتج الفعال. ووجد الباحثون في تقنية النانو أملًا لتجاوز هذه العقبات، وإمكانية للوصول إلى لقاح علاجي فعال.

(1) Hamdy, S., Alshamsan, A., Samuel, J. Nanotechnology for Cancer Vaccine Delivery. In Nanotechnology in Drug Delivery, de Villiers, M. M.; Aramwit, P.; Kwon, G. S., Eds. Springer New York: 2009; Vol. Volume X, pp 519–543.

المبحث الخامس

تطبيقات النانو في طب وجراحة العين والأذن

العلماء الأوروبيون يعملون على مشروعين لاستعادة قدرات الأذن والعين بالاستعانة بتكنولوجيا النانو، وذلك في إطار مشروع نانوإير، ودريمز.

وفي فرنسا يعمل الباحثون على العين، لتوفير علاج يصحح البصر بمساعدة النانو تكنولوجي (**شكل 24**)، حيث يجري العمل على قرنية اصطناعية، في إطار البرنامج الأوروبي (دريمز)، وفي المختبر التابع لمعهد الأبحاث العلمية في باريس يتم التركيز على معدات بحجم النانو، التي تنقل معلومات كهربائية إلى القرنية. وعندما تغطى هذه الشرائح بعناصر نانو مصنوعة من الماس الاصطناعي، يتم زرعها في العين المصابة وبفضلها يستعيد المريض جزءًا من قدراته البصرية.

شبكية العين الصناعية:

بعض العلماء من جامعة بنسلفانيا (عامر زغلول و kwabena boahen) اقترحوا شبكية من السليكون قادرة على

إحداث إشارات إلى العصب العيني، التي من ثم تكون رؤية عند الكفيف. ويمكن زرعها بسهولة داخل العين، ويتم ربطها مع النهايات العصبية قبل التشابك العصبي وبعده. كما يمكنها فلترة معظم البيانات غير المرغوبة التي قد تؤثر على الصورة.

وهذه ليست التجربة الوحيدة، حيث تم زرع شبكية مكونة من 50 اليكترود، وهو نظام مكون من نظارة يلبسها الشخص، وتحتوي على كاميرا موصلة بجهاز يحتوي على معالج صغير بجانب إمكانية بث الصور لاسلكيًّا إلى الشبكية المزروعة.

وفي مجال البصريات، تم صنع نظارات شمس مغطاة بطبقة من البوليمير المانع للانعكاس والخدش (**شكل 25**) معتمدًا على تقنية النانو.

كذلك تستعمل الأغشية النانوية الرقيقة في تغشية العدسات العينية، وذلك لجعلها أقل جذبًا للجراثيم، وأقل قابلية للخدش، كما تستعمل في تغشية مرايا السيارات وزجاج النوافذ، حيث تجعلها أمتن وأقوى وقادرة على المحافظة على نظافتها لمدة أطول.

ليزر أحادي النمط من سلك نانوي مفرد:

بالرغم من أن الليزر يكون بأحجام وأشكال متعددة، إلا أن واحدًا من أكثر تصميمات الليزر حداثة يعد شاذًّا بشكل

خاص، حيث تم صنعه من سلك نانوي مفرد فقط (**شكل 26**). فمن خلال حجم السلك النانوي الصغير، وبساطته، فإن الليزر الناتج يمكن أن يستخدم بوصفه مصدر ضوء متماسك بمقياس نانوي في التطبيقات على الاتصالات البصرية، الاستشعار عن بعد ومعالجة الإشارات.

وقد لاحظ الباحثون الليزر في السلك النانوي المفرد على شكل نقطتين لامعتين من الضوء في كلا الطرفين للسلك النانوي. ووجدوا أنه للأسلاك النانوية التي تم ثنيها إلى حلقات، فإن الحلقات تعمل دور مرايا حلقية، وذلك لا يوفر فقط فجوات مزدوجة لاختيار الوضع، وإنما تزيد أيضًا انعكاسية السلك النانوي، وتقلل بداية عملية إنتاج الليزر. مجتمعة، فإن الانعكاس العالي والبداية المنخفضة ينتج عنهما فجوة ليزرية عالية الجودة في السلك النانوي.

بالإضافة إلى ذلك، فإن التغيير في حجم الحلقات يسمح للباحثين بالتحكم في الطول الموجي لليزر. باستخدام مجسات الألياف، يمكن للباحثين التحكم بسهولة في حجم الحلقات. حيث وجدوا أن التناقص في حجم واحدة من الحلقات يؤدي على تغيير في الطول الموجي من خلال التقليل من المسار الضوئي للفجوة الليزرية.

من هنا، فإن الليزر المنبعث له طول موجي يقارب 738 nm (أعلى قيمة للطيف المرئي). والسلك النانوي المستخدم في إنتاج الليزر له قطر يساوي 200 nm، وطول يتراوح بين 50 و75 µm. وقد جرب الباحثون ثنيه باستخدام مجسات ليفية. على سبيل المثال، قاموا بثني السلك النانوي حتى حصلوا على: حلقات في كلا الطرفين، حلقة في طرف واحد، وبدون حلقات.

ويأمل العلماء في أن ليزر السلك النانوي المفرد، بميزاته من حيث وضع الجودة العالي وعتبة الليزر المنخفضة، يمكن أن يعطي فرصًا لتطبيقات عملية لليزر السلك النانوي[1].

صناعة عدسات أفضل بواسطة فقاعات الجرافين:

من الممكن استخدام فقاعة صغيرة من الجرافين لصناعة عدسة بصرية قابلة لتغيير البعد البؤري، هذا ما يسعى لتحقيقه علماء الفيزياء في بريطانيا، حيث تمكنوا من التحكم بانحناء مثل هذه الفقاعات عن طريق تطبيق جهد خارجي.

فبالاستناد إلى أدوات هذا الاكتشاف يمكننا إيجاد استخدامات لها في أنظمة التكيف البؤري، كمحاولة محاكاة لكيفية عمل العين البشرية.

---

(1) http://www.physorg.com/news/2011-02-scientists-single-mode-laser-nanowire.html.

الجرافين هو عبارة عن صفيحة كربونية بسماكة ذرة واحدة فقط. كما يملك مجموعة واسعة من الخصائص الميكانيكية والإلكترونية الفريدة. فهي من حيث المرونة مرنة جدًّا بحيث يمكن تمديدها بنسبة تصل إلى 20%، وهذا يعني أن فقاعات ذات أشكال متعددة يمكن نفخها من هذه المادة. وهو يتفق مع حقيقة أن الجرافين شفاف للضوء، إلا أنه غير نافذ لمعظم السوائل والغازات، فبإمكاننا صنع مادة مثالية منه لاختراع عدسات بصرية ذات تكيف بؤري.

مثل هذه العدسات تستخدم في كاميرات الهواتف النقالة وكاميرات الويب وفي النظارات الطبية ذات التركيز البؤري، وهذه العدسات تكون مصنوعة عادة من بلورات سائلة شفافة أو سوائل.

من حيث المبدأ بإمكاننا صنع بصريات متكيفة باستخدام طرق أبسط بكثير من تلك المستخدمة في الأجهزة الحالية.

ولقد قام كل من Andre Geim وKonstantin Novoselov الذين اشتركوا عام 2010م في جائزة نوبل لاكتشاف الجرافين، ببناء أجهزة صغيرة تظهر كيف يمكن استخدام الجرافين في النظم البصرية التكيفية.

عندما لا يستطيع الهواء الهروب من تحت الجرافين، فبطبيعة الحال ستتشكل فقاعة مادية، هذه الفقاعات مستقرة بشكل كبير ويتراوح قياسها بين بضع عشرات من النانومتر إلى عشرات من الميكرومتر في القطر.

تبين أن الفقاعات بإمكانها أن تعمل عمل عدسات ذات تكيف بؤري، حيث قام الفريق بصناعة أجهزة ذات أقطاب كهربائية من التيتانيوم والذهب ووصلها بالفقاعات في ترتيب يشبه الترانزستور. بهذه الطريقة تمكن الباحثون من تطبيق جهد كهربائي كبوابة على هذا الإعداد. ثم حصلوا على صور بصرية مجهرية عندما ضبطوا الجهد من الـ 35- فولت إلى 35+ فولت، فكما كان متوقعًا شاهدوا شكل الفقاعات يذهب إلى مزيد من الانحناء والتقوس إلى التسطح نتيجة لتغيير في الجهد.

في الواقع يمكن صنع عدسات عن طريق ملء فقاعات الجرافين بسائل ذي قرينة انكسار عالية، أو كما يقول الباحثون من خلال تغطية هذه الفقاعات بطبقة مسطحة من هذا السائل.

معالجة ضعاف السمع:

وهذا جهاز آخر صنع من أجل معالجة ضعاف السمع، وهو عبارة عن جهاز تتم زراعته في قوقعة الأذن، ويقوم بتحريك

عظمة السندان، مما يؤدي إلى حس العصب السمعي، مما يؤدي إلى السمع، وهذا الجهاز موصول بالخارج بميكروفون ومعالج ميكروي (**شكل 27**).

المبحث السادس

تطبيقات النانو في طب وجراحة الأسنان

تحسن التقنية النانوية من تصنيع المواد الصبغية البديلة للجسم كالمفاصل الاصطناعية والزرعات السنية من خلال تغليف المنتج بجسيمات نانوية ذات تماسك مع العظيم المحيط، وبشكل أكبر من المعتاد، وبذلك يتم تفادي التخلخل لاحقًا، كما أنها أكثر قبولًا حيويًّا. كما أن التطور في الهندسة النانوية الحيوية تسعي إلى تطوير مركب الهيدروكسي أباتيت من أجل التعويض العظمي وإصلاح النقص والتشوهات العظمية.

1. **التطبيقات السنية في مجال التخدير الموضعي:**

يتم حقن ربوتات نانوية ضمن اللثة، وبعد تماسها مع سطح التاج أو اللثة، فإنها تصل إلى اللب السني عن طريق الميزاب اللثوي، الصفيحة القاسية والأنابيب العاجية. عندما تصل هذه الربوتات إلى اللب عندها يمكن للطبيب التحكم بها لإيقاف الحساسية السنية في السن المراد علاجه. وبعد إنهاء المعالجة السنية، يتم إعطاء أمر للربوت لإعادة الإحساس، وإلغاء التحكم

بالسيالة العصبية، ومن ثم الخروج من السن بطريق مشابه للدخول[1].

2. علاج الحساسية السنية:

يمكن أن تنتج عن تغير الضغط الهيدروديناميكي المنتقل إلى اللب، وهذا يعتمد على حقيقة أن الأسنان ذات الحساسية السنية (العاجية) تملك سطحًا أكثر كثافة بالقنيات العاجية بـ 8 مرات وبقطر أكبر بمقدار الضعف من تلك في الأسنان غير الحساسة[2].

وتأتي مهمة الربوتات في القيام بشكل انتقائي ودقيق لإغلاق هذه القنيات بالمشاركة مع مواد حيوية، تقدم للمريض علاجًا سريعًا ودائمًا[3].

---

(1) Baum BJ, Mooney DJ.The impact of tissue engineering on dentistry. JADA, 2000.

(2) Dourda AO ,Moule AJ, Young WG. A morphometric analysis of the cross–sectional area of dentine occupied by dentinal tubules in human third molar teeth. Int Endod J. 2009.

(3) Absi EG, Addy M, Adams D; Dental hypersensitivity:a study of the patency of dental tubules in sensitive and nonsensitive cervical detine.j.clin.periodontol–1987.

3. تحسين المتانة البنيوية والناحية الجمالية:

يتم ذلك من خلال استبدال طبقة الميناء بمادة من الماس أو نوع من الأحجار الكريمة النقي، التي تزيد من مقاومة الانكسار كما هو الحال في النانو كومبوزيت، وفي المواد الحاوية على أنابيب نانوية من الكربون يتم استخدام روبوتات نانوية في مجال المعالجة التقويمية يمكنها أن تؤثر مباشرة على النسج الداعمة، لتسمح بإجراء الحركات السنية بشكل أسرع وبدون ألم خلال دقائق إلى ساعات[1].

4. تسريع علاج عدوى اللثة مع نانوفيبر:

وجد خبراء هندسة الغزل والنسيج في جامعة أصفهان للتكنولوجيا وسيلة لعلاج التهابات اللثة من خلال إنتاج شبكة من نانوفيبر بطريقة إلكترواسبينينج (electrospinning) للإفراج عن الأدوية لعلاج أمراض اللثة.

إن شبكة من نانوفيبر المدروسة في هذا البحث تم الحفاظ على مظهرها لينة ومرنة تمامًا طوال مدة الإفراج عن الأدوية.

---

(1) Buckley MJ, Agarwal S, Gassner R. Tissue engineering and dentistry. Clin Plast Surg 1999;26 (4): 657– 62. [Medline] 4– Cochran DL, Wozney JM.Biological mediators for periodontal regeneration. Periodontol 19. 40.

هذا هو أيضًا سبب لانخفاض درجة حرارة بولي كاپرولاكتون مقارنة مع درجة حرارة الجسم، والتي تمكن شبكة نانوفيبر أن يكون لها شكل مطاطي في 37 درجة مئوية، وهذه الحقيقة يمكن أن تسهل استخدام مثل هذه الشبكات في علاج جيوب اللثة نتيجة لالتهابات اللثة.

فبإمكان المريض أن يذهب إلى الطبيب المختص مرة واحدة فقط لإدخال الجهاز في جيب اللثة، وليس هناك حاجة لإخراج الجهاز في وقت لاحق، وهذا سوف يقلل من التكلفة والوقت، ويزيد من انطباق الجهاز إلى حد كبير.

ووفقا للبحث فإن إطلاق الأدوية الخاضعة للرقابة من شبكه نانوفيبر إلكترواسبون يستمر لمدة 19 حتى 23 يومًا، في حين كانت أطول مدة أعلن عنها في مختلف نظم إطلاق الأدوية المراقبة من هذا العقار لعلاج أمراض اللثة هي 14 يومًا[1].

(1) وقد نشر هذا البحث بالتفصيل في مجلة European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics، المجلد. 75، ص 179–185، 2010. السيدة مائدة زماني، الحاصلة على درجة الماجستير في هندسة الغزل والنسيج.

المبحث السابع

تطبيقات النانو في الجراحة العامة وجراحة الأوعية الدموية

الجسيمات النانوية تتكون من عدد من الذرات، وتشكل ذراع الروبوت الذي يمكن أن يمسك بالذرة، ويحركها من مكان إلى آخر لتكوين مركبات نانوية أخرى. ويمكن استخدام هذه الأجهزة الدقيقة في إيصال الدواء إلى الأجزاء والأعضاء المريضة في الجسم، ومن المتوقع أن يغير هذا الاختراع وجه الطب بعد أن أصبح واقعًا ملموسًا. وقد استطاع العلماء صنع نانوروبوت بحجم 1 ميكرون، حتى يستطيع أن يمر عبر الأوعية الدموية، وهو مصنوع من الكربون نظرًا لصلابته. ويمكن متابعة عمل الروبوت داخل الجسم من خلال الرنين المغناطيسي، وكذلك الأشعة المقطعية، وذلك للتأكد من وصوله إلى العضو المقصود أو النسيج المريض. ومن أمثلة هذه الأنواع:

1. **نانوروبوت للتجول داخل الأوعية الدموية:**

لقد تمكن العلماء والباحثون في جامعة (كارنكي ملون) من إنتاج محرك نانوي يكون في إمكانه التجوال بكل سهولة في الأوعية

الدموية داخل الجسم (**شكل 28**). وهذا الابتكار يعد نقطة عطف مهمة في مجال محركات النانو أو المحركات الدقيقة جدًّا، حيث يمكن توجيهها إلى أنسجة معينة داخل الجسم.

ويمكن ملاحظة عمل الأجهزة النانوية ومتابعتها داخل الجسم باستخدام أشعة الرنين المغناطيسي[1]، خاصةً لو كانت تم تصنيع مكوناتها باستخدام ذرات الكربون (13) 13C atoms بدلًا من نظير الكربون (12) الطبيعي natural 12C isotope of carbon، حيث إنه لا توجد لحظة صفرية مغناطيسية ذرية للكربون (13) 13C. حيث سيتم أولًا حقن الأجهزة النانوية الطبية إلى داخل الجسم البشري، ثم ستذهب إلى محل عملها بعد ذلك داخل عضوٍ محددٍ أو كتلة نسيجٍ معينةٍ. وسيتحكم الطبيب بالتقدم، وسيتأكد أن الجهاز النانوي الطبي قد وصل إلى هدفه ووجهته المحددة بالمنطقة المخصصة للعلاج. كما أن الطبيب سيكون حينئذٍ قادرًا على مسح منطقةٍ كاملةٍ من الجسد، وسيرى في ذلك الوقت الجهاز النانوي وهو ملتف حول هدفه

(1) Freitas RA Jr.Exploratory design in medicalnanotechnology: a mechanical artificial red cell.Artif Cells Blood Substit Immobil Biotechnol 2008;26(4):411–30. Available at:www.foresight.org/Nanomedicine/Respirocytes.html.

(كتلة ورم أو أي شيءٍ آخر)، ومن ثم يستطيع التأكد أن ذلك الإجراء كان موفقًا[1].

نانوروبوت مساعد في العمليات الجراحية:

قامت شركت (كورفس) بصناعة محولات مرئية (روبوت صغير) بحجم النانومتر يُستخدم كمساعد في العمليات الجراحية الخطرة، ويمكن التحكم فيه بواسطة جهاز خاص، مما يساعد في إنجاح العملية بكفاءة وبدقة متناهية، وهي أفضل من الطرق التقليدية، وتقلل من الأخطار كثيرًا.

وتدور الآن مناقشات مستفيضة تشمل طرح سيناريوهات متعددة حول كيفية إدخال تلك الغواصات النانونية النانو روبوت Nanorobots أو النانو بوتس Nanobots إلى داخل الجسم البشري وعن موقف الأجسام المضادة Antibodies منها. هل سيتم طلاؤها Coating بطبقات نانونية السُّمك Nanolayer تتوافق بيولوجيا مع الجسم لضمان عدم مقاومته لها؟ وما نوع وسمك تلك الطبقات المُقترح استخدامها؟، هل ستقوم تلك الروبوتات النانوية بتعقب الفيروسات وإصلاح خلايا الجسم

(1) Freitas, Robert A., Jr. (2005). «Current Status of Nanomedicine and Medical Nanorobotics». Journal of Computational and Theoretical Nanoscience 2: 1–25. doi:10.1166/jctn.2005.001.

من خلال تشفيرها عن طريق وضع برامج خاصة على شريحة إلكترونية نانونية Nanochip يتم تثبيتها عليها، أم هل سيتم توجيهها والتحكم في مسارها وأدائها من الخارج بواسطة أجهزة التحكم؟ ولكن السؤال الأكثر أهمية هو المتعلق بمصير تلك المركبات النانونية بعد الانتهاء من مهامها، وعن كيفية إخراجها من الجسم. هناك الكثير والكثير من الحوارات والمناقشات العلمية المهمة والشائقة. وعلى الرغم من صعوبة تلك المناقشات واصطدامها بعدم المعرفة في كثير من الأحيان، فإنه من المنتظر أن يتم طرح الجيل الأول من النانو روبوت قبيل عام 2025م[1].

لحام اللحم:

كما استخدم في جامعة رايس (لحام اللحم) بهدف دمج قطعتين من لحوم الدجاج إلى قطعةٍ واحدةٍ. حيث دمجت القطعتين من لحم الدجاج بالتلامس، من خلال تقطير سائلٍ أخضر يحتوي على قشور نانوية مطلية بالذهب على طول خط التماس بين القطعتين. ثم تلى ذلك توجيه أشعة الليزر تحت

(1) مجلة العربي، مجلة شهرية ثقافية عربية كويتية مصورة. تصدرها وزارة الإعلام الكويتية، طب النانو: سيمفونية القرن لقهر المرض والسرطان: محمد الإسكندراني، العدد 615، أكتوبر 2010م.

الحمراء على طول خط التماس كذلك، مما يؤدي إلى تلاحم كلا القطعتين عند خط تماسهما معًا. وهذا قد يحل صعوبات تدفق الدماء الناجمة عن محاولة الجراح إعادة تقطيب الشرايين التي كانت قد قُطعت من المريض أو المريضة أثناء إجراء زراعة كلى أو قلب له أو لها. حيث يستطيع لحام اللحم ذلك لحم الشريان بدقةٍ متناهيةٍ وبصورةٍ تامةٍ.

2. دعامات القلب النانوية:

يلجأ الجراحون إلى استخدام ما يسمى بالدعامات،وذلك بغرض فتح وتوسيع شرايين القلب المصابة (**شكل 29**) بضيق شديد في مساحة مقطعها نتيجة التراكم المستمر لطبقات الكوليسترول على جدرانها الداخلية والذي يحول دون سريان الدم المحمل بالأوكسجين.

وتلك الدعامات عبارة عن أنابيب صغيرة أسطوانية الشكل مصنوعة من فلزات حرة، تركب في الشريان المصاب بصورة دائمة مما يسمح بمرور الدم من خلاله بالإضافة إلى أن تلك الدعامات الفلزية تحول دون تراكم طبقات الدهون على الجدران الداخلية للشرايين مما يمكن الشرايين من بناء أنسجة جديدة لسطحها الداخلية وعلى الرغم من وجود العديد من المشكلات التي تترتب على استخدام تلك الدعامات مثل حدوث

الدم أو جلطة أو نزيف، فإن خطرها يتمثل في رفض الجهاز المناعي لمادة الدعامة الفلزية ومقاومتها بصورة دائمة مكونا ندبا تتراكم على الجدران الداخلية للشريان ومن ثم تعيق سريان الدم بداخلها.

وقد ساهمت تكنولوجيا النانو مساهمة كبيرة في إيجاد حلول علمية للتغلب على تلك المشكلات، من خلال تغطية أسطح أنابيب الدعامات بطبقات نانوية رقيقة السمك من البوليمرات. أيضًا توظف أنابيب الكربون النانوية في إنتاج الدعامات التي تتمتع بمعاملات فائقة في المرونة والمتانة. هذا بالإضافة إلى عدم مقاومة الجهاز المناعي في الجسم لها[1].

3. في جراحة التجميل:

أوضحت دراسة حديثة كيفية استخدام مادة «النانو تكنولوجي» في تطوير زراعة ثدي أكثر أمانًا وكبديل لمادة السليكون المطاطية، التي تتسبب في العديد من التعقيدات الصحية.

وحوالي 75% من السيدات اللاتي أجرين عمليات استئصال الثدي يخترن الخضوع لعملية إعادة بناء الثدي، وكان الخيار

(1) M. Sherif El–Eskandarany, Journal of Nanoparticles, Vol.2 (2009) pp14–22.

الوحيد المتاح لهؤلاء السيدات يعتمد على استخدام السليكون المطاطي بالرغم من أنه لا توجد أداة علاجية تثبت أنها 100% آمنة أو مؤثرة، إلا أن هناك نسبًا عالية بين هؤلاء المرضى يعانون معدلات عالية من التعقيدات الطبية تنتج عن استخدام السليكون في زراعة الثدي، بما في ذلك زيادة حالات الأمراض المنتظمة وبعض الأشكال المتعددة للأمراض النفسية.

وقام الباحث جوديث سوسكاس من جامعة أكرون الأمريكية بتحليل حالات زراعة الثدي من جانب العلم المادي، لتحديد ما يمكن أن يثير مشاريع النانو تكنولوجي تطورات مستقبلية للوصول لزراعة آمنة للثدي.

بل وفي مجال أدوات التجميل، أمكن صنع مضادات لأشعة الشمس (sunscreen)؛ معتمدًا على استخدام الجسيمات صغيرة الحجم من ثاني أكسيد التيتانيوم (**شكل 30**) الذي يعطي حماية تدوم أكثر من الكريمات العادية، كما أنه لا يعطي للجلد لون المادة، حيث إنه صغير الحجم جدًّا[1].

(1) المرجع السابق.

المبحث الثامن

تطبيقات النانو في تشخيص مرض السكري وعلاجه

أولًا: في التشخيص:

تمكن باحثون في جامعة ستوني بروك Stony Brook University من تطوير مجس نانوي جديد قد يحدث ثورة في عالم الطب التشخيصي، حيث سيجعل من الممكن تشخيص ومراقبة مرض ما لحظيًّا بمجرد التنفس لمرة واحدة في جهاز صغير محمول باليد.

بحث جديد بعنوان مجس نانوي لقياس مستوى الأسيتون في النفس، نشره الناشرون العلميون الأمريكيون في أكتوبر 2010م في منشورات المجسات.

هذا المجس هو عبارة عن أداه تشخيص للنفس لمراقبة الأمراض أو عمليات الأيض، التي يمكن أن تستخدم لفحص مستوى الكوليسترول أو السكر وحتى سرطان الرئة[1].

(1) يعرف سرطان الرئة بالقاتل الصامت، الذي يتم الكشف عنه عادة في المراحل المتأخرة، ولكن على خلاف ذلك، فمن الممكن التعرف على بعض العلامات في النفس، والتي تعد من الإشارات المبكرة للمرض.

إذا أصبح من الممكن قياس الغازات التي تشير إلى وجود الأمراض بسهولة، فإن هذا سوف يمكن الأفراد من مراقبة حالتهم الصحية بأنفسهم؛ كما سيسهل عملية مراقبة بعض الأمراض مثل مرض السكري.

حاليًا، تتم مراقبة مستوى السكر من خلال قياسه في الدم، ولكن الطريقة الجديدة تمكن الأفراد من فحص أنفسهم ببساطة، حيث إن كل ما هو مطلوب منهم هو التنفس مرة في هذا الجهاز الجديد.

يوجد في النفس أكثر من 300 مركب، البعض منها تم اعتماده كمؤشر للإصابة بمرض معين. الطريقة الوحيدة التي يمكن من خلالها الاستفادة من هذه المؤشرات هو من خلال استخدام مجسات خاصة حساسة لكل غاز بعينه.

ولكي يتم الكشف عن مرض معين، يجب تحديد المجس الخاص به. على سبيل المثال، إن كان أكسيد النيتروجين غازًا ذا علاقة بمرض الأزمة الصدرية، فإن ما نحتاجه هو مجس حساس لغاز أكسيد النيتروجين. وإذا كان غاز الأسيتون مهم لمرض السكري فنلجأ لاستخدام مجس حساس لغاز الأسيتون[1].

(1) http://www.physorg.com/news205436500.html

تمت الترجمة بواسطة د. حازم فلاح سكيك.

هـذا البحـث يعـد الآن فـي المرحلـة النهائيـة السـابقة لاسـتخدامه طبيًّـا لتشـخيص مرضـ السـكري.

ثانيًا: في العلاج:

تم أخيرًا النجاح في تصنيع حساسات عضوية Biosensors متناهية الصغر تستشعر حدوث أي انخفاض حاد في مستوى نسبة الجلوكوز بالدم. وتُجرى الآن تجارب تطوير هذه الحساسات، بحيث يتم إضافة خزانات صغيرة تحتوى على جرعة من الأنسولين، يتم حقنها إلى داخل الجسم من خلال إبرة تتصل بالخزان، فتقوم بضخ الجرعة الملائمة بناء على إيعاز من الحساس. ويمثل نجاح تلك التجارب أملاً كبيرًا يتعلق به مئات الملايين من البشر المصابين بالداء السكري[1].

وفي هذا المجال طورت باحثة في جامعة (إلينوى) الأمريكية جهازًا دقيقًا، يمكن زراعته في الجسم ليعوض المصابين بالسكري عن حقن الأنسولين، وقد أثبتت التجارب المخبرية أن الفئران المصابة بالسكري، والتي تمت زراعة الجهاز في أجسادها تمكنت من العيش عدة أسابيع دون أنسولين، ودون ظهور أي علامات لرفض الجهاز من خلايا الجسم، وهو

(1) مجلة العربي، مجلة شهرية ثقافية عربية كويتية مصورة. تصدرها وزارة الإعلام الكويتية، طب النانو: سيمفونية القرن لقهر المرض والسرطان، المرجع السابق.

ما يفتح الباب أمام مفاجآت ستغير مسارات كثيرة في حياة ملايين المرضى، ومن المؤكد أن هذه الأجهزة سوف تنزل إلى الأسواق قريبًا[1].

ثالثًا: في الوقاية من المضاعفات:

كذلك قامت إحدى الشركات المتخصصة في صناعة الأحذية بوضع ألياف نانوية من فلز الفضة، بداخل الحذاء، وذلك من أجل منع فطريات القدم والبكتريا من النمو في أثناء فترة ارتداء الحذاء، ويمثل هذا المنتج أهمية كبرى لمرضى الداء السكري الذين يعانون بصورة دائمة من التقرحات والالتهابات التي قد تؤدي إلى القدم السكري.

(1) Drexler KE. Engines of creation: The coming era of nanotechnology. New York: Anchor Press/Doubleday; 1986:99–129. Available at: www. foresight.org/EOC/Accessed Sept.26, 2008.

المبحث التاسع

تطبيقات النانو في هندسة الأنسجة وإصلاح الخلايا

تبشر البحوث الجديدة بأدوات بحثية ووسائل تشخيصية أفضل من سابقتها من خلال استخدام التقنية النانوية.

1. هندسة الأنسجة:

تمثل الأنسجة التالفة إشكالية رئيسة في معالجتها وإصلاحها، ومن المفيد أن تقنية النانو تستطيع أن تساعد في عملية إعادة تصنيع أو إصلاح الأنسجة التالفة؛ فهندسة الأنسجة (**شكل 31**) تستغل عملية تكاثر الخلايا المثارة صناعيًّا بواسطة جزيئات النانو وعوامل النمو. وقد تصبح تلك التقنية في يوم ما بديلاً عن نقل الأعضاء أو الأعضاء الاصطناعية[1].

2. تقنية النانو والخلايا الجذعية:

والآن مع التقدم في تقنية النانو فإن بعض العلماء يعتقدون أن الدمج ومزاوجة علم تقنية النانو مع أبحاث الخلايا

(1) https://12345-proxy.appspot.com/knol.google.com

الجذعية، سوف يساعد العلماء وبشكل كبير في فهم كيفية توجيه الخلايا الجذعية والتحكم في مصيرها لصنع أنسجة بشرية (**شكل 32**) مما قد يؤدي إلى اكتشاف طرق للتشخيص والوقاية ولعلاج أمراض البشرية ككل، وبالفعل كانت هناك محاولات عديدة في هذا المجال، ومثال ذلك ما قام به علماء في جامعة (Northwestern) الأمريكية، حين قاموا بدمج مركبين عن طريق تقنية النانو (amphiphiles+hyaluronic acid) مما أدى إلى صنع مركب (Biopolymer)، موجود أصلًا في مفاصل وغضاريف الإنسان، وكان هذا المركب على شكل تكيس يمكنه تجميع نفسه على شكل غشاء إذا حقن في مفصل الإنسان، بعد ذلك تم حقن الخلايا الجذعية داخل هذا التكيس الذي استخدم كناقل للخلايا الجذعية؛ أدخلت الخلايا الجذعية بواسطته إلى مفاصل مصابة لأحد المرضى وكانت النتائج مبشرة.

3. مكائن تعمير الخلايا التالفة:

في طرق العلاج التقليدية المتبعة في علم الطب والجراحة، يقوم الأطباء بمعالجة الأنسجة والخلايا التالفة بواسطة العمليات الجراحية المختلفة والأدوية المتعددة، بيد أن الحال يختلف فيما لو استخدمت مكائن تعمير الخلايا التالفة،حيث ستعتمد تقنية إصلاح الخلية على المهام نفسها التي أثبتت الأجهزة الطبيعية

أنها قادرة على أدائها. فالوصول إلى الخلية أصبح ممكنًا نتيجة أن علماء الأحياء استطاعوا غرس الإبر داخل الخلايا بدون قتلها.

ولقد طور باحثون في Lawrence Berkeley National Laboratory منظارًا يوفر صورًا ضوئية عالية الدقة لخلية حية، وقد يستخدم في توصيل الجينات أو البروتينات أو الأدوية العلاجية أو نقل أي مواد أخرى بدون إحداث أي أضرار للخلية. يعتمد المنظار الضوئي على أسلاك نانوية يمكن أن تستخدم أيضًا في المجسات البيولوجية وفي دراسة الخواص الكهربية للخلية الحية[1].

ومن ثم أصبحت الأجهزة الجزيئية قادرة على دخول الخلية (**شكل 33**). وكذلك، أظهرت كل التفاعلات الحيوية الكيميائية biochemical interactions الخاصة أن الأنظمة الجزيئية تستطيع التعرف على الجزيئات الأخرى باللمس، وكذلك تستطيع بناء وإعادة بناء كل جزيء داخل الخلية، كما أنها قادرة على تفريق الجزيئات المصابة والتالفة. وفي النهاية أثبتت الخلايا التي تحل محل القديمة أن الأنظمة الجزيئية تجمع كل نظام وجد بالخلية. ومن ثم، فمنذ أن أدارت الطبيعة العمليات الأساسية المطلوبة لأداء عملية إصلاح الخلية على المستوى الجزيئي، فإنه

(1) مجلة الفيزياء العصرية العدد 10/ 2012.

في المستقبل، يمكن بناء الأنظمة القائمة على الأجهزة النانوية، التي عندها القدرة على دخول الخلايا، والإحساس بالفروق بين الخلايا المريضة عن تلك الخلايا الصحية السليمة، ومن ثم القيام بالتعديلات المرغوبة في البنية الهيكلية[1].

ومن هنا تعد إمكانيات الرعاية الصحية لتلك الآلات الإصلاحية مبهرة وجذابة. ومقارنةً بأحجام الفيروسات والبكتريا، فإن أجزائها المدمجة ستسمح لها لتصبح أكثر تعقيدًا. وسيتم تخصيص الآلات المبكرة. وبما أنها تفتح وتغلق أغشية الخلية أو تسافر عبر النسيج وتدخل الخلايا والفيروسات، فإن الآلات وحدها ستكون قادرة على تصحيح خللًا جزيئيًّا واحدًا مثل تلف الحامض النووي DNA أو نقص كفاءة الإنزيم. ومؤخرًا، فإن آلات إصلاح الخلية ستكون قابلة للبرمجة والتزود بالمزيد من القدرات بمساعدة أنظمة الذكاء الاصطناعي المتقدمة.

وهنا ستكون الحواسب النانوية Nanocomputers مطلوبة لإرشاد تلك الآلات. حيث ستقوم تلك الحواسب النانوية بتوجيه الآلات للمناطق، حيث ستقوم بفحص والمشاركة وإعادة بناء الهياكل أو البنيات الجزيئية التالفة. ومن ثم ستصبح آلات

(1) رقائق بيولوجية نانوية.. لعلاج خلايا الجسم المتضررة: د. أحمد الغمراوي، جريدة الشرق الأوسط، الأحد 5 ربيع الثاني 1431 هـ، 21 مارس 2010م. العدد 11436.

إصلاح الخلية قادرة على إصلاح كامل الخلايا من خلال عمل أو إصلاح هيكل بعد هيكل. ثم العمل بعد ذلك خليةٍ بعد خليةٍ، ثم نسيجٍ بعد نسيجٍ على التسلسل، ومن ثم سيتم إصلاح كامل الأعضاء. وفي النهاية، من خلال العمل على عضو بعد عضو، فسيتم استعادة الصحة لجسم الإنسان. وهذا يؤدي إلى إعادة إصلاح الخلايا التالفة، التي وصلت لنقطة عدم القدرة على التفاعل بعد ذلك، ذلك بسبب قدرة وكفاءة الآلات الجزيئية على بناء الخلايا من الخدش. نتيجةً لذلك، تعد آلات إصلاح الخلية آلات خالية من العقارات والأدوية، حيث تعتمد على إستراتيجية الإصلاح الذاتي بمفردها.

المبحث العاشر

تطبيقات النانو في علاج أمراض الكلى

علم أمراض الكلى النانوي (Nanonephrology): هو فرع من فروع طب النانو يعنى بـ:

1. دراسة تكوين بروتينات الكلى على المستوى الذري.
2. التصوير بتقنية النانو لدراسة العمليات الحيوية التي تحدث في خلايا الكلى.
3. استخدام جزيئات النانو في علاج أمراض الكلى.

كما أن عملية تصنيع واستخدام المواد والأجهزة على المستوى الجزيئي والذري، التي تستخدم لتشخيص أمراض الكلى وعلاجها تعد من مجالات علم أمراض الكلى النانوي Nanonephrology والتي ستلعب دورًا فعالًا علاج المرضى الذين يعانون من أمراض الكلى في المستقبل. هذا بالإضافة إلى أن الإنجازات المتقدمة في مجال علم أمراض الكلى النانوي ستُبنى على الاكتشافات في تلك المجالات السابق ذكرها، التي توفر معلومات نانوية حول الآلية الجزيئية الخلوية والمدمجة

في عمليات الكلى الطبيعية، بالإضافة إلى الحالات المرضية المختلفة. ومن خلال تفهم واستيعاب الخصائص الفيزيائية والكيميائية للبروتينات والجزيئات الماكرو الأخرى على المستوى الذري بالعديد من الخلايا المختلفة بالكلى، يمكن تصميم مدخلات علاجية جديدة لتتنافس في علاج أمراض الكلى الرئيسية. وتعد الكلى الصناعية النانوية هدفًا يحلم العديد من الأطباء بتحقيقه. وستسمح الإنجازات الهندسية النانوية المتقدمة بتصنيع الروبوتات النانوية التي يمكن برمجتها والتحكم فيها، والتي تهدف إلى تنفيذ وإنجاز إجراءاتٍ علاجيةٍ وبنائية داخل الكلى البشرية على المستويات الخلوية والجزيئية (**شكل 34**). كما أن تصميم الهياكل النانوية والمتوافقة مع خلايا الكلى، والتي يكون لها القدرة على إجراء العمليات في الحيوية in vivo بصورةٍ سالمةٍ آمنةٍ يعد أيضًا هدفًا مستقبليًّا يرجى تحقيقه. وهنا يجب ملاحظة أن القدرة على توجيه الأحداث على المستوى النانوي الخلوي لها الكفاءة والقدرة على تحسين حياة المرضى الذين يعانون من أمراض الكلى.

المبحث الحادي عشر

تطبيقات النانو في طب العظام وجراحته

نجح علماء كلية طب جامعة ما ساشوستس الأمريكية في تطوير مستزرعات عظام (orthopedic implants) ذكية يمكن تشكيلها حسب حالة الإصابة أو مكان الإصابة.

ومن المعروف أن المواد التي يصنع منها المستزرعات تعد من أهم المشكلات التي تواجه الجراحين، حيث إنه تصنع من السيراميك الهش أو البوليمرات القوية (**شكل 35**)، التي لا يمكن تشكيلها في أشكال معقدة، والتي غالبا ما تنتج عن الجروح والإصابات، كما أنها تحتاج لأجهزة تثبيت معدنية الأمر الذي يتطلب إجراء أكثر من عملية جراحية لتركيبها وإزالتها.

وطور علماء ما ساشوستس مستزرعات جديدة تتكون من جزيئات النانو بالقلب تتأثر بالحرارة ولها صفات أنسجة الجسم.

ومن أهم صفات المستزرعات الجديدة إمكانية تنشيطها، وتشكيلها عند تعريضها للحرارة تبعًا لمكان الجرح قبل إجراء الجراحة، وتصغيرها بحيث لا يتم إحداث إلا جرح بسيط لإدخال

المستزرعات، ثم بعد إدخال المستزرع يتم تعريضها للحرارة مرة أخرى، لتعود إلى الشكل المصمم من البداية، وذلك خلال ثواني معدودة.

وتتكون المستزرعات الجديدة من مواد عضوية قابلة للتحلل بالجسم (biodegradable)، لذا فإنها لا تحتاج إلي عمليات جراحية أخرى لإزالتها كما أنه من الممكن تحميلها بالعقاقير المناسبة لتسريع عملية نمو العظام.

ويقوم العلماء حاليًا بإجراء الاختبارات على حيوانات المعامل، وفي حال نجاحها فإنهم سيبدؤون بإجراء الاختبارات السريرية على البشر.

ألياف نانو لتعزيز نمو غضاريف الركبة:

نجح علماء جامعة نورث ويسترن الأمريكية في تطوير جل (gel) يتكون من ألياف نانو (Nanofiber) يعزز نمو الغضاريف بالمفاصل المتضررة وبدون الحاجة لعوامل نمو التي قد تكون باهظة الثمن.

ومن المعروف أن الطريقة المتبعة حاليًا (Microfracture) تقوم على إحداث ثقوب بالعظام الملاصقة للغضاريف المتضررة و ذلك للسماح بنمو أوعية دموية جديدة و هو ما يساعد على نمو الغضاريف مرة أخرى.

ولكن معظم الغضاريف المنتجة نتيجة طريقة (Microfracture) تتكون من نوع (Type I collagen) وهو ما يجعلها تشبه الأنسجة الناتجة عن الإصابات و الجروح.

أما الطريقة الجديدة فتقوم على استخدام الجل المكون من ألياف نانو حيث يتم حقنه بالمفصل المتضرر من اجل تنشيط الخلايا الجذعية بالنخاع العظمي و إنتاج الكولاجين من نوع (Type II collagen) و هو ما يؤدي لإصلاح الغضاريف بالمفصل (**شكل 36**).

ويقول العلماء: إن (Type II collagen) هو البروتين الرئيس بالغضاريف المفصلية (Articular cartilage) وهو عبارة عن نسيج رابط أبيض و أملس يغطي أطراف العظام عند التحامها بالمفصل[1].

و أجرى العلماء اختبارات على حيوانات المعامل باستخدام الجل الجديد حيث أظهرت النتائج نجاح الطريقة الجديدة في علاج المفاصل بشكل أكثر كفاءة مقارنة بالطريقة الحالية (Microfracture).

(1) www.hamst7oob.com

استخدام تكنولوجيا النانو في تصنيع سقالات العظام:

إن الهدف الرئيس من العمل البحثي هو اختلاق البنية الأمثل المكونة للعظم عبر تقنيات هندسة الأنسجة، وللحصول على هذا الهدف سقالة خلايا الجذعية والوسيطة الحاوية على أبعاد النانو /ميكرو تم إجراء التحقيق من فعاليتها ونشاطتها.

وفي ممارسات هندسة الأنسجة، والسقالة المستخدمة يجب أن تكون مماثلة للمصفوفة الخلوية الإضافية من الأنسجة المستهدفة. في هذا الصدد، لقد تم توليف سقالات الهيدروكسيل فى أبعاد الميكرو و النانو لحمض اللبولي أكتيك الأباتيت. مركب من المواد المذكورة يقدم الخواص الميكانيكية الأكثر ملاءمة ويوفر الاتصالات المعززة المكونة للعظم. الفضل لأبعاد نانو مترية من جزيئات هيدروكسيل الأباتيت التى تم تطبيقها، فى غضون ذلك سقالة التى تم إنتاجها؛ لديها تتشابه قريبًا من نظيرتها الطبيعية[1].

(1) وقد تم نشر تقارير مفصلة عن هذا العمل البحثي في مجلة مواد العلوم والهندسة C، مجلد 29، صفحات 942-949، 2009 والمجلة الإيرانية في التكنولوجيا الحيوية، مجلد 8، صفحات 234-242، 2010.

توليف سقالات العظام عن طريق سيراميك النانو:

لقد تم تصنيع نوع من سقالة الخزف ذات البنية النانومترية باستخدام عظام الأبقار باستخدام طريقة منخفضة التكلفة من خلال جهود الباحثين في جامعة أصفهان للتكنولوجيا.

وهذا البحث يقدم أسلوبًا جديدًا، منخفض التكلفة، وطريقة اقتصادية لتوليف نوع من سقالات العظام القيمة التي تستخدم في الصناعة الطبية وهندسة الأنسجة.

ومن القيود الملزمة لزرع المسامى تكمن في لزوم المسام على أن قطرها يساوي ما لا يقل عن 100 ميكرومتر للسماح الشعيرات توفير الدم للأنسجة الضامة النامية. ومن الملاحظ أن أنسجة الأوعية الدموية لا تظهر فى المسامات التي يقل قطرها عن 100 ميكرومتر.

السيراميك فوسفات الكالسيوم ثنائية الطور التي تضم وجهين من هيدروكسيباتيت وبتا تري الكالسيوم هو اختيار جيد لاستبدال الأضرار بالعظام؛ حيث يمكن استخدام المنتجات المذكورة في الصناعة الطبية وتطبيقات هندسة الأنسجة وحشو تلف العظام[1].

(1) ونشرت تفاصيل هذه الدراسة في Materials Letters، حجم 64، صفحات 993-996، 2010.

تحسين الخواص الميكانيكية لسقالات العظام:

حاليًا أساليب العلاج الأولي للعظام مثل الزراعة الدائمة يتم استبدالها بالمواد المستدامة بيئيًّا والقابلة للتحلل. لذا فإن الموضوع الجديد من «هندسة الأنسجة والعظام» جنبًا إلى جنب مع تكنولوجيا النانو جعل من الممكن الاقتراب من الهيكل الطبيعي للعظم.

ولقد تمت دراسة الطرق المختلفة لخلط اثنين من البوليمرات وإنتاج السقالة. وأخيرًا، لمزيد من التحقيقات تم اختيار أسلوب هجين من «الصب والتجفيف من خلال التجميد» لتوليف مركب متناهي في الصغر الطبقي.

نجح الباحثون في جامعة أصفهان للتكنولوجيا في اختراع طريقة جديدة لإنتاج سقالة لها تطبيقات في هندسة النسيج العظمي. والسقالة هي بنية بمركب متناهٍ في الصغر مصنوعة من جيلاتين وهيدروكسيباتيت.

ومن أجل إنشاء مركب متناهٍ في الصغر ثلاثى الأبعاد (D3)، قطعت الطبقات التي تم توليفها، وتمسك جنبًا إلى جنب مع كمية صغيرة جدًّا من حل جيلاتين نقي. في نهاية المطاف، ثم يتم تغميس بنية مركب متناهٍ في الصغر تم الحصول عليها

في حل جلوتار ألدهيد glutar aldehyde من أجل زيادة قوتها. وفيما بعد، تم تجفيف المواد المتوجة وأعدت لاختبارات مختلفة. ولعل الاستفادة من هذا البحث، هو إمكانية إنتاج السقالات مع بنية مسامية متجانسة ومراقبة في الوسط والسطح لتجارب مختلفة[1].

تقليص الأعراض الجانبية لزراعة العظام:

نجحت شركة تكنولوجيا الخلايا الجذعية في إيران في الآونة الأخيرة بتركيب السقالات المناسبة للنسيج العظمي، مما يقلل الآثار الجانبية لزرع العظام عبر تقنية الغزل الكهربائي (Electrospinning).

إن إعداد السقالة لديها ألياف النانو من أقطار متساوية تقريبًا وعيوب شكلية صغيرة. ونتيجة لذلك، فالسقالات التي تم توليفها عرضت القوة الميكانيكية العالية وأيضًا عززت التوافق مع الخلايا الجذعية. وتتألف السقالة من ثلاثة أجزاء البوليمر منفصلة، وأيضًا قسم غير عضوي. لتعزيز تأثير الجزء العضوي والحصول على بيئة أكثر واقعية للظروف الطبيعية، كانت هيدروكسيباتيت النانوية (Ca5(OH)(PO4)3[x]) وقعت

(1) وقد نشر هذا البحث بالتفصيل في مجلة مركب البوليمر، Polymer Composite المجلد. 31، صفحات 2112-2120، 2010.

بين ألياف النانو من خلال أسلوب الحل. وكانت الجسيمات هيدروكسيباتيت النانوية المستخدمة هي نشطة بيولوجيا، وذات تأثير في اتجاه العظام. هذه الجسيمات النانوية لديها مورفولوجيا مكعبة بلورية ذات أبعاد أقل من 200 نانومتر.

ساهم وجود البلورات النانوية هيدروكسيباتيت داخل مركب عظمي لعملية التنوي الثانوية خلال تمعدن العظام إلى حد كبير، التي قدمت نسبة الطاقة العالية لتشكيل ماده الأباتيت.

بعد إعداد المحاليل الحيوية والمعلقات، عقب عملية الغزل الكهربائي (Electrospinning) بعناية والسقالات نانو ألياف (Nanofibrous) المتنوعة مع نسب المحتويات المختلفة من البوليمر/المواد غير العضوية لقد تم توليفها لاستخدمها في وقت لاحق لإجراء الدراسات في المختبر.

ومن الجدير بالذكر أن السقالات المقترحة متفوقة على تلك التقليدية التي قدمتها هندسة الأنسجة، لأنها تزيل الحاجة إلى جراحة إضافية لإزالة الغرسات[1].

(1) يتم نشر مزيد من التفاصيل عن هذا العمل البحثي في مجله IPJ، المجلد 19، صفحات 457-468، 2010.

المبحث الثاني عشر

تطبيقات تقنية النانو في الغذاء الصحي

تمهيد:

في عام 1999م بدأت الصناعة الغذائية اهتمامها بتقنية النانو؛ إذ وصل حجم الاستثمار في هذه التقنية إلى قرابة 20 مليار دولار في الولايات المتحدة وحدها عام 2010 م[1]، وبحلول عام 2014م وصل هذا الاستثمار في تغليف الأغذية والمشروبات فقط إلى 14 مليار دولار[2].

ويُطلَق مصطلح (الغذاء النانوي أو Nanofood) على الغذاء الذي استعمل في إنتاجه أو في أي مرحلة من مراحل إنتاجه تقنية النانو، وبعبارة أخرى هو الغذاء الذي يتم استخدام تقنية النانو في زراعته أو معالجته أو تغليفه. وحاليًا يعد التغليف أحد أكثر التطبيقات العملية لتقنية النانو، حيث يتم فيها استعمال

---

(1) انظر: ملاحق البحث.

(2) Helmut Kaiser Consultancy, Study: Nanotechnology in Food and Food Processing Industry ,Worldwide 2003–2006–2010–2015. This is a study on nanofoods which can be purchased from the website. www.hkc22.com/nanofood.html.

جسيمات النانو طين (Nanoclay) في صنع أغلفة بلاستيكية قوية وخفيفة ومقاومة للحرارة و قادرة على منع الأكسجين وثاني أكسيد الكربون من الدخول وإفساد الأطعمة، وإضافة إلى ذلك يتم تطبيق تقنية النانو أيضًا لصنع تغليف خاص مقاوم للمكروبات والبكتيريا[1].

وثمة العديد من المراكز البحثية حول العالم لديها اهتمام بالغ بتقنية النانو وتطبيقاتها المختلفة في الصناعات الغذائية. وكان من اهتماماتها، كيفية تنقية المواد الغذائية بتقنية النانو وكذلك إمكانية عمل دراسات تتمحور حول إمكانية دراسة وجود السموم والميكروبات الضارة في المادة الغذائية.

(1) Weiss J., Takhistov, P., and McClements, D.J. (2006). Functional Materials in Food. Nanotechnology. J. Food Sci. 71 R107–R116.

المطلب الأول

استخدام تقنية النانو في مجال صناعة الأغذية

يتوقع خبراء صناعة الأغذية أن تؤثر تقنية النانو تأثيرًا كبيرًا، وبطرق عديدة في المنتجات الغذائية وحياة المستهلك، سواء بشكل مباشر أم غير مباشر[1]. ولقد أخذت الشركات العالمية بناصية الاستثمار في هذا المجال، مثل شركة (جنرال ميلز) General Mills، و(بيبسيكو Pepsico)، و(كامبيلز Campbells) و(كرافت للأغذية Kraft foods) وغيرها[2].

ولقد أنشأت شركة كرافت المتخصصة في الأغذية اتحاد لأقسام البحوث العلمية لاختراع مشروبات لا لون لها ولا طعم مبرمجة؛ فقريبًا يمكننا شراء مشروب لا لون له و لا طعم، يتضمن نانو جزيئات للطعم واللون عندما نضعه في الميكروويف

(1) انظر: ملاحق البحث.

(2) Chau C-F., Wu S-H. and Yen G-C. (2007). The development of regulations for food nanotechnology. Trends Food Sci. Technol. 18 269-280.

على تردد معين يصبح لدينا عصير ليمون، وعلى تردد آخر يصبح هو نفسه عصير تفاح، وتسمى هذه الأنواع من الأغذية بالأغذية الجذابة Interactive Food التي يتم فيها تغير الغذاء وفقًا للحاجة؛ والمبدأ في هذه الأغذية أن بها الآلاف من كبسولات النانو، والتي تحتوي على محفزات للنكهة واللون أو عناصر تغذية مضافة مثل الفيتامينات، والتي تكون سائدة في الغذاء وتحرر فقط عند رغبة المستهلك.

وتعمل العديد من شركات الأغذية على تصميم أغذية (ذكية) أو (تفاعلية) تتغير طبقًا للذوق الشخصي للأفراد فتغير اللون والطعم والمكونات الغذائية حسب الطلب أو لمنع تأثير بعض المركبات التي تتسبب في الحساسية لدى البعض[1].

وأبرز فوائد هذه التقنية الجديدة هي أنها تقوم على تحسين الوفرة الحيوية للمواد الغذائية، أي أن المادة الغذائية تبقى كما خلقها الخالق، ولا تتغيّر تركيبتها الكيميائية مثلما يحدث في تقنيات سبق أن جربها الإنسان، فهي تعمل فقط على تقليل حجم المادة الغذائية ولا تعمل على تغيير المادة نفسها.

(1) مجلة العربي، مجلة شهرية ثقافية عربية كويتية مصورة. تصدرها وزارة الإعلام الكويتية، التغذية وتكنولوجيا النانو: الطعام على الطريقة النانوية: محمد الإسكندراني، العدد 625، ديسمبر 2010م.

في الصين أنتجت شركة تقنية النانو منتجات شاي النانو المتعددة الغنية بالسيلينيوم، التي تؤدي إلى امتصاص أو اجتذاب الجذور الحرّة التي تدمر الخلايا، وتؤدي كذلك إلى تقليل الكوليسترول والدهون في الدم.

ومن بين الإيجابيات المهمة لاستخدامات تقنية النانو في الصناعات الغذائية هو التقليل من النفايات الناجمة عن المصانع الغذائية، وما لها من أضرار على الصحة والبيئة.

المطلب الثاني

استخدام تقنية النانو في مجال تغليف وتعبئة الغذاء

تعد تطبيقات تكنولوجيا النانو في تعبئة وتغليف المواد الغذائية، أحد أهم المُخرجات التقنية المتقدمة في قطاع الصناعات الغذائية، حيث يتم حتى يومنا هذا تعبئة وتغليف وحفظ أكثر من 600 منتج غذائي بواسطة تقنيات تلك التكنولوجيا. وتُقدم تكنولوجيا النانو فئة جديدة من المواد المتراكبة Nanocomposites، التي يتم فيها «تسليح» البلمرات المستخدمة في التعبئة والتغليف عن طريق «تطعيمها» بحبيبات أو أنابيب نانوية Nanotubes تتمتع بخفة الوزن والمتانة العالية. وهذا يؤدي إلى تحسين الخواص الميكانيكية للعبوة وزيادة قوتها وتحملها للضغوط التي تتعرض لها في أثناء عمليات النقل والتخزين.

وبالإضافة إلى توظيف تكنولوجيا النانو في مجال حفظ المنتجات الغذائية السابقة الإعداد أو الطهي، فهي تستخدم أيضًا في حفظ المواد الغذائية الطازجة مثل اللحوم بأنواعها،

الفواكه والخضراوات والمخبوزات ومنتجات الألبان والوجبات الطازجة السابق إعدادها، وذلك عن طريق تغليفها بأفلام رقيقة من البلمرات الشفافة، التي لا تزيد سماكتها على 5 نانومتر، حيث يُدمج بها حبيبات أو أنابيب نانوية تعمل على غلق مسامها بهدف منع وصول الرطوبة إلى الغذاء الطازج الموجود داخل العبوة.

وقد دخلت الأسواق العبوات الذكية أي الأغلفة المضادة للميكروبات Anti microbial Films، التي تحتوي على مستشعرات ومضادات ميكروبية نشطة، قد طورت لتمديد مدة حفظ الأغذية.كما أن المستشعرات يمكن أن تتبع الأغذية من الحقل إلى المصنع إلى السوق حتى تصل المستهلك.

ويمكن تصنيف تطبيقات التقنية النانوية في إنتاج مواد تعبئة وتغليف الأغذية حسب استخداماتها فيما يلي:

أ - تصنيع الأغلفة العادية:

يمكن استخدام هذه الأغلفة النانوية في تغليف اللحوم والأجبان والخضر والفواكه والحلويات والوجبات السريعة. وتتميز هذه الأغلفة بخواص ميكانيكية ووظيفية جيدة، تمكنها من منع حدوث تبادل للرطوبة والغازات مع الوسط الخارجي، التي تؤثر في عملية توزيع المواد الملونة، ومواد النكهة، والمواد المضادة للأكسدة، والإنزيمات، والمواد المضادة للتلون البني.

ولقد أقر العلماء بتطوير ونجاح الاختبارات المعملية على (الورقة القاتلة)، وهي المادة المراد استخدامها في عملية تغليف الطعام الجديدة، والتي تساعد على حفظ الطعام من البكتيريا التي تسبب له التلف. وقد تم وصف الورقة في ACS' journal Langmuir بأنها تحتوي على طلاء الفضة النانوي، الذي له تأثير قوي على محاربة البكتيريا. وفي المستقبل القريب، عندما تشتري مواد غذائية، عليك التأكد من أن الغلاف يحتوي على مادة مقاومة للبكتيريا، مثل جسيمات الفضة النانوية، حتى تضمن أن المواد الغذائية لن تتعرض للتلف، وأنها لن تسبب لك أي مشكلات صحية مثل التسمم الغذائي[1].

ب - تصنيع العبوات الحافظة:

تستطيع أغلفة هذه العبوة أن تطلق بعض المواد الكيميائية النانوية داخل العبوات، كالمواد المضادة لنمو الميكروبات والمواد المضادة للأكسدة والملونات والمدعمات الغذائية داخل الأغذية أو المشروبات، وذلك لإطالة مدة الصلاحية أو تحسين النكهة أو اللون أو القيمة الغذائية. كما تم تطوير عبوات غذائية نانوية

(1) Sonochemical Coating of Paper by Microbiocidal Silver Nanoparticles», Langmuir.http://www.physorg.com/news/2011-01-killer-paper-next-generation-food-packaging.html.

يمكنها امتصاص أي نكهات أو روائح غير مرغوب فيها تنشأ داخل العبوات الغذائية. كما تم إنتاج عبوات غذائية تحتوي على أنابيب كربونية نانوية تستطيع ضخ غازات ثاني أكسيد الكربون أو الأكسجين إلى خارج العبوات الغذائية في حالة تعرضها للتلف.

وفي السياق ذاته، فقد تم خلال السنوات الثلاث الماضية تسخير تكنولوجيا النانو في إنتاج أنواع متقدمة من القوارير البلاستيكية المستخدمة في حفظ عدد ضخم من الأطعمة، السوائل الغذائية والمشروبات الغازية، لتُستخدم كبديل عن القوارير الزجاجية التقليدية. وتتفوق تلك القوارير الجديدة على نظيرتها المصنعة من الزجاج بمتانتها وعدم تعرضها للكسر في أثناء عمليات النقل والتداول. كما تُتيح تلك القوارير التي يتم تقويتها عن طريق إضافة أنابيب وحبيبات نانوية من الصلصال إليها، بالقدرة على الاحتفاظ بمحتواها الغذائي السائل دون تلف، وذلك لمدد زمنية طويلة تصل إلى 18 شهرًا[1].

ونجح باحثون في زيادة أمد عصير البرتقال من أسبوعين إلى شهر واحد باستخدام علب تحتوي على الفضة وأكسيد الزنك النانوي. حيث ركزت الدراسة على استخدام علب بوليمر

(1) مجلة العربي، التغذية وتكنولوجيا النانو: الطعام على الطريقة النانوية: محمد الإسكندراني، العدد 625، مرجع سابق.

تحتوي على جزيئات الفضة وأكسيد الزنك النانوي كوسيلة من الوسائل الجديدة من أجل الحفاظ على عصير البرتقال الطازج والطبيعي[1].

ج - الكشف عن ملوثات الأغذية:

فيما يلي سوف نتعرف على نوعين من مجسات النانو Nano-Sensors الإلكترونية التي تستخدم في الكشف على جودة المنتج الغذائي، وهما الأنف الإلكتروني واللسانِ الإلكتروني، حيث إن لهما القدرة على كشف أسباب فساد الأغذية وتلوث الأطعمة أو تحللها.

أولًا: تقنية الأنف الإلكتروني:

الأنف الإلكتروني E-nose عبارة عن أداة (**شكل 37**)، تعمل على تمييز المكونات الخاصة للرائحة وتحلل تركيبها الكيميائي لمعرفة مكوناتها، فهو يحاكي بذلك أنف الإنسان، فهو يتميز بحساسية عالية للاشتمام، ويمكن أن يتتبع الروائح بدقة تصل إلى مستويات جسيمات النانو. هذه الأنوف الإلكترونية لَيست تقنية جديدةَ، وإنما هي موجودة منذ عدة سنوات، وكانت تستعمل

(1) وقد نشر هذا البحث بالتفصيل في مجلة علوم الأغذية المبتكرة والتكنولوجيات الناشئة Innovative Food Science and Emerging Technologies، المجلد. 11، صفحات 742-748، 2010.

أصلًا في تطبيقات مراقبة الجودة في الغذاء والشراب وصناعات مستحضرات التجميل. ولكن تعكف حاليًا مراكز أبحاث لتحسين صناعة الأنف الإلكتروني الجديد باستخدام تقنية النانو وتطويره، مما يجعله أصغر حجمًا وأقل تكلفة مع حساسية أكبر.

ثانيًا: تقنية اللسانِ الإلكتروني:

إن تقنية اللسان الإلكتروني E-tongue مشابهة وبشكل كبير لتقنية الأنف الإلكتروني، فهو يحاكي أيضًا لسان الإنسان، لَكنه أكثر حساسية في تمييز النكهات التي في الأطعمة، فمجسات اللسانِ الإلكترونية يمكن أن تكتشف المواد بدقة تصل إلى الجزء لكل تريليون، ويمكن أيضًا أن تستعمل داخل أغلفة المواد الغذائية حيث يمكنها أن تعطي إشارة تحذير تظهر بشكل تغير في اللون لكي تنذر المستهلك إذا كان الغذاء ملوثًا وإذا بدأ يفسد.، فإنه يمكن إلصاق لسان إلكتروني في رزمة اللحم، فيعطي إشارات ملونة كدلالة على مدى صلاحية الغذاء للمستهلك.

المطلب الثالث

استخدام تقنية النانو في مجال المدعمات الغذائية

تكنولوجيا النانو هو أحدث لاعب في صناعة المواد الغذائية، وإعادة بناء طعامك على المستوى الذري. هذه العملية هي من القوة بحيث إنها يمكن أن تغير المنتجات الغذائية إلى مئات من الاحتمالات التي تسمو على القوانين الفيزيائية.

ومن التطبيقات التي لها أهمية بالغة في مجال التصنيع الغذائي، والتي تحتاج إلى الكثير من الجهد لتفتح مجالات أوسع في نطاق التصنيع الغذائي تصنيع مواد المذاق المختلفة، علامات التذوق بالإضافة إلى المنشطات الغذائية المتعددة. يمكن استخدام تقنية النانو لتغيير منتجات الأغذية، لتكون ذات فعالية أكبر وبكفاءة أعلى في توصيل وامتصاص المواد الغذائية والبروتينات ومضادات الأكسدة إلى أنسجة الجسم المختلفة.

ومن أفضل الطرق في هذا المجال في الوقت الحالي هي تقنية Encapsulation[1]، ويتم من خلالها المحافظة أكثر على الروائح، ومواد التذوق والألوان المختلفة في أثناء التصنيع الغذائي. فقد أمكن حفظ زيت سمك السلمون عن طريق تغليفه[2] بوساطة بروتينات اللبن المنحلة (بروتينات مصل اللبن) وسكر اللاكتوز، وذلك لحماية الزيت الغني بالمواد الدسمة ذات الروابط المتعددة غير المشبعة (الأوميجا 3 Omega 3) من الأكسدة[3].

ومثال آخر هو تلك المشروبات الغذائية المعروفة باسم «المشروبات الصحية Healthy Drinks» التي يُضاف إليها حبيبات عنصر الحديد التي تقل أقطارها عن 300 نانومتر، والتي يُستفاد من تدني صغر أحجامها في سهولة امتصاص خلايا الجسم لعنصر الحديد والتفاعل السريع معه على مستوى

(1) Sonochemical Coating of Paper by Microbiocidal Silver Nanoparticles», Langmuir.http://www.physorg.com/news/2011-01-killer-paper-next-generation-food-packaging.html.

(2) انظر: ملاحق البحث.

(3) Psota T. L., Gebauer S. K., and Kris-Etherton P., PhD, RD: Dietary Omega-3 Fatty Acid Intake and Cardiovascular Risk. The American Journal of Cardiology (www.AJConline.org) Vol 98 (4A) August 21, 2006

الخلية الأحادية من الجسم. وهناك العديد من الأمثلة الخاصة بتخليق عناصر المواد الفلزية المهمة الأخرى مثل السيلينيوم، الزنك، الكالسيوم، الماغنسيوم وغيرها وتوظيفها كمكملات غذائية فعالة.

وقد نجحت أخيرًا إحدى الشركات الألمانية الكُبرى المتخصصة في إنتاج وتعبئة اللحوم المحفوظة في ابتكار كبسولات مسامية مصنعة من غرويات Colloids متدنية الأحجام تقل أبعاد أقطارها عن 30 نانومتر، يتم تعبئتها ببعض الفيتامينات المهمة مثل «ج، هـ» لتضاف إلى مُنتجات تلك اللحوم بغرض رفع قيمتها الغذائية ودون أن يفطن المستهلك إلى وجودها[1].

ولم تكن تكنولوجيا النانو في غيبة عن التصدي لأعداء صحة الإنسان التقليديين، مثل الملح والسكر المعروفة «بالسموم البيضاء». ولعل توافر حبيبات نانوية الأحجام من تلك المنتجات يمثل خبرًا سارًّا لمحبي المذاقين؛ الحلو والحاذق. والمبدأ الرئيس الذي ترتكز عليه فلسفة تكنولوجيا النانو وهو «تصغير أحجام المواد»، حيث إن تصغير مقاييس الحبيبات البلورية من كلوريد الصوديوم (ملح الطعام) إلى نحو 10 نانومتر، يؤدي إلى

(1) مجلة العربي، التغذية وتكنولوجيا النانو: الطعام على الطريقة النانوية: محمد الإسكندراني، مرجع سابق.

زيادة مساحة أسطحها التي تلامس السطح الخارجي للسان داخل الفم، ومن ثم فإن هذا يؤدي إلى زيادة إحساسه بالمذاق «الحاذق» لتلك الحبيبات. وكذلك يتم تصغير أحجام حبيبات السكر والتحكم في مقاييس أبعاد أقطارها، كي تُستخدم في صناعة الحلويات التي تتسق مع مرضى السكري أو مع أولئك الذين يتبعون برامج غذائية خاصة.

وحديثًا، لبَّت تقنية النانو مطلب عُشَّاق المشروبات الغازية؛ فقد قامت إحدى الشركات البلغارية الشهيرة بإنتاج أقراص مضغ مكونة من مادة هلامية، تحتوي على بلورات نانوية الحجم تقبع بداخلها «فقاعات نانوية» من غاز ثاني أكسيد الكربون «الفوار». وبإضافة المذاق الخاص بالمشروب الغازي المفضل إلى تلك الأقراص الهلامية يشعر من يقوم بتناولها بأنه يشرب عبوة مشروبه المحبب الفوار.

المطلب الرابع

مستقبل تقنية النانو في مجال الغذاء الصحي

لقد تنبأ العلماء بمستقبل واعد لهذه التقنية، التي باتت الدول الصناعية تضخ الملايين من الدولارات من أجل تطويرها، وقد وصل تمويل اليابان لدعم أبحاث النانو إلى بليون دولار، أما في الولايات المتحدة فهناك 40000 عالم أمريكي لديهم المقدرة على العمل في هذا المجال، وتقدّر الميزانية الأمريكية المقدمة لهذا العلم بتريليون دولار حتى عام 2015 م[1].

وطبقًا لإعلان صدر عن منظمة (الفاو) – منظمة الغذاء والزراعة العالمية التابعة للأمم المتحدة– في 17 ديسمبر 2007م فإن البشرية تواجه اليوم تغيرات غير مسبوقة وغير معلومة العواقب في نظام الغذاء العالمي تهدد المليارات من البشر بالجوع، وتضاءل القدرة على الحصول على الغذاء، وربما ستكون الدول العربية من أكثر دول العالم تضررًا نظرًا؛ لأن غالبيتها

(1) www.foe.org/camps/comm./nanotech/introductionnanotechnologymay2006.pdf.

لا تنتج ما تأكل حتى تلك التي حباها الله بالأراضي الزراعية الخصبة والمياه الوفيرة[1].

أكد العلماء أن تكنولوجيا النانو سوف تلعب دورًا مهمًّا في تغيير أنظمة إنتاج الطعام التقليدية على النحو الذي يجعل المنتجات رخيصة الثمن وآمنة، ويطيل زمن صلاحيتها للاستهلاك، ويقلل من تكلفة الإنتاج[2].

وتجدر الإشارة هنا إلى أن عدد أصناف الأغذية النانوية قد تضاعف خلال السنوات الأخيرة، حيث ازداد عددها من مجرد 700 مُنتَج في عام 2006 إلى أكثر من 2500 منتج في عام 2009م، تقوم بإنتاجها أكثر من 650 شركة على مستوى العالم[3].

أولًا: لحوم صناعية وأخرى مزيفة:

أكد العلماء أن المستقبل القريب سوف يعتمد على إنتاج اللحوم المصنعة في المختبرات (Growing meat in the Lab)

---

(1) جريدة المدينة: الدور المرتقب لتقنية النانو الحميدة في تحقيق الأمن الغذائي العربي: سامي سعيد حبيب، مدير مركز التقنيات متناهية الصغر، السبت 7/ 3/ 1429 هـ.

(2) جريدة الشرق الأوسط: طعام المستقبل.. لحوم صناعية وأطعمة نانونية: مدحت خليل، الأحد الموافق 2 محرم 1433هـ / 27 نوفمبر 2011م ، العدد12052.

(3) الدور المرتقب لتقنية النانو الحميدة في تحقيق الأمن الغذائي العربي: سامي سعيد حبيب، مرجع سابق.

أكثر من مزارع الأبقار، وسوف تسهم اللحوم الصناعية في مكافحة الفقر وحل أزمة الغذاء العالمية، نظرًا لقلة المراعي الطبيعية التي لا تتناسب مع الزيادة الكبيرة في تعداد سكان الكرة الأرضية، والتي من المنتظر أن يصل إلى نحو 8.9 مليار نسمة بحلول عام 2050م.

وإلى أن يأتي اللحم من المختبر، سيكون على الناس أن يعتمدوا على نوع آخر، هو «اللحم المُزَيَّف»، المصنوع من مستخلصات فول الصويا وغيره من بذور النباتات، وهذه المستخلصات غنية بالبروتين النباتي، وتتضمن خطوات تصنيعها تحويلها إلى معلّقات غليظة القوام تضغط في آلات خاصة شبيهة بآلات غزل خيوط الألياف الصناعية ثم تخلط بالدهون، ويضاف إليها مكسبات لون ونكهة مع بعض الفيتامينات، وتشكل على هيئة شرائح أو مكعبات، ثم تطرح في الأسواق[1].

ثانيًا: بروتين من النفط:

عندما تعرضت الجدران الداخلية لخزانات الوقود في الطائرات لهجوم مكثف من كائنات دقيقة. اكتشف علماء الأحياء الدقيقة أنواعًا من الخمائر والفطريات، لها القدرة على النمو في هذا الوسط النفطي. وهنا، اتخذت الأبحاث اتجاهًا آخر: دراسة

(1) طعام المستقبل.. لحوم صناعية وأطعمة نانونية: مدحت خليل، مرجع سابق.

إمكانات واحتمالات زراعة هذه الكائنات على مشتقات النفط. وتوصلت التجارب إلى أن أهم مشتقات النفط التي يمكن استخدامها في إنتاج البروتين النفطي هما الغاز الطبيعي وزيت الغاز.

واكتشف العلماء أكثر من ألف نوع من الكائنات المجهرية قابلة النمو على مشتقات النفط. وقد ثبت بالتحليل أن هذه الكائنات الحية الدقيقة تحتوي على بروتين يساوي 60 – 70% من وزنها؛ ووجد أيضًا أن هذا البروتين لا يقل جودة عن الأنواع الأخرى، فلم تظهر أي أعراض ضارة أو تسمم على الحيوانات التي تقتات عليه، ولا على الإنسان الذي يأكل لحوم هذه الحيوانات.

ولكن إن كان العلم لم يتوصل، بعد، إلى تقديم طبق من اللحم البترولي للإنسان، فإنه يقدِّم القيمة نفسها بشكل غير مباشر. ولا نستبعد أن يصبح هذا البروتين ذات يوم صالحًا للاستخدام المباشر في مطابخنا[1].

ثالثًا: خدمة توصيل الغذاء إلى الخلايا:

نحن نعرف نظام توصيل الطلبات إلى المنازل، غير أن الطلبات من أنواع الغذاء المختلفة سوف توصل في المستقبل إلى خلايا أنسجة الجسم البشري مباشرة.

---

(1) المرجع السابق نفسه.

إن خلاصة الأطعمة الاعتيادية التي نتناولها تصل إلى الخلايا، بعد أن تمضغ في الفم، وتهضم في المعدة، وتمتص في الأمعاء، ليحملها الدم إلى الخلايا. أما «الطعام النانو» فسيكون عبارة عن جزيئات، وستتولى إيصالها إلى الخلايا مَرْكِبات توصيل، عبارة عن جزيئات مختلفة من مُركّبات ذات خواص طبيعية وكيماوية، تمكنها من حمل الطلبات من غذاء أو دواء، وتتحرك بها متوجهة إلى خلايا محددة في نسيج الجسم البشري، حيث تحرر أحمالها لتستفيد بها تلك الخلايا، دون غيرها، ليتحقق الغرض الغذائي أو العلاجي[1].

رابعًا: استخدام «النانو» لإنتاج أغذية مقاومة للسرطان:

إن تكنولوجيا النانو هي الوسيلة الفعالة للقضاء على الجينات المسببة للسرطان لأكثر من نصف سكان العالم باستخدامها في إنتاج المواد الغذائية المصنعة أو الحبوب الطازجة.

ولعل جميع الأبحاث الحديثة تشير إلى أن استخدام تقنية النانو لإنتاج الأغذية الوظيفية يضيف لوظيفة الأطعمة وظائف علاجية لكثير من الأمراض، ومنها مقاومة مرض السرطان..!!

(1) مجلة العربي، التغذية وتكنولوجيا النانو: الطعام على الطريقة النانوية: محمد الإسكندراني، العدد 625، مرجع سابق.

خامسًا: مطبخ المستقبل:

يُهِمُّنا، ونحن بصدد الحديث عن الطعام في المستقبل، أن نبشِّر ربات البيوت بأن أعمال المطبخ لن ترهقهن مستقبلًا، بل ربما تختفي المطابخ من البيوت..!!

1. تجهيز الطعام النانوي بالجوال:

سوف تتابع سيدة المنزل ما تعده من وجبات، وهي موجودة في مقر عملها. فهي قد غادرت منزلها وقد تركت الطعام في فرن المطبخ المتصل إلكترونيًّا بتلفونها المحمول بحيث يتاح لها أن تراقب الوقت اللازم لنضج الطعام، فلا تلبث أن تطفئ الفرن باستخدام التلفون، كأنها تجري مكالمة عادية..!!

وبمرور الزمن، لن تحتاج الأسرة إلى المطبخ كثيرًا؛ ولن تقضي ربة البيت في المطبخ أوقاتًا طويلة، إذ سيشيع نظام «سخِّن وكُلْ». وثمة فكرة جديدة يجري تطويرها الآن، حيث تزود علبة الطعام بقسم معزول عن محتوياتها، مملوء بالجير المطفأ. ولن يكون على مستخدم هذه العلبة إلا أن يفتح هذا القسم، ويضيف قليلًا من الماء إلى الجير، فيحدث تفاعل كيميائي من النوع المعروف بمولد الحرارة، تكفي كمية الحرارة الناتجة عنه لتسخين الطعام داخل العلبة[1].

(1) المرجع السابق نفسه.

2. معالجة أسطح أواني الطهي:

لتكنولوجيا النانو دور بارز في المحافظة على «نظافة» الأدوات المُستخدمة في عمليات تجهيز ومعالجة الأطعمة، وتخليص أسطحها من التراكم البكتيري، وذلك في كل المراحل الإنتاجية المختلفة للغذاء. وقد استفاد قطاع الأغذية من مُنتجات حبيبات فلز الفضة الحرة، التي تقل أبعاد أقطار حبيباتها عن 10 نانومتر، والتي يجري توظيفها لتكون بمنزلة غطاء فلزي رقيق يُستخدم في طلاء أدوات قطع الأطعمة، وكذلك أدوات الطهي والمائدة.

وقد احتكرت إحدى الشركات الكورية الشهيرة المتخصصة في مجال تصنيع الأجهزة الإلكترونية والكهربية طريقة فريدة لطلاء الأسطح الداخلية للثلاجات المنزلية بطبقة رقيقة من الفضة، التي أظهرت قدرة فائقة في مقاومة التكاثر البكتيري وقتل الميكروبات، مما يضمن إطالة زمن حفظ الأطعمة والمنتجات الغذائية داخل الثلاجات وعدم تعرضها للتلف[1].

وأما خبراء النانو تكنولوجي في شركة «أويل فريش»، فقد طوَّروا مادة سيراميكية لها خاصية قوية مضادة للأكسدة،

(1) التغذية وتكنولوجيا النانو: الطعام على الطريقة النانوية: محمد الإسكندراني، مرجع سابق.

وصنعوا منها أداة صغيرة، يمكن وضعها في وعاء قلي الطعام، فتعطي الفوائد التالية: تقلل زمن القلي، ومن ثم توفر من كمية الوقود المستخدم في إعداد الطعام، وتحتفظ بزيت القلي صالحًا للاستخدام لمدة أطول، وتتيح استخدام الكمية نفسها من الزيت في قلي أنواع مختلفة من الطعام (لحوم وأسماك، مثلًا) دون أن يتأثر مذاق أي منهما بالآخر[1].

(1) المرجع السابق.

المبحث الثالث عشر

تطبيقات طبية في الآفاق

سوف تتصارع البشرية إلى الأبد مع قضية الموت والحياة... ونحن نعرف أن التقنيات والطرق البيولوجية التي تم اكتشافها حتى الآن ستطيل الحياة وتجعل الصحة أفضل وراثيًّا. ولكن تقنية (النانو) تقدم الحل. ففي الطب ستمثل حلًّا هندسيًّا صناعيًّا لمشكلة نسبة الوفيات باستخدام آلات دقيقة لإصلاح الخلايا التالفة وتجديدها. وبالإضافة لذلك فإن النانو وتقنية الأجسام الدقيقة تعمل في أصغر مستويات المادة من جزيئات وذرات وأجزاء الذرات.

يقول الباحثون بأنه من الممكن استخدام آلات من جزيئات نانوية لإعادة بناء الأعضاء التالفة، كما أنها تقوم بتعديلات تجميلية أو توفر للناس أعضاء كاملة جديدة قادرة على القيام بوظائف معززة وقوية بصورة دراماتيكية، وطبقًا للباحثين فإنه من الممكن تجديد الأطراف المفقودة والعيون والأذن المعطوبة وإعادتها إلى حالتها السابقة، وربما يتم تحسينها لتعمل بصورة أفضل مما كانت عليه.

في الحقيقة يعتقد الباحثون الطبيون أن أجهزة النانو بحجم الجزيئات من الممكن أن تقوم بتقوية نظام المناعة باصطياد وتعطيل البكتيريا والفيروسات غير المرغوب فيهما.. كما يحلم الباحثون بمضخات نانوية تسبح في دم المرضى، وتقوم بتنظيفه من خلايا (H.I.V) المصابة.

ورغم أن تقنية (النانو) أساسًا تقنية للبناء إلا أن إحدى فوائد النانو الفريدة تنبع من قدرتها على تحقيق (التدمير المستهدف) في جسم الإنسان... ولأن جسم الإنسان عرضة للسرطان والأمراض المعدية فهو يحتاج إلى ميكانيكية تستطيع تحطيم العناصر الخطرة مثل البكتريا وخلايا السرطان والفيروسات أو الطفيليات... ويعتقد البعض أن تلك الأجهزة الصغيرة من الممكن أن تعالج الجسم من تلك الأمراض، فمثلًا فيروس الهربس يعزل جيناته داخل (D.N.A) الخلية المضيفة.. إن جهاز تقنية النانو لإصلاح الخلية والمجهز بحاسب آلي وذراع ربوتي دقيق، يقوم بقراءة الـ (D.N.A) الخاص بالخلية ويزيل الجين الإضافي الذي يتسبب في الهربس دون أي تأثير على التكامل الوراثي للخلية المضيفة.

وسوف تلعب تقنية النانو دورًا رئيسًا في التئام جروح ما بعد العملية... وبكل بساطة ستساعد آلات إصلاح القلب (**شكل 38**)،

على إنتاج عضلات جديدة بإعادة تنظيم ميكانيكية التحكم في الخلايا... وسوف تتم مساعدة ضحايا السكتة الدماغية لتجديد أنسجة المخ، حتى تلك التي كان بها تلف كبير.

والهدف النهائي هنا ليس معالجة المرض فقط، ولكن للإبقاء على صحة الإنسان مدى حياته... وسوف يظهر ذلك عندما يتحقق فهم متكامل حول تركيبة الجزيئات للأنسجة الصحيحة.. وبعد ذلك ستكون لدينا المعرفة الكافية لرسم أي تركيبة لخلية قلبية متعافية أو تركيبة لخلية كبد متعافية، ونقل البيانات الصحيحة حول جزيئات ذلك العضو وخلاياه وأنسجته إلى الجهاز المتناهي في الصغر.

فلنفترض أننا نحتاج إلى آلة متناهية في الصغر لإصلاح كبد تالف... فعلى الباحث فقط أن يصف للآلة تركيبة الجزيئات والذرات الخاصة بالكبد الصحيح المتعافي... وتقوم آلة الإصلاح بالاستفادة من المعلومات وفحص الكبد وإيجاد الاختلافات بين الصورة التي تحملها وبين الخلايا والأنسجة التي تواجهها في العضو التالف... وتبدأ الآلة في تصحيح الكبد مرة أخرى بتغيير تركيبته الذرية والجزيئية، لتتوافق مع الصورة التي تحملها للكبد المتعافى.

وبالطبع هذه التقنية تعد حاليًا أكبر من قدرتنا ومن الخبرات الطبية... حيث يجب أن تحتوي البرامج في هذه الآلات الدقيقة على تفاصيل من المعلومات لمئات أنواع الخلايا، وربما مئات الآلاف من تركيبة الجزيئات... كما أنها لا بد أن تكون قادرة على إعادة تركيب الخلايا التالفة من جديد وتصحيحها.

وبينما نقترب من العصر النانوي الجديد فقد تقدم الاكتشافات الدوائية حلولًا أفضل لتليف الرئة الكيسي.. وأحد تلك الأدوية قد يمنع الستازبروتين الذي ينتجه مريض تليف الرئة الكيسي من الهجوم على أنسجة الرئة... ودواء آخر التي بقيت من خلايا المناعة الميتة مما يسمح للجسم باستخدام ميكانيكية ذاتية للنظافة (D.N.A) يذيب (DNASE)، وذلك لتنظيف السوائل المترسبة الرقيقة. ويعتقد الباحثون أنهم يستطيعون السيطرة بصورة فعالة أكثر على هذا المرض المخيف بإيقاف إنتاج ذلك المخاط الكثيف من مصدره. وقد اكتشف أن سبب تليف الرئة الكيسي خلل وظيفي في الخلايا يحثها على ضخ الصوديوم بكمية زائدة مما يقود لخروج الماء خارج المخاط... والمخاط المتبقي سائل كثيف للغاية يتسبب في قتل المريض... والآن تم اكتشاف دواءين يعالجان ذلك الخلل الوظيفي في الخلايا، والخلايا التي تم إصلاحها لا تنتج الأملاح، ولا يتكون المخاط الكثيف في جسم المريض.

ولكن التقنية الواعدة لعلاج تليف الرئة الكيسي لن تكون العلاج بالدواء بل بالجينات الوراثية. فقد اكتشف باحثان «Fransis Colenis» و«Lap Chi Tsoy» جين تليف الرئة الكيسي في الكروموزوم 7 في صيف عام 1989م. والتحدي الآن هو نقل صيغ صحيحة من الـ (D.N.A) إلى رئتي مريض تليف الكبد.

وفي الوقت الراهن لم تحقق بدائل الدم المدة الزمنية لبقاء الدم الطبيعي... فعند حقنها في الجسم يعيش الدم الطبيعي ثلاثة أسابيع في الجسم، ولكن الدم الصناعي الذي تنقصه كريات الدم الحمراء والغشاء الواقي لا بد من تغييره خلال 24 ساعة... والشركة التي تتمكن من إنتاج بديل مشابه للهيموجلوبين الإنساني سوف تكون وكأنها نجحت في إنزال التقنية الحيوية من المريخ حسب ما ذكر نائب رئيس شركة (Somatigen) Jarry Stitlar ويتوقع رئيس مجلس إدارة شركة (D.N.X) PolSmith أنه خلال عشر سنوات من الممكن أن نرى (ناقلات الدم) تنقل بديل الدم في جميع أنحاء العالم[1].

(1) تقنية النانو في إيصال الأدوية: دراسة أعدت لنيل شهادة البكالوريوس في الصيدلة والكيمياء ،إعداد / عبدالرحمن أحمد زريق ، إشراف أ.د/ مفيد ياسين، دراسة غير منشورة.

النانو ضد الشيخوخة:

إن الاعتلال الرئيس في الشيخوخة بما في ذلك مرض الخرف المبكر (الزهايمر) ووهن العظام من الممكن إخضاعه للهندسة الوراثية عند الولادة أو في مرحلة من مراحل الحياة.. ويشعر البعض أن بحوثًا مثل التي يقوم بها مشروع الجينات الإنسانية.

وتعد المؤسسة الطبية- بصورة متزايدة- أن الشيخوخة مرض يجب التغلب عليه... وقد تحقق تطور مذهل في إطالة فترة الحياة من خلال أدوية وتغذية أفضل وظروف صحية أحسن للمعيشة.

ورغم أن الموت مصدر للخوف والذعر إلا أنه يؤمن لكل منا إحساسًا بالراحة وحدودًا معروفة تمامًا حول حياتنا بمنحنا شعورًا بالإقفال والنهاية.. ومع أنه موضوع في الحسبان أن الموت أكثر رفيق مرعب للإنسانية منذ أزمان غابرة إلا أنه من المدهش أن يقلق الناس للسيطرة عليه..!!

وفي تجارب المختبر، فإن تركيبة من الأدوية وتغذية خاصة تطيل فترة حياة الفأر بما مقداره 25% إلى 45% وتشترك كثير من الشركات في الحملة ضد الشيخوخة... وفي الثمانينيات

اشتركت IC و Eastman Kodac لصناعة الأدوية في مشروع يكلف 45 مليون دولار لإنتاج أدوية مثل (ايسورينوساين Isorinosine) لإطالة فترة الحياة.

والآن سوف تبدأ تقنية النانو عصرًا جديدًا في الصراع ضد الشيخوخة.. ويعتقد كثير من المراقبين أن آلات إصلاح الخلايا سوف تستطيع تحسين وظيفة الخلية طالما أن تركيبة الخلايا الرئيسة ليست بها عيوب.. ورغم أنها لا تستطيع إيجاد خلايا جديدة، لكنها تستطيع بالتأكيد تجديد الخلايا الموجودة.

وعندما نتأكد من أن تأثير الشيخوخة بما في ذلك العظام الهشة والجلد المجعد والتئام الجروح ببطء والذاكرة الضعيفة والعلامات الأخرى للشيخوخة ناتجة عن عدم ترتيب للخلايا والجزيئات كما ينبغي، يمكننا أن نتصور أن آلة نانوية ببرنامج صحيح تستطيع إعادة تنظيم تلك التركيبات بحيث نتمكن من إعادة الصحة إلى حالة الشباب والمحافظة عليها[1].

ويعتقد العلماء والباحثون في هذا المجال حدوث عدة طفرات طبية جديدة باستخدام تقنية النانو. ومن الدراسات التي يجري البحث فيها حاليًا:

---

(1) تقنية النانو في إيصال الأدوية: عبدالرحمن أحمد زريق، إشراف أ.د/ مفيد ياسين، المرجع السابق.

1. النانوكمبيوتر (Nanocomputers)

حيث تم تصميم كمبيوترات متناهية الصغر يتم حقنها في جسم المريض، تقوم بعمليات محددة حسب برمجتها.

وتكون هذه الكمبيوترات متناهية الصغر وذاتية التحلل، وتم استخدامها في كثير من المجالات في عام 2010 م ومنها:

أ. القضاء على الخلايا المتسرطنة: حيث بإمكان هذه الأجهزة المتناهية الصغر أن تتحرك داخل الجسم بحثًا عن الخلايا السرطانية وقتلها.

ب. الإمداد بالأوكسجين.

ت. ميتوكوندريا صناعية.

ويمثل التواصل العصبي الإلكتروني هدفًا مرئيًّا يتناول بنية الأجهزة النانوية، التي ستسمح بتوصيل الحاسوب وربطه بالجهاز العصبي (**شكل 39**). وتتطلب تلك الفكرة بناء هيكل جزيئي يسمح باكتشاف وضبط النبضات العصبية بواسطة جهاز حاسوب خارجي. حيث تستطيع أجهزة الحاسوب تفسير وتسجيل والاستجابة للإشارات التي يصدرها الجسم عندما يستشعر أحاسيس مختلفة. ويتزايد الطلب بكمية ضخمة على تلك البنية بسبب أن العديد من الأمراض تتضمن اضمحلال

وانهيار الجهاز العصبي، (ومنها مرض التصلب الجانبي التحللي Amyotrophic Lateral Sclerosis (ALS)، ومرض التصلب المتعدد Multiple Sclerosis (MS) كما قد تُضعف الكثير من الإصابات والحوادث الجهاز العصبي، مما يسفر عن اختلال النظم والشلل النصفي. فلو استطاعت أجهزة الحاسوب السيطرة على الجهاز العصبي من خلال وجهات التفاعل العصبي الإلكترونية، يمكن التحكم في المشكلات التي تُضعف الجهاز العصبي، ومن ثم يمكن التغلب على تأثيرات الأمراض والإصابات[1].

وفي النهاية، مطلوب توفير أسلاكٍ سميكةٍ لتوصيل مستويات الطاقة الضرورية بدون زيادة معدلات التسخين. وعلى الرغم من توافر الأبحاث في المجال، إلا أن تقدمًا محدودًا فقط هو ما تم تحقيقه. حيث إنه من الصعب تكوين شبكة أسلاك للهيكل أو البنية بسبب أنه يجب وضعها بدقةٍ داخل الجهاز العصبي، ليصبح قادرًا على التحكم والاستجابة للإشارات العصبية. كما أنه يجب أن تكون الهياكل أو البنيات التي تمثل واجهة التفاعل والتواصل تلك متوافقة مع الجهاز المناعي للجسم، ومن ثم

(1) Nanomedicine, Volume IIA: Biocompatibility, by Robert A. Freitas Jr. 2003, ISBN 1-57059-700-6.

تصبح قادرة على البقاء والتواجد لمدةٍ طويلةٍ بدون التأثر داخل ذلك الجسم هذا بالإضافة إلى أنه يجب أن تشعر تلك الهياكل بالتيارات الأيونية بالإضافة إلى قدرتها على جعل التيارات تتدفق عائدةً للخلف. وفي حين أن إمكانيات تلك الهياكل أو البنيات تعد مذهلة ومدهشة، إلا أنه لا يوجد جدولٌ زمني ليحدد متى ستكون متاحة في المستقبل.

2. **خلايا الدم النانومترية: (Respirocytes)**

وهي خلايا دم حمراء صناعية (**شكل 40**) يمكنها حمل الأكسجين بقدرات فائقة، حيث تصل قدرتها في ذلك 236 مرة مثل خلايا الدم الحمراء الطبيعية.

3. **خلايا الأوعية الدموية: (Vasculocytes)**

وهي خلايا تقوم بإصلاح أمراض الشرايين المختلفة مثل تصلب الشرايين وانفجار الشرايين (**شكل 41**).

4. **Microbivore**

وهي أجهزة تقوم بتنظيف الدم من الأجسام العالقة فيه والمسببة للأمراض (**شكل 42**).

5. Bionanobots

وهي أجهزة مبدؤها مأخوذ من الخلايا المتحركة الطبيعية، حيث يعتقد أن هذه الخلايا إذا أعيد صناعتها قد تؤدي مهام علاجية مفيدة (**شكل 43**).

المبحث الرابع عشر

رؤية إستراتيجية لتفعيل دور النانو في الطب في العالم العربي

لا يزال حال العالم العربي من بحوث تقنيات النانو، حاله نفسه من البحوث في المجالات الأخرى إن لم يكن أسوأ. ولا يختلف اثنان في أن ثمة فجوة كبيرة لا تزال في اتساعٍ بين المستوى التقني في عالمنا العربي، وبين دول العالم المتقدم صناعيًّا. ولعل من أقصر الطرق لتقليص هذه الفجوة بعد الجدية في العمل، وصدق النية هو التعاون المثمر مع كل الدول التي سبقتنا في المضمار نحو الصالح الإنساني المشترك[1].

وما تزال الغالبية العظمى من تطبيقات تقنية النانو في طور الخيال العلمي أو التجريبي وبحاجة لجهود جبارة للدفع بها إلى العالم التطبيقي، وتكمن أهم الصعوبات في:

1. التصنيع التجاري لمواد التقنية النانوية والعامل الاقتصادي.

(1) صحيفة الاقتصادية الإلكترونية، العدد 5966 ،الأربعاء 26 صفر 1431 هـ، الموافق 10 فبراير 2010م.

2. التوافق الحيوي ومدى فعالية المواد النانوية.
3. قضايا اجتماعية مثل القبول العام والأخلاقيات والقوانين وأمان الإنسان.

وبالرغم من التحديات التي تواجه مستقبل تقنية النانو في الطب؛ إلاَّ أن تقنية النانو تعد مبشرة في تغيير مفهوم العلاج الطبي والعناية الصحية عن طريق:

1. طرق مبتكرة لتشخيص الأمراض والوقاية منها.
2. الاختيار العلاجي المناسب للعديد من الأمراض.
3. تحرير الأدوية النوعي وعلاج السرطان والعلاج الوراثي.

وعلى الرغم من أن تقنية النانو تعد وكأنها خيال علمي، إلا أنها واعدة، وستشهد في السنوات القادمة العديد من الأطباء النانويين، الذين يعالجون الأمراض، ويكشفونها بشكل مباشر من خلال الدخول إلى الجسم البشري... ولعلهم يكونون بديلًا عن الأطباء الحاليين..!!

ولتشكيل رؤية إستراتيجية وطنية طويلة المدى ذات مراحل محددة تعتمد مبدأ التدرج لنقل التقنيات متناهية الصغر، وتوطين، وتدريب العلماء والباحثين وطلبة الدراسات العليا للقيام بمتطلباتها، انطلاقًا من مبدأ التدرج ووضوح الرؤية. والتي يمكن تلخيصها في المراحل الأربعة التالية:

1. المرحلة التعاونية: مع جميع المؤسسات التعليمية والبحثية والصناعية العالمية في تقنيات النانو واكتساب المهارات الأولية، وتكوين الملاك التقني الفني القادر على التعامل معها من خلال عمليات مشاريع بحثية مشتركة.

2. المرحلة الاستيعابية: ومن المفترض أن تكون أيضًا بالتعاون والشراكات العلمية والتصنيعية مع الجامعات والمؤسسات البحثية والشركات، لكن على مستوى الندية بالاعتماد على القدرات المحلية، التي تم تطويرها في المرحل السابقة.

3. المرحلة التطورية الذاتية: التي تعتمد سياسة المبادرات التقنية النانوية المحلية وتطوير التقنيات والمنتجات بمضارعة التقنيات والمنتجات العالمية، وبما يتلاءم والاحتياجات المحلية بناء قدرات الملاك التقني المحلي، والتي تم تدريبه وتهيئته لهذه المرحلة في المرحلتين السابقتين، وهذا لا يعني أبدًا الاستغناء عن القدرات العالمية، بل على العكس تمامًا، إذ لا بد من الاستفادة من القدرات العالمية المتميزة بشكل فردي (التعاقد الفردي) كلما دعت الحاجة إلى ذلك.

4. المرحلة الإبداعية: هي نتاج طبيعي للمراحل السابقة، حيث سينشأ جيل تقني ذاتي القدرة، وافر الإمكانات، ومعزز بمنظومة معامل ومختبرات ومصانع تقنيات النانو، إضافة إلى وجود تحديات تقنية محلية في حاجة ملحة إلى التطوير

والتحسين، مما يدفع عجلة الإبداع والابتكار التقني، معتمدًا في ذلك آلية الأبحاث والتطوير محليًّا[1].

إنها مجرد محاولة لاستشراف المستقبل، قد لا يصح لاحقًا بعض جوانبها، ولكن قد يحمل المستقبل من التحولات ما يتجاوز كل تقدم؛ أَلَمْ يفعل المستقبل ذلك أكثر من مرة في الماضي؟!!

(1) جريدة المدينة: نحو رؤية إستراتيجية لتفعيل تقنيات النانو بالمملكة العربية السعودية: سامي سعيد حبيب، مدير مركز التقنيات متناهية الصغر، جامعة الملك عبدالعزيز، السبت 23/ 2/ 1429 هـ.

الفصل الثالث

تقنية النانو بين القبول والرفض

تمهيد

سُخِّرَ العِلمُ منذ كان لخدمة الإنسان. ولا شكّ في أنّ التطوّر العلمي في المجالات كلّها يُبرز نموّ البشريّة التائقة إلى الأفضل دائمًا. والعلماء هم واجهة المشهد الإنساني على مستوى العقل، إذ استطاعوا صنع حياة بعد حياة بفضل إنجازاتهم الرائدة. غير أنّ للتطوّر العلمي في يومنا بعض المفاعيل السلبيَّة التي يخشى منها. والطموح العلمي لا ضابط له، وهو يجهد لبلوغ كلّ تقدّم ممكن بعيدًا من أيّ تأثير أيديولوجيّ أو ثقافيّ أو اجتماعيّ... ولا أحد يمكنه التحكّم بعربة التطوّر العلميّ، لأنّ أحصنتها تستجيب لرغبة الجديد ومتعة الاكتشاف فحسب، ولا أحد ينفي أنّ كوكبنا اليوم يعيش شبه خرافة من خلال التكنولوجيا الفائقة الحداثة ووسائل الاتّصال والتواصل التي تحتفل كلّ ساعة بمولود لها جديد، وفي الوقت نفسه تضع البشريّة يدها على قلبها خشية المجهول الذي يمضي إليه العِلم في إيقاع بالغ السرعة[1].

(1) النانوتكنولوجي.. العالم الكبير تحكمه الجزئيّات المتوارية في صغرها، صفات سلامة، بيروت، طبعة بدون رقم.

إن التطور السريع لتطبيقات النانو في الميادين العديدة، وما يقابله من نقص كبير في معرفة الآثار المترتبة على ذلك، يدعو إلى كثير من الحذر..!! فصناعة المواد متناهية الصغر صناعة سريعة النمو، سواء من حيث الحجم الإجمالي أو من حيث عدد المصنعين. ولكن المعرفة بالأخطار الصحية والبيئية المحتملة لتكنولوجيا النانو تكاد تكون نادرة.

وعلى الرغم من وجود أدلة كافية تشير إلى أن تطوير واستخدام المواد متناهية الصغر يجلب الأخطار على الصحة والبيئة. إلا أن الدراسات في هذا المجال ما زالت ضئيلة للغاية. فالتطور السريع في تكنولوجيا النانو يقابله للأسف نقص كبير في المعلومات عن مدى أخطار استخدامها[1].

وما زال الموقف بشأن تقنية النانو متباينًا؛ فالمتفائلون يعتقدون أن هذه التقنية ستوفر مواد مفيدة للجميع؛ لأنها ستوفر الماء النظيف والغذاء الصحي، ومحاصيل معدَّلة تنتج بكميات كبيرة بأيدي عاملة قليلة. وتوفر طاقة كهربائية رخيصة، وصناعة نظيفة، وأدوية فعالة، وتشخيصًا دقيقًا، وزراعة أعضاء مضمونة، وقدرات هائلة في الاتصالات، وتخزين المعلومات،

(1) تكنولوجيا النانو.. العواقب المحتملة وشدة العواقب: محمد هاشم البشير، مرجع سابق.

وتوفير أجهزة تفاعلية ذكية في البيوت، مع زيادة كفاءة الإنسان من خلال التكنولوجيات التجميعية.

أما المتشائمون فيقولون: إن تقنية النانو ستفاقم مشكلات الظلم الاجتماعي والاقتصادي والتوزيع غير العادل للسلطة من خلال زيادة الفوارق بين عالمي الأغنياء والفقراء. وكذلك ستؤدي إلى إشاعة الفوضى في العلاقات الدولية بسبب زيادة احتمال انتشار الأسلحة النانوية، التي ستكون أشد فتكًا من الأسلحة الكيماوية الحالية.

المبحث الأول

نظرة الخوف من تقنية النانو

يعتقد علماء تقنية النانو أنها تقنية نظيفة، وأنها مفتاح نهاية التلوث والأمراض، وأنها ستتيح تشغيل مصانع ذات كفاءة عالية، ولكنها بأحجام متناهية الصغر. إذ إنه سيكون هناك رجال آليون (روبوتات) غير مرئية تقوم ببناء أي شيء يمكن تخيله. في الوقت ذاته، توصف تقنية النانو بأنها عقاب محتمل.

وبالرغم من الجوانب الإيجابية الكثيرة التي تحملها تقنية النانو إلى البشر؛ إلاَّ أننا نجد أن ظاهرة الرفض لهذه التقنية تظهر بوضوح منذ أن نشر إريك دريكسلر كتابه «آلات الخلق» (Engines of Creation) سنة 1986م، الذي قدَّم فيه صورة للمركبات النانوية القادرة على تحريك المادة على مستوى الجزيئات في سائر الاتجاهات، بحيث تخيل وجود آلات نانوية قادرة أن تعيد إنتاج نفسها بنفسها (الجزيئات ذاتية الاستنساخ)، مستغنية عن التدخل الإنساني، بما يعني قدرتها على محاكاتها فعل الكائن الحي..!!

بيد أن هذا النقاش ظل سريًّا ومحصورًا في البداية في

أروقة المختبرات وكواليس الخبراء وبين رهط قليل من السياسيين، حتى اجتمعت ثلاثة أحداث[1] مختلفة دفعت به إلى الواجهة:

1. **الحَدَث الأول:** أدبي في الأساس، عندما قام ميخائيل كريشتون بنشر روايته «الفريسة» (Pry = Proie) الشهيرة سنة 2002م في الولايات المتحدة الأمريكية، التي تعرض لنا مجتمعا تمكن من صنع إنسان آلي نانوي يتم فقدان السيطرة عليه. وهنا سيصبح بني البشر فريسة ما صنعوه بأيديهم، مما ألزم معهد (Foresight Institute) العلمي، وهو معهد للتوقعات بستانفورد لدراسة سبل تحقق هذا الخطر من عدمه. إذ اعتبرت هذه الرواية إنذار سابق قبل أوانه، يعرفنا بالأخطار المحتملة التي قد تعصف بالإنسانية.

2. **الحَدَث الثاني:** حدث سياسي بالدرجة الأولى، كشف عنه الأمير شارلز ولي عهد بريطانيا، عندما طلب في شهر أبريل سنة 2003م من العلماء البريطانيين البحث في «الأخطار الكبيرة التي تحيق بالطبيعة والمجتمع» من جراء استعمال التقنيات النانوية، لاسيما ما يعرف بمادة الهلام السنجابي[2].

---

(1) http://www.saudinanocenter-sa.com/index.php/joomla-forums/2011-04-20-07-57-51.

(2) الهلام السنجابي (Gelée grise): تعد مصدر خوف وتهويل كبيرين في التقنيات النانوية، بحيث يفترض فيها التهام القشرة الأرضية لكي تتمكن من التوالد، وهو ما يهدد مصير الجنس البشري برمته. انظر: http: //ar.wikipedia.org.

3. الحَدَث الثالث: صدر عن هيئات المجتمع المدني، بخاصة من مجموعة كندية مضادة للعولمة، تحمل اسم: «ETC Erosion, Technologies et Concentration»، نشرت تقريرًا في يناير 2003م يحذر من تطبيقات النانوية التي تم إعادة تسميتها بـ «التقنيات الذرية»، حيث طالبت هذه الجمعية إرجاء استخدام واستهلاك المنتجات التي يتم تصنيعها عبر التقنيات النانوية، في انتظار تجميع معلومات كافية حول آثارها على المحيط البيئي وعلى الإنسان.

وعلى الرغم من أن التواجد البحت للمواد النانوية (وهي المواد التي تحتوي على جسيم نانوي) لا يمثل أي تهديدٍ في حد ذاته، إلا أن هناك سمات معينة تجعل منها محفوفة بالأخطار، وعلى الأخص حركتها وتفاعلها المتزايد. وأنه فقط في حالة أن خصائص معينةً لبعض الجزئيات النانوية كانت ضارة للكائنات الحية أو البيئة، فإن ذلك سيسفر عن مواجهتنا لخطرٍ شديد؛ وفي هذه الحالة يمكن أن نطلق على ما ينتج تلوثًا نانويًّا.

كما أننا في حاجةٍ إلى التمييز بين نوعين للبنية النانوية، وذلك عند مواجهة التأثير البيئي والصحي للمواد النانوية، ويتمثلان في: الأول: مركبات النانو، والأسطح النانوية، ومكونات النانو، (سواءً الإلكترونية أو البصرية أو الحساسة... إلخ)،

حيث يدمج الجزئيات على صعيد النانو ضمن خلاصة المادة، أو المادة نفسها، أو حتى الأجهزة (الجزئيات النانوية «الثابتة»)؛ والآخر: الجزئيات النانوية «الحرة»، حيث تتواجد جزئيات النانو الفردية لمادةٍ ما ضمن بعض مراحل عملية الإنتاج والاستخدام. وقد تندرج جزئيات النانو تلك ضمن أحد أصناف نطاق النانو للعناصر أو المركبات البسيطة، وكذلك المركبات المعقدة، حيث يكون الجسيم النانوي مطليًّا بمادةٍ أخرى، (جسيم نانوي «مطليّ» أو جسيم نانوي «جوهري القشرة»).

ومن ثم فهناك إجماع للرأي أن: على الرغم من أنه يجب على المرء أن يكون واعيًا بالمواد المحتوية على جزئياتٍ نانويةٍ ثابتةٍ، إلا أن القلق الحالي يتمثل في الجزئيات النانوية الحرة.

ومن الضروري عند التحدث عن الجزئيات النانوية، ألا يكون المسحوق أو السائل المحتوي على جزئيات نانوية أحادي التشتت أبدًا[1]، ولكنه يحتوي بدلًا من ذلك مدىً متنوعًا من أحجام الجزيئات. ويسفر ذلك عن تعقيدٍ للتحليل التجريبي، حيث إن الجزئيات النانوية الأكبر في الحجم قد يكون لها خصائص مختلفة عن تلك الأصغر في الحجم. هذا بالإضافة إلى

(1) http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=1360.php
Nanotechnology food coming to a fridge near you.

أن الجزئيات النانوية تظهر توجهًا للتجمع، ومثل تلك التجمعات غالبًا ما يكون أداؤها مختلفًا عن الجزئيات المتفردة [1].

(1) http://www.ostp.gov/NSTC/html/iwgn/iwgn.fy01budsuppl/nni.pdf.

المبحث الثاني

أخطار تقنية النانو

تقنية النانو مثلها مثل أي تقنية أخرى لها جانب إيجابي و جانب سلبي، فبالرغم من فوائدها العظيمة فإن لها بعض الأخطار. ويمكن إجمال أخطار تطبيقات تقنية النانو بشكلٍ واسعٍ إلى أربعة أقسام رئيسة:

أولًا: قضايا صحية (الأخطار على صحة الإنسان):

تتمثل التأثيرات الصحية لتقنية النانو في تلك الآثار المحتملة للمواد والأجهزة النانوية على صحة الإنسان. وبما أن تقنية النانو هي مجال مستحدث، فقد أسفر ذلك عن قيام جدلٍ واسعٍ حول المدى الذي يمكن عنده الاستفادة أو التعرض للأخطار الخاصة بتقنية النانو على صحة الإنسان. ويمكن تقسيم التأثيرات الصحية لتقنية النانو إلى: قدرة الاختراعات النانوية على أن يكون لها تأثيراتها الطبية في علاج الأمراض، وكذلك الأخطار الصحية المحتملة عند التعرض للمواد النانوية.

وترجع الأخطار المحتملة لتقنية النانو على صحة الإنسان من دقة حجم المواد النانوية التي سوف يتعامل معها الفرد، ونحن نعلم مدى صغر هذه المواد، حيث إن بعضها لديه القدرة على النفاذ إلى جسم الإنسان بكل سهولة، خلال مسامات الجلد، وتستطيع الانتشار داخل الجسم بصورة أكبر و أسرع من أي مادة أخرى، بدون أن يشعر الإنسان أو يبدي أي مقاومة، وهو ما يحمل معه الأخطار الكبيرة على صحة الفرد[1]، فالجسيمات العالقة في الهواء والناتجة من الدهانات أو البخاخات أو الغبار يمكن أن يتم استنشاقها، ومن ثم تنفذ إلى الجسم.

وعلى الرغم من أن الآثار السلبية المحتملة للمنتوجات المصنعة بهذه التقنية الواعدة على صحة الإنسان ما زالت مجهولة إلى حد كبير، وبرغم جميع إجراءات السلامة التي يتم اتباعها، فإن المئات منها قد غمر الأسواق بالفعل في جميع المجالات من الملابس إلى الطب إلى عجائن تنظيف وتبييض الأسنان إلى الطرق السريعة ومواد المحافظة على الحيوية والجمال والرشاقة..إلخ، ولا تزال الأبحاث والتجارب وعمليات الإنتاج تجري على قدم وساق لإنتاج المزيد منها، ويمكن القول:

(1) Royal Society and Royal Academy of Engeneering, Nanoscience and Technologies: Opportunities and Uncertainties, , London, 2004.

إن الإنسان يتناول الكثير من هذه المواد مع غذائه وشرابه؛ فهي تنفذ إلى الجسم عبر مسام الجلد من خلال مساحيق التجميل والزيوت والكريمات، وخاصة الأنواع المستخدمة للحماية من الأشعة فوق البنفسجية والمضادة للتجاعيد، إلى جانب عدد من مواد تنظيف الأسنان، خاصة الأنواع المستخدمة للتبييض، التي تثير الشكوك حول إمكانية إحداثها لخدوش باللثة، وتقلل من سمك الأسنان، فضلًا عن المياه التي يغسل، أو يشطف بها أحواض السباحة، وتمثل الجروح والندوب والتشققات والثنايات الجلدية أكثر المواضع لنفاذ المواد الخطرة للجسم.

ويتفق العلماء على أن جسيمات النانو وبسبب صغر حجمها لها القدرة على الدخول في جسم الإنسان، فلك أن تتخيل أن جسيم بحجم 300 نانومتر يستطيع بكل سهولة الدخول في خلايا جسم الإنسان[1]، والأخطر من ذلك أن جسيمًا بحجم 70 نانومتر يستطيع الدخول في نواة الخلية، مما يعني أن هذه الجسيمات قادرة على الدخول بسهولة إلى جسم الإنسان، مما يعني الاحتمال الكبير لحدوث التفاعل بينها وبين خلايا الجسم، مما قد يؤدي لتغير خصائصها أو تسميمها[2].

(1) انظر ملاحق البحث.

(2) (http://www.saudicnt.org/indexphp?tool=artcls&do=read&id=37

وهذه المخاوف لها ما يبررها، فقد أظهرت بعض الدراسات التي أجريت على الحيوانات في المختبر هذه الآثار السلبية، لجسيمات النانو، حيث وجد أن هذه الجسيمات وعند دخولها الجسم تتجمع في الدماغ وخلايا الدم والأعصاب، وهذا بالطبع يعني خطورة بالغة جدًّا، مما يعني أن جسيمات النانو يمكن أن تصنف على أنها مواد تدميرية لجسم الإنسان[1].

وقد ظهرت بعض العلوم الخاصة بدراسة سمية المواد النانوية، ويسمي بـ(علم السموم النانوي)، وهذا العلم[2] يعد فرعًا من فروع علم الأحياء النانوي، وهو يعني بدراسة سمية المواد النانوية بسبب تأثيرات الحجم الكمي والمساحة السطحية الكبيرة، وعلى الرغم من أن بعض المواد تكون خاملة مثل الذهب، فإنها تصبح نشطة للغاية في الأبعاد النانومترية[3]. وقد ظهرت بعض الدراسات العلمية الحديثة التي أشارت إلى أن بعض المواد النانوية لها تأثير مباشر على القلب والأوعية الدموية

(1) المرجع السابق نفسه.

(2) Magrez, Arnaud; et al. (2006). «Cellular Toxicity of Carbon–Based Nanomaterials». Nano Letters 6 (6): 1121–1125. doi:10.1021/nl060162e. PMID 16771565.

(3) http://www.saudicnt.org/indexphp?tool=artcls&do=read&id=37

في الفئران[1]. وهناك بعض الدراسات الطبية التي وجدت روابط بين الجسيمات النانوية وبعض الآثار الصحية، مثل زيادة حالات الربو، وأمراض القلب، والالتهاب الشعبي المزمن، وحتى حالات الوفاة المبكرة[2].

ورغم أنه لم ترصد بعد حالة تسمم واحدة بالمواد المهندسة بتقنية النانو، فإن هناك قلقًا متزايدًا بين الباحثين إزاء المواد السامة التي تحملها الجزيئات المتناهية، وقدرتها على اختراق جدران الخلايا وسريانها مع الدورة الدموية ونفاذها إلى الأغشية الدماغية، والتي تحمي المخ من التأثر بالمواد الكيميائية الضارة التي تجري في الدم.

ويتزايد القلق أكثر لدى الدراسات ذات الصلة بعلوم السموم، وإزاء الطرق التي يمكن لهذه المواد أن تدخل جسم الإنسان، خاصة أن الطريق الأكثر احتمالًا وخطورة هو استنشاق الإنسان لها مع الهواء، ونفاذها عبر الجهاز التنفسي لتستقر بكل جزء من رئتيه مخلفة تأثيرات أكثر خطورة من جزيئات الكربون، فضلاً عن أنه من الثابت أن التعرض لجسيمات المواد

(1) http://www.bloomberg.com/apps/news?pid=washingtonstory&sid=aBt.yLf.YfOo

(2) 4th Nanoforum Report: Benefits, Risks, Ethical ,Legal and Social Aspects of Nanotechnology, june 2004. P.50

الخطرة لفترات طويلة (بحجمها العادي أو النانومتري) يزيد من احتمالية التعرض للإصابة بسرطان الرئة وأمراض القلب بدرجة كبيرة.

ولم يتم إجراء أي دراسات وبائية حول الأخطار الصحية للمواد النانوية المصنعة. وقد بدأ قياس تركيزاتها في أماكن العمل، لكنه ليس واضحًا بعد ما إذا كانت النماذج الحالية لبروفيلات التركيزات المحلية والزمانية تنطبق في حالة الجسيمات النانوية الجديدة. ولا توجد[3] – خلاف اتفاقية بين عدد قليل من المعاهد الأوروبية للسلامة المهنية– أي معايير دولية بخصوص طرق قياس الجسيمات النانوية، وتقدير مدى التعرض لها. وقد أنشأت المنظمة الدولية لتوحيد المقاييس (ISO) لجنة معنية بالتكنولوجيات النانوية[4]، بغية وضع معايير تقوم على المعارف العلمية في مجالات الصحة والسلامة والبيئة. وإلى أن تتوفر المعايير في هذا الميدان، فإن عمليات تبادل الخبرات بين مهندسي القياس والعلماء ستتسم بأهمية خاصة.

وتنطبق الإستراتيجيات المعروفة للإقلال من التعرض في مكان العمل على التعامل مع المواد النانوية. حيث يتم تقييم

---

(3) المرجع السابق نفسه.

(4) ISO Technical Committee (TC) 229 Nanotechnologies

تدابير الحماية الملائمة وتعريفها من جانب أخصائيي الصحة المهنية كجزء من عملية تقييم الأخطار في كل أرجاء الشركات ذات الصلة. وينطبق في بعض البلدان مبدأ ضرورة اعتبار المواد الجديدة، التي لا تُعرف خصائصها مصدر خطر محتمل. ويتعين اتخاذ تدابير الحماية التنظيمية أولًا بأول، وأن تدعمها تدابير الحماية التقنية واستبدال المستحضرات التي تشكل منها المساحيق.

ويعد الإسبستوس (**شكل 44**) من أهم الأمثلة التي ظهرت أخطارها الصحية على الفرد، فخطورته تنبع من أن أليافه متناهية الصغر، وحين تصل إلى الجسم البشري يصعب طردها من داخله، وهو ما يجعله سببًا في الإصابة بالعديد من أنواع السرطانات، واستنشاق هذه الألياف يمكن أن يؤدي إلى الأسبستوسايس Apestososis، وهو مرض يصيب الرئة، يؤدي تدريجيًّا إلى منع التنفس[1].

والارتباط بين خطر الأسبستوسايس والمواد النانوية أمر واضح، فإن التأثيرات الصحية الممكنة اتضح أنها تأثيرات مزمنة وليست حادة، ولا تبدأ بالظهور إلا بعد أعوام من التعرض

(1) Toby Shelly, Nanotechnology: New Promises, New Danger, Zed Books, London and New York, 2006

لها، وعندما تظهر تلك الأعراض، فإنه يمكن التكهن بالخسارة الكبيرة المتراكمة، فيما يتعلق بالأضرار الصحية، وهو ما جعل شركات التأمين العالمية مثل شركة Swiss Re تقدم دراسة تقوم على فحص دقيق لكل الجسيمات النانوية بدلًا من تركيز البحوث الطبية الحالي على الأنابيب النانوية[1].

وأظهرت دراسة جامعة أكسفورد أن نانو جزيئات ثاني أكسيد التيتانيوم الموجود في المراهم المضادة للشمس أصابت الحمض النووي DNA للجلد بالضرر. كما أظهرت دراسة من مركز جونسون للفضاء والتابع لناسا أن أنابيب الكربون النانوية تعد أكثر ضررًا من غبار الكوارتز الذي يسبب السيليكوسيس، وهو مرض مميت يحصل في أماكن العمل.

وأوضح سيتون انتوني من معهد طب في ادنبره (اسكتلندا) في دراسة نشرها أخيرًا: أن أنابيب الكربون النانومترية التي تعد بثورة تكنولوجية غير مسبوقة، قد تكون ضارة وقاتلة للكائنات الحية، بما فيها الإنسان لذا يجب التعامل مع هذا العلم بحرص شديد، وقد طالب باستبعاد الأغذية والزراعة من هذا التطور التكنولوجي، حفاظًا على البشر. فمن المعلوم أنه إذا ما تم

(1) Nanotechnology: Small matter, Many Unknowns,Swiss Re, Zurich, 204, p. 42

امتصاص الجزيئات النانوية عبر جذور النباتات والأشجار أو عبر الهواء، فإنها ستصل حتمًا إلى الإنسان والحيوان عن طريق الغذاء. وهنا تكمن الخطورة، وخاصةً إذا احتوت هذه الجزيئات خلال مراحل تصنيعها على مواد ضارة[1].

كما تبين آخر التطورات التي طرأت على تكنولوجيا النانو أنه تم تطوير جوارب تحتوي على جزيئات الفضة (نانو سيلفر) تمنع رائحة القدمين، لكن تبين أن لها عواقب وخيمة على جسم الإنسان. فهذه الجزيئات بكتيرية، وهي قادرة على قتل البكتيريا النافعة المهمة في تحطيم المواد العضوية في النفايات ومحطات المعالجة أو المزارع.

وهنا يمكننا أن نخلص إلى أربعة جوانب مخيفة تتعلق بتقنية النانو، وهي:

1. الجسيمات النانوية العالقة يمكن أن تمنع عمل الرئتين، وذلك من خلال تهييجها، ويكون التأثير أشد كلما صغر حجم الجسيمات؛ لأن مساحة السطح تكون أكبر.
2. المادة النانوية قد تكون نوعًا من أنواع السموم المعروفة، وتجد طريقها للجسم حتى من خلال وسائل الحماية

(1) تكنولوجيا النانو.. العواقب المحتملة وشدة العواقب: محمد هاشم البشير، المرجع السابق.

التقليدية، مثل كمامات الوجه؛ نظرًا لصغر حجم تلك الجسيمات.

3. تمتلك بعض الجسيمات النانوية تأثيرًا محفزًا يمكنها أن تولد جذورًا حرة (Free radicals)، وهذه الجذور الحرة عادة ما تولد الأورام السرطانية في الجسم.

4. يمكن لهذه المادة أن تكون ذات خصائص ضارة عند مستويات النانو، بحيث لا تظهر هذه الخصائص عند مستويات أكبر، وقد تم اكتشاف ذلك من خلال البحوث التي تجري على جسيمات التلوث الهوائي[1].

ثانيًا: قضايا بيئية (أخطار على البيئة):

يعد تلوث تقنيات الصغائر مصطلحًا عامًا وشاملًا لكل النفايات الناجمة عن استخدام أجهزة التقنية المصغرة، أو خلال عملية تصنيع مواد تقنيات الصغائر. وقد تعد تلك النفايات على درجةٍ عاليةٍ من الخطورة، ذلك بسبب حجمها. حيث تستطيع أن تطير في الهواء، وقد تخترق بسهولةٍ الخلايا الحيوانية والنباتية مسببةً بذلك تأثيراتٍ مجهولةٍ لكلٍ منهما. كما أن معظم جزئيات الصغائر التي صنعها الإنسان غير مرئيةٍ

(1) Toby Shelly, Nanotechnology: New Promises, New Danger, Zed Books, London and New York, 2006

في الطبيعة، ومن ثم قد لا تمتلك الكائنات الحية وسائلًا ملائمةً للتعامل مع تلك النفايات المصغرة[1].

إن التوسع المتوقع في إنتاج المواد النانوية بدون ضابط سوف يثير جملة من الأسئلة البيئية، ومدى تأثير تلك المواد على البيئة من حولنا، وعلى الإنسان الذي يعيش في تلك البيئة، وعلى غذائه الذي يتناوله؟ وحتى الآن لا تتوفر الكثير من المعلومات حول مصير الجسيمات النانوية بعد تغلغلها في البيئة وتحولها من صورة إلى أخرى، ولا أحد يعرف مقدار سميتها أم أنها غير سامة، وهل تكون هذه السمية في خلال أشهر أم سنوات؟ لذا فإن المنتجات النانوية يمكن أن تكون ملوثات حيوية بيئية غير قابلة للتحلل[2].

أشارت بعض الدراسات إلى تأثير مواد النانو على البيئة، وإمكانية التصاقها بالسلسلة الغذائية، وبذلك أصبح من اللازم دراسة ماهية مواد النانو وتأثيراتها البيئية المختلفة. ورصدت بعض التقارير الأوروبية بعضًا من الأضرار التي سوف تلحق

(1) Gyorgy Scrinis. «Nanotechnology and the Environment: The Nano–Atomic reconstruction of Nature»

(2) 4th Nanoforum Report: Benefits, Risks, Ethical,Legal and Social Aspects of Nanotechnology, june 2004. P.50

بالموارد الطبيعية والمقومات البيئية للأرض والهواء والماء، وتخلص إلى أن البيئة كلها مهددة من التوسع في انتشار تقنية النانو[1]. وهناك بعض المخاوف التي أفصح عنها الباحثون حول الجسيمات النانوية لثاني أكسيد التيتانيوم، التي يبدو أنها تقضي على البكتيريا، ومدى تأثيرها على بيئة التربة.

كما حذر العلماء من عدم القدرة على التعرف على تأثير الألوان الداكنة التي تحملها الجسيمات النانوية العالقة بالماء والهواء ومدى صلاحيتهما للاستخدام، وأثرها على التمثيل الضوئي للنبات، وأبدوا مزيدًا من الخوف حول تزايد الأخطار الصحية المحتملة لذلك، وأثاروا العديد من التساؤلات عن سرعة رد فعل جزيئات المواد المختلفة عندما تصغر إلى الحجم النانومتري، وهناك عدد من المنتجات الغذائية التي غزت الأسواق، التي أثبتت الأبحاث أنها تحتوي على مواد نانوية، وذلك وفقًا لما ذكرته مجموعة إي تي سي[2]. وكذلك التلوث الناجم عن الارتفاع الكبير لمعدلات الامتصاص لتلك الجسيمات، حيث تسلك العناصر المصغرة للحجم النانومتري، نظرًا إلى صغر

(1) Nanotechnology: Small matter, Many Unknowns,Swiss Re, Zurich, 2004, p. 42

(2) Down on the Farm: The impact of Nanoscale Technologies on Food & Agriculture, ETC Group, Ottawa, November, 2004

حجمها الشديد ومساحتها الكبيرة، مسلكًا مغايرًا للمعهود عنها في حجمها الطبيعي. وتناولت معظم البحوث الجسيمات الأكبر حجمًا، وخرجوا بنتائج تؤكد على الحاجة إلى اتباع نهج علمي لرصد ومعالجة درجة السمية العالية للملوثات، فهناك حاجة ماسة إلى تحديد تكوين جسيمات المعادن الثقيلة مثل الكادميوم والزئبق والزرنيخ في الهواء، كما أن التكنولوجيات التقليدية كثيرًا ما تكون غير كافية لخفض تركيزات تلك العناصر السامة في مياه الصرف إلى مستويات مقبولة.

ولعل أهم أخطار تقنية النانو على البيئة في شكلين: أحدهما، التراكم البيولوجي[1]. الذي ينشأ من تراكم مواد النانو غير المرغوب فيها.والآخر، في صغر حجمها، حيث سيصعب كشفها وتنظيفها وإزالتها من البيئة[2].

وعلى الجانب الآخر، قد يمكن الاستفادة من بعض تطبيقات النانو المتاحة في المستقبل لخدمة الأغراض البيئية. حيث تستند أحد فئات أساليب الترشيح على استخدام الأغشية ذات أحجام الثقوب الملائمة، مما يسمح بحجز السائل خلف

(1) 4th Nanoforum Report: Benefits, Risks, Ethical,Legal and Social Aspects of Nanotechnology, june 2004. P.50

(2) SCENIHR (اللجنة العلمية المعنية بالأخطار الصحية الناشئة والمكتشفة حديثًا) تقرير عن أخطار التكنولوجيات متناهية الصغر، 19 كانون الثاني/ يناير 2009م.

ذلك الغشاء. ومن ثم تعد الأغشية نانوية المسام مناسبةً لعملية الترشيح الميكانيكية التي تتسم بأنها ذات مسام أصغر من 10 نانومتر، (قد يتكون من أنابيب نانويةٍ). ويستخدم الترشيح النانوي بشكلٍ رئيس بهدف إزالة الأيونات أو فصل السوائل المختلفة. وتوفر الجسيمات النانوية المغناطيسية طريقةً فعالةً ومعتمدةً في إزالة ملوثات المعادن الثقيلة من المياه المستعملة عن طريق الاستفادة من أساليب الفصل المغناطيسية. ويزيد استخدام الجسيمات النانوية من فعالية القدرة على امتصاص الملوثات بالإضافة إلى أنها عمليةٌ ليست بالمكلفة بالمقارنة مع طرق الترسيب والترشيح التقليدية. هذا بالإضافة إلى أنه قد يكون لتقنية النانو تأثير عظيم على عملية إنتاج الطاقة النظيفة.

وما زالت الأبحاث جارية بهدف استخدام المواد النانوية لأغراضٍ تشتمل على خلايا شمسية أكثر كفاءةٍ بالإضافة إلى خلايا وقود عملية وبطاريات صديقة للبيئة.

ثالثًا: قضايا اجتماعية (الآثار الاجتماعية لتقنية النانو):

وبعيدًا عن الأخطار المصاحبة للجيل الأول من تقنية النانو، التي تؤثر على كلٍّ من الصحة البشرية والبيئة المحيطة، توجد مجموعة أوسع من التأثيرات الاجتماعية، والتي تفرض المزيد من التحديات الاجتماعية عريضة المدى. حيث اقترح علماء

الاجتماع أن يجب فهم القضايا الاجتماعية المصاحبة لتقنية الصغائر وتقييمها بشكلٍ ليس بالبسيط؛ حيث لا يُنظر إليها على أنها مجموعة من التأثيرات أو الأخطار الجارية فقط[1].

قد توفر تقنيات الصغائر حلولًا جديدةً للملايين من المقيمين بالدول النامية، الذين يفتقرون الوصول إلى الخدمات الرئيسة، ومنها المياه الآمنة، موارد الطاقة الثابتة، الرعاية الصحية، وفرص التعليم. وقد أقرت الأمم المتحدة الأهداف الإنمائية للألفية لمواجهة تلك المتطلبات. وقد لاحظت فرقة الأمم المتحدة المعنية بالعلوم والتكنولوجيا والابتكار: أن بعضًا من مزايا تقنية الصغائر تتضمن الإنتاج بالاعتماد على قوة العمل القليلة والأرض والصيانة والإنتاجية العليا والتكلفة المنخفضة والمتطلبات المتواضعة من المواد والطاقة.

تشتمل الفرص المتوقعة لتقنيات الصغائر في المساعدة على مواجهة أولويات التنمية العالمية الحرجة على أنظمة تنقية المياه المحسنة، أنظمة الطاقة، الطب والأدوية، إنتاج الأغذية وكذلك التغذية، هذا بالإضافة إلى تكنولوجيا المعلومات

(1) Kearnes, Matthew (2006). «From Bio to Nano: Learning Lessons from the UK Agricultural Biotechnology Controversy». Science as Culture 15 (4): 291–307. Routledge. doi:10.1080/09505430601022619. Retrieved on 2007–10–19.

والاتصالات. كما نلاحظ أن تقنية الصغائر قد تم دمجها بالفعل في المنتجات والسلع المتوافرة بالسوق. إلا أن المزيد من تقنيات الصغائر ما زالت في طور البحث، في حين أن بعضها الآخر ما زالت سوى مجرد أفكارٍ تحتاج إلى سنين وعقودٍ ليتم تطويرها وتنميتها.

وعلى الرغم من أن التقنية الجديدة سوف تمنح مستخدميها سبل التقدم والازدهار، إلا أنها سوف تعيق آخرين، وتجعلهم في مؤخرة الركب، وتشكل نوعًا جديدًا من الطبقية. وبرغم أن التقنية سوف تساعد في تخفيف بعض المعاناة مثل نقص الغذاء وسوء التغذية في الدول النامية، إلا أنها سوف تشكل في الوقت نفسه طبقية اقتصادية داخل الدول المتقدمة، وبينها وبين الدول النامية[1].

وثمة عدد من التقارير[2] تدعو إلى التزام جانب الحذر في استحداث وتسويق المواد متناهية الصغر المصنعة؛ وتبحث

(1) (Philip Anton; Richard Silbirglitt and James Schneider, The Global Technology Revolution, RAND National Defence Research institute, Santa Monica, 2001, P.xvii

(2) The Royal Society and the Royal Academy of Engineering: Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncerntainties; 2004, page 8.

لجان الأخلاقيات مفهوم الحذر هذا، وقضايا أخرى أيضًا اعتبرت ذات أولوية مثل: الاتفاق على الأخطار المقبولة أو غير المقبولة اجتماعيًّا[1]، وتطبيق التكنولوجيا متناهية الصغر والتكنولوجيات الأخرى «للنهوض بالإنسان»، وتوزيع المنافع على الصعيدين الاجتماعي والعالمي، والتكاليف والأخطار، وقضايا الملكية أو براءات الاختراع، والأخطار المتصلة بصحة وسلامة العمال، والبيئة والمجتمع، والإشراف التنظيمي، ومشاركة المجتمع في اتخاذ القرارات.

ينص مطبوع[2] صادر عن اليونسكو عام 2006 على أنه «... يتعين تعريف وتحليل القضايا الأخلاقية المتصلة بالتكنولوجيا النانوية كي تمكن توعية الجمهور عمومًا، والمجموعات المتخصصة وصانعي القرارات بالآثار التي تنطوي عليها التكنولوجيا الجديدة. وبالنظر إلى سرعة تطور التكنولوجيا النانوية، فإن الأمر يتطلب اتباع منهج استباقي إزاء

(1) Kearnes, Matthew; Grove–White, Robin& Macnaghten, Philet al.(2006),»From Bio to Nano: Learning Lessons from the UK Agricultural Biotechnology Controversy»,Science as Culture, Science as Culture(Routledge)15(4): 291–307, December 2006, DOI:10.1080/09505430601022619.

(2) The Ethics and Politics of Nanotechnology (UNESCO, 2006) http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001459/145951e.pdf.

القضايا الأخلاقية هذه...» ومن وجهة نظر اليونسكو، فإنه حتى لو كانت الدول منهمكة في إجراء البحوث بصورة نشطة في مجال التكنولوجيا النانوية، فيتعين مع ذلك أن يكون لها حصة في تعريف النواتج المطروحة ومسار البحوث الفعلي، وفقًا لمعايير الإنصاف والعدالة والمساواة «... ويهتم مواطنو كل دولة في هذه المرحلة المبكرة بفهم ما ستصير إليه التكنولوجيا النانوية وما يمكن أن تكون».

ويعرض مطبوع اليونسكو عددًا من القضايا الأخلاقية التي ستواجه المجتمع الدولي في المستقبل القريب. ويفيد التقرير أنه بالنظر إلى إضفاء الصبغة التجارية على استخدام المواد النانوية وعمليات الإنتاج على النطاق النانوي يمكن أن يثير ذلك قضايا أخلاقية وسياسية جديدة، ويحيي قضايا قديمة. ويقول التقرير أيضًا: إنه «لدى اختصاصيي التكنولوجيا النانوية وعيًا مفرطًا لضرورة دراسة كل من الاستعمالات الممكنة، والأضرار المحتملة قبل وقت طويل من تسويقها. ويعد هذا الإدراك والتوجه التحفظي نحو البحوث المشتركة أمرًا جديدًا». ويلاحظ أن الإطار المؤسسي والتنظيمي لمعالجة هواجس كل المصالح المتنافسة بوضع معايير وممارسات دولية فضلى واعتمادها لم يتطور بصورة جيدة بعد.

ويقول التقرير: إن سهولة الاتصالات وإتاحة المعلومات للخبراء في معظم البلدان تدل على أن التكنولوجيا النانوية ستكون مشروعًا علميًّا دوليًّا يتعين النهوض به، وأن فجوة المعارف القائمة بين البلدان قد تبدو مختلفة عما كانت عليه في الماضي بوجود احتمال أن تكون أكبر الفجوات ضمن الدول وليس بينها. ومما يتصل بذلك طرح التساؤلات عن كيفية تحقيق بحوث التكنولوجيا النانوية المنافع لأشد الناس فقرًا أمر يتعين تشجيعه، والمثال على ذلك الاضطلاع ببحوث عن التطبيقات التي يمكن أن تتناول الأهداف الإنمائية للألفية.

وثمة مسألة ذات صلة بما سبق ألا وهي إلى أي مدى ستستفيد جميع الدول على قدم المساواة من المعارف العلمية الجديدة- عن التكنولوجيا النانوية والبحوث المبتكرة بوجه أعم. ويتحدث التقرير عن الآثار التي قد تترتب على قضايا حقوق الملكية الفكرية وعائداتها، والتدقيق من قبل الرأي العام والمساءلة عن البحوث، واستخدام المعلومات العلمية في سياق جهود مكافحة الإرهاب كلها قد تؤثر على نوع هذا العلم وجودته. وقد يسفر قصور البنية الأساسية اللازمة لإدارة البحوث العلمية الجيدة عن عجز البلدان النامية عن الحصول على أكثر المعارف والممارسات العلمية معوّلية.

ومن المحتمل في غياب التشريعات الدولية التي تقنن امتلاك هذه التقنية وتطويرها أن تصبح متاحة للجميع، ومن الممكن في المستقبل أن تكون متاحة حتى لأفراد وجماعات، فامتلاك المعرفة يمكن من تصنيع المواد متناهية الصغر في مختبرات سرية صغيرة يصعب أو يستحيل كشفها، وحتى في صالات الطعام أو غرف النوم.

يرى المراقبون أنه لا سبيل إلى منع انتشار هذه التقنية إلا بعقد اجتماعي جديد، وقد يقتضي الأمر مراقبة الجميع على الدوام، والتعرف على كل صغيرة وكبيرة، فتنتهك بذلك حقوق الإنسان وتتهتك الأستار. إنه من الممكن توظيف تقنية النانو في مجال التجسس على الأشخاص، بل من الممكن أن تزرع في أدمغتهم أجهزة متناهية الصغر تقرأ أفكار الناس وتبعث بها لمركز المعلومات، ويتم هناك تحليلها ثم التعاطي معها. وقد تزود هذه الأجهزة بقدرات تمكنها من شل قدرات حتى من يفكر خلافًا لما يهواها من يملك التقنية.

رابعًا: «غراي غو»: الأخطار المصاحبة للرؤية المتوقعة لتقنية النانو الجزيئية:

تكنولوجيا النانو الجزيئية هي مجال فرعي تأملي ضمن دراسة تقنية النانو مع الوضع في الاعتبار هندسة المجمعات

الجزيئية، وهي الآلات التي تعيد تنظيم المادة على الصعيد الجزيئي أو الذري. وعندما يتعلق الأمر بأخطار التصنيع الجزيئي، فغالبًا ما يتم الاستشهاد بأسوأ سيناريو وقع، والمتمثل في «غراي غو»[1]، والذي هو عبارة عن مادة افتراضية تحول فيها سطح الأرض بواسطة التكرار الذاتي للنانوبوت فوضوية التشغيل. وقد قام فريتاس[2] بتحليل ذلك التصور،حيث ظهر سيناريو مختلف يدعى «غرين غو» مع حلول تقنية النانو الحيوية.

(1) يشير مصطلح غراي غو، الذي يكتب باللغة الإنجليزية إما (بالإنجليزية: Grey goo) أو (بالإنجليزية: gray goo) إلى ذلك السيناريو الافتراضي عن نهاية العالم، والذي فيه تستهلك الروبوتات ذاتية التكرار، والتي لا يمكن السيطرة عليها محل كل صور المادة على الكرة الأرضية، في حين تقوم في الوقت ذاته بإنشاء المزيد منها (روبوتات مثيلة)، حيث يطلق على ذلك السيناريو إيكوفاجي أو (بالإنجليزية: ecophagy)، والذي يُعَبِر عن «أكل البيئة واستهلاكها»).انظر: http: / /ar.wikipedia.org

(2) Freitas Jr. Robert A. (2000–04–00). Some Limits to Global Ecophagy by Biovorous Nanoreplicators, with Public Policy Recommendations. Retrieved 2009–12–28.

المبحث الثالث

أخطار النانو.. نظرة دولية

لقد بدأت بعض المؤسسات المعنية مثل: وكالة حماية البيئة، وإدارة الدواء والغذاء في الولايات المتحدة، ودائرة حماية الصحة والمستهلك التابعة للاتحاد الأوروبي بالتعامل مع الأخطار المتوقعة من الذرات النانوية[1].

ويجري المعهد القومي للسلامة المهنية والصحة العديد من الأبحاث حول كيفية تفاعل الجزئيات النانوية مع أنظمة الجسم وكيفية احتمالية تعرض العاملين في المصانع أو في أثناء الاستخدام الصناعي للمواد النانوية للجزئيات النانوية الحجم. حيث يُصدر المعهد القومي للسلامة المهنية والصحة الإرشادات المتوافقة مع أفضل المعرفة العلمية والهادفة للتعامل مع المواد النانوية[2].

---

(1) Bowman D, and Hodge G(2007),»A Small Matter of Regulation: An International Review of Nanotechnology Regulation»,Columbia Science and Technology Law Review8: 1–32

(2) Approaches to Safe Nanotechnology: An Information Exchange with NIOSH. United States National Institute for Occupational Safety and Health.

وقد اقترحت إ. مارلا فلتشر من «لجنة سلامة المنتجات الاستهلاكية وتقنية النانو»[1]: أن: لجنة سلامة المنتجات الاستهلاكية، التي تعد مسئولةً عن حماية الجمهور من أية أخطار غير مبررةٍ للإصابة أو الموت المصاحب لمنتجات المستهلك، غير مجهزةٍ بشكلٍ جيدٍ للإشراف على سلامة المنتجات المعقدة عالية التقنية والمنتجة بواسطة تقنية النانو.

وقامت منظمة الأغذية والزراعة ومنظمة الصحة العالمية بعقد اجتماعات مشتركة للخبراء بهدف تحديد الفجوات في المعارف بما في ذلك قضية سلامة الأغذية، واستعراض إجراءات تقييم الأخطار الراهنة، ومن ثم دعم المزيد من البحوث في ميدان سلامة الأغذية ووضع مبادئ إرشادية عالمية بشأن المنهجيات الملائمة والصحيحة لتقييم إمكانية نشوءأخطار تتعلق بسلامة الأغذية بسبب الجسيمات متناهية الصغر.

وبالرغم من الفوائد والتطبيقات المتعددة لاستخدامات تقنية النانو في الصناعات الغذائية؛ فإنه لا بد من التريث،

(1) Felcher, EM. (2008). The Consumer Product Safety Commission and Nanotechnology.

ودراسة كل ما هو جديد على صحة الإنسان والبيئة[1]؛ إذ أصبحت البحوث العلمية من الضروريات اللازمة للتعرف على التأثيرات المصاحبة لتقنية النانو.

ولقد نشرت منظمة Green peace العالمية بيانًا بيَّنت فيه أنها لن تدعو إلى الحظر على أبحاث النانو؛ مشيرة إلى أن الإنسان اليوم هو على أبواب عصر جديد، ومرحلةٍ جديدةٍ مختلفة تمامًا عن القرن السابق، ولكنها دعت إلى محاولة تقليص السلبيات قدر الإمكان[2].

ولقد شكلت منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي (OECD) في إطار لجنتها الكيميائية فريق عمل معني بالمواد النانوية المصنعة. والهدف منه النهوض بصحة الإنسان وسلامة البيئة، إلى جانب الآثار المترتبة على المواد النانوية المصنعة بغرض المساعدة على تطويرها بصورة مأمونة، (ويقتصر ذلك بصورة رئيسة على قطاع المواد الكيميائية الصناعية). وتندرج المشاريع الثمانية التالية في خطة عمل فريق العمل المعني بالمواد النانوية المصنعة:

(1) Bowman D, and Fitzharris, M(2007),»Too Small for Concern? Public Health and Nanotechnology»,Australian and New Zealand Journal of Public Health31(4): 382–384, DOI 10.1111/j.1753–6405.2007.00092.x

(2) http://uqu.edu.sa/page/ar/64778

- وضع قاعدة معطيات تابعة لمنظمة (OECD) بشأن بحوث صحة الإنسان وسلامة البيئة.
- الإستراتيجيات المتعلقة ببحوث صحة الإنسان وسلامة البيئة، والمتصلة بالمواد النانوية المصنعة، (بما في ذلك الصحة والسلامة المهنيتين).
- إجراء اختبار المأمونية على مجموعة تمثل المواد النانوية المصنعة.
- المواد النانوية المصنعة والدلائل الإرشادية لاختبارها.
- التعاون بشأن الخطط الطوعية والبرامج التنظيمية.
- التعاون في تقدير الأخطار.
- دور الطرق البديلة في السميات النانوية.
- قياس التعرض وتخفيف التعرض.

وأنشأت اللجنة المعنية بالسياسة العلمية والتكنولوجية في منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي فرقة عاملة معنية بالتكنولوجيا النانوية، هدفها تناول موضوع تطوير واستخدام التكنولوجيا النانوية على نحو يتسم بالمسئولية، وكذلك المنافع المحتملة التي يمكن أن تقدمها هذه التكنولوجيا

للمجتمع، مع مراعاة التصورات العامة المتعلقة بأوجه تقدم التكنولوجيا النانوية وتلاقيها مع التكنولوجيات الأخرى، وذلك دون إغفال القضايا القانونية والاجتماعية والأخلاقية ذات الصلة. وتندرج المشاريع التالية في خطة عمل الفرقة العاملة المعنية بالتكنولوجيا النانوية[1]:

- الإحصاءات والقياسات.
- الآثار والبيئة الصالحة للأعمال التجارية.
- التعاون الدولي في مجال البحوث.
- التوعية وإشراك الجمهور.
- الحوار حول إستراتيجيات السياسة العامة.
- مساهمة التكنولوجيا النانوية في التصدي للتحديات العالمية.

هذا وأنشأت المنظمة الدولية لتوحيد المقاييس (ISO) اللجنة التقنية رقم 229. ويتم حاليًا تشكيل 3 أفرقة عاملة معنية بما يلي: المصطلحات والتسميات، والقياس والتوصيف، جوانب التكنولوجيا النانوية المتعلقة بالصحة والسلامة والبيئة.

(1) IFCS/FORUM–VI/5 INF

وأنشأت منظمة الأمم المتحدة للتربية والعلم والثقافة (UNESCO) «برنامج أخلاقيات العلم والتكنولوجيا»[1] في عام 1998 م بتشكيل «لجنة عالمية لأخلاقيات المعارف العلمية والتكنولوجيا» بغية إضفاء طابع أخلاقي على العلم والتكنولوجيا وتطبيقاتهما.

ويهدف هذا البرنامج إلى النهوض بحث العلم والتكنولوجيا في إطار أخلاقي باستهلال ودعم عملية إرساء المعايير الديمقراطية. ويقوم هذا الأسلوب على مفهوم اليونسكو المتمثل «بالحوار الحقيقي، القائم على احترام القيم المشتركة بين الجميع ومنزلة كل حضارة وثقافة». ومن ثم يشكل إذكاء الوعي، وبناء القدرات وتحديد معايير مجالات العمل الرئيسة لإستراتيجية اليونسكو في هذا المجال وسائر المجالات الأخرى.

وقد وجهت اليونسكو الدعوة إلى خبراء مشهود لهم في مجال التكنولوجيا النانوية، لبحث أحدث ما في التكنولوجيا النانوية، والجدل الدائر حول تعريفها، والقضايا الأخلاقية والسياسية ذات الصلة بها. ويلخص تقرير صدر عام 2006م

(1) http://portal.unesco.org/shs/en/ev.php-url_id=10581&url_do=do_topic&url_section=201.html

بعنوان: «الجوانب الأخلاقية والسياسية للتكنولوجيا النانوية»[1]، طبيعة علم التكنولوجيا النانوية، ويعرض بعض القضايا الأخلاقية والقانونية والسياسية التي ستواجه المجتمع الدولي في المستقبل القريب. ونشرت اليونسكو مؤخرًا كتابًا بعنوان: «التكنولوجيات النانوية والأخلاقيات والسياسة»[2]. والغرض من هذا الكتاب اطلاع الجمهور عمومًا، والأسرة العلمية، وجماعات المصالح الخاصة وصانعي السياسات على القضايا الأخلاقية البارزة في الأفكار الحالية إزاء التكنولوجيات النانوية وحفز الحوار المشترك والمثمر بين الاختصاصات بشأن التكنولوجيات النانوية الحجم بين أصحاب المصلحة أولئك.

هذا، وتعد الدراسات التي أجريت لمعرفة الأخطار الصحية والأخلاقية لتقنية النانو على الإنسان لا تزال قاصرة؛ لأنها عبارة عن محاولات فردية، إلاَّ أنها قد أضاءت الطريق أمام الأخطار المحتملة من شيوع هذه التقنية.

ما نحتاجه اليوم، هو وعي المجتمع بزحف تقنية النانو في حياة العاملين والمستهلكين، وإعداد إجراءات مطالب متماسكة لضبط الملكية وتطبيقات التقنيات الجديدة. والحرص على

(1) http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001459/145951e.pdf

(2) http://portal.unesco.org/shs/en/ev.php-url_id=10883

وجود أساليب تقييم بين المهتمين بتقنية النانو، تأخذ بمبدأ «السلامة أولًا»، ويجب تعميمها على الحكومات والهيئات الدولية للعمل بموجبها.

الخاتمة

إن التقنية النانوية هي وبلا منازع تقنية القرن الحادي والعشرين، وقد بدأت هذه التقنية الواعدة تدخل في كافة المجالات الطبية والصناعية والإلكترونية والعسكرية، كما أنها تحمل حلولًا للكثير من المشكلات البيئية والصحية والتقنية.

لقد فتح التطور الحاصل في تحضير الجسيمات متناهية الصغر، والتحكم في حجمها ودراسة خصائصها الفيزيائية بابًا كبيرًا في إمكانية استخدامها مع وسائل التشخيص المتوفرة بالمستشفيات، كجهاز التصوير بالرنين المغناطيسي، والتصوير بالموجات فوق الصوتية والأشعة المقطعية، وأجهزة الطب النووي، مما يرفع من كفايتها وقدرتها على اكتشاف الأمراض بشكل مبكر، ويعطي الطبيب معلومات واضحة عن مكان المرض أو النسيج المتمزق وحجمه ومدى انتشاره، وتقدم الدراسات المبدئية حول العالم، لتوظيف التطور الحاصل في تقنية النانو في المجالات الطبية.

إن تقنية النانو هي تقنية المستقبل، والسيطرة عليها تعد البداية لإمكانية إعادة الصياغة أو الصناعة لكل شيء في الوجود، وتشير توقعات المبيعات للأدوية النانوية أنها سوف تتطور من 3 بليون دولار حاليًا لتصل خلال الأعوام القليلة المقبلة إلى حوالي 220 بليون دولار. كما تركز الدول اهتمامها وتوجه شطرها ناحية هذه التقنية، وتصرف على البحث الكثير والكثير، فاليابان قد خصصت حوالي بليون دولار للبحث في هذه التقنية، وخصصت الولايات المتحدة حوالي تريليون دولار عام 2015 م لها، وهناك حوالي (40000) باحث يعملون في هذا المجال حول العالم، ويتواجدون في أكثر من (1500) مركز بحثي في دول العالم المختلفة، وهو ما يجعلنا نلفت الانتباه إلى اللحاق بهذا الركب.

إن إتقان كافة مجالات تقنية النانو يستوجب تسخير جهود بحثية جبَّارة معزَّزة بكادر بشري هائل يمتلك مهارات متقدمة، فضلًا عن الدعم المالي الضخم المطلوب لتغطية مصاريف الجوانب المختلفة لذلك.

وفي الواقع، تعد تقنية النانو حديثة نسبيًّا، ومن ثم ليس من السهل على بلد من البلدان الدخول في جميع دهاليزها والبراعة فيها، وتزداد الصعوبة والتحدي على الدول الأقل تقدمًا والأضعف إمكانات، وعلى ذلك، يتطلب توطين تقنية النانو في

الوطن العربي التركيز على مجالات محددة، تتماشى مع توجهات وأهداف خطط التنمية الوطنية والخطط والسياسات القطاعية المختلفة من ناحية، وتراعي الخبرات البشرية المتاحة لنقل التقنية من ناحية أخرى، سواء داخل مؤسسات التعليم العالي والبحث العلمي أو العاملة في القطاعات الإنتاجية والخدمية.

أولًا: النتائج:

1. تكنولوجيا النانو هي تقنية المستقبل، والسيطرة عليها تعد البداية لإمكانية الفوز بمكانة عالمية مرموقة؛ وهو ما يجعلنا نلفت الانتباه إلى اللحاق بها، والالتفات إليها، والبحث فيها.
2. ثمة العديد من التطبيقات لتكنولوجيا النانو في مجال الطب والأدوية؛ ووجود آفاق مستقبلية لتطبيقات أخرى، مع محاولة رسم ملامح الرؤية العربية المستقبلية في هذا المجال.
3. إمكانية استيعاب تكنولوجيا النانو وتطويعها وفقًا لمتطلبات برامج التنمية في الدول العربية، وتهيئة التشريعات والإدارات الحكومية في البلدان العربية والقوانين الخاصة بتطبيقات النانو عربيًّا.
4. بعض شركات الدواء أصبحت مُدرِكة لأثر تقنية النانو؛ ولذلك قدمت تسهيلات بحثية كثيرة، مازالت في طور البحث والاختبار. ورغم أن هناك فقط بعض الأدوية النانو موجودة

بالسوق، إلا أن الاحتمالات الكبيرة الواعدة سوف تجذب الكثير من المتنافسين في هذا الحقل البكر.

ثانيًا: التوصيات:

في ضوء التحديات العالمية المتنامية التي تواجهها الدول العربية، كان لزامًا عليها التفكير والتعاون بنظرة تكاملية، وأولى ثمار هذا التعاون هو استيعاب وتطوير تقنية النانو وتطويعها وفقًا لمتطلبات برامج التنمية.

وقد خَلُصَ البحثُ إلى مجموعة من التوصيات أبرزها:

5. بناء قاعدة معلومات لتقنيات النانو، تقوم على حصر: الخبراء العرب العاملين في مجال أبحاث وتطبيقات النانو، والمبادرات والأبحاث المنجزة، التي قيد التنفيذ، واتفاقات التعاون بين الدول العربية في مجال أبحاث وتطبيقات تقنية النانو، والبرامج الوطنية لتقنيات النانو في الدول العربية، والمراكز المتخصصة والتجهيزات المعملية بها (أنواعها ومواصفاتها).
6. ضرورة قيام المتخصصين كل في مجاله بالتعريف بتقنيات النانو، والمراحل التي وصلت إليها الأبحاث في هذا المجال لدى المؤسسات المالية التنموية العربية، وحث هذه المؤسسات على المساهمة في تمويل الأبحاث العربية في

هذا المجال، وتوجيه أبحاث الماجستير والدكتوراه لدراسة هذه التقنية كل حسب اختصاصه، والعمل على الاستفادة من الدول المتطورة في هذا المجال، وزيادة النشر المعرفي لهذه التقنية في مناهج الدراسات الجامعية.

7. استحداث قاعدة تكنولوجية عربية متخصصة في تكنولوجيا النانو مع الاستفادة في بنائها من الخبرات البشرية العربية في المهجر، مع الأخذ في الحسبان الخصائص المحلية لكل صناعة في كل بلد عربي وتعمل على تنمية الكوادر البشرية من خلال برامج نظم الخبرة والتكنولوجيا.

8. تعزيز وتقاسم المعلومات عن البحوث وإستراتيجيات البحوث دعمًا لتحليل الأخطار والأخطار المحتملة بالنسبة لصحة الإنسان والبيئة تحليلًا أفضل، ولا سيما فيما يخص المجموعات السريعة التأثر بها والشديدة التعرض لها، واستعراف الفجوات في المعارف الذي قد يكون أمرًا ضروريًّا لتقييم الأخطار والمنافع المحتملة المترتبة على التكنولوجيا النانوية على نحو أكثر فاعلية.

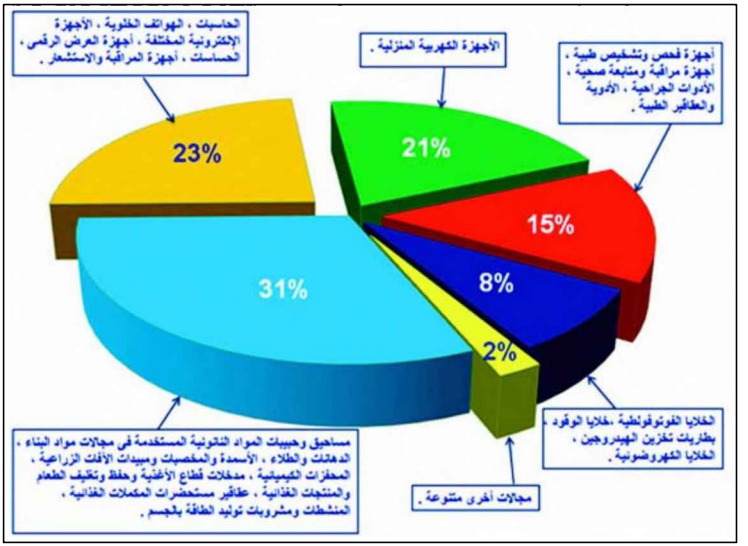
ما أدرجته أعلاه، لا يعدو أن يكون مجرد غيض من فيض في الطاقة الكامنة للتقنيات متناهية الصغر في تحقيق النهضة الطبية والصيدلانية للسنوات القادمة.

والله تعالى أسأل أن يكون عملنا هذا في سبيله عَزَّوَجَلَّ وسبيل طَلَبِ العلم، ومفتاحًا لغيرنا؛ لتناول هذا الموضوع دراسةً وبحثًا.

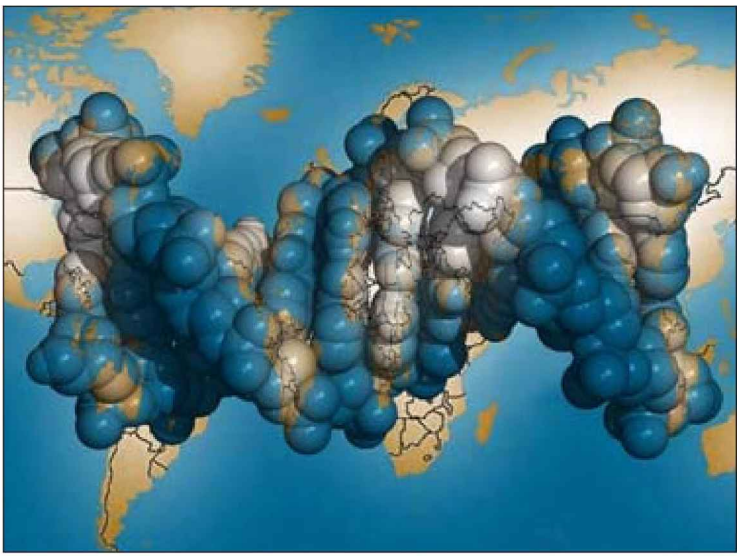
والحمد لله رب العالمين،،،

الملاحق

أولًا: ملحق الأشكال:



(شكل 1) يوضح النسب المئوية لمنتجات تكنولوجيا النانو التي تم طرحها بالأسواق في عام 2008 حيث وصلت قيمتها إلى نحو 146.4 مليار دولار.

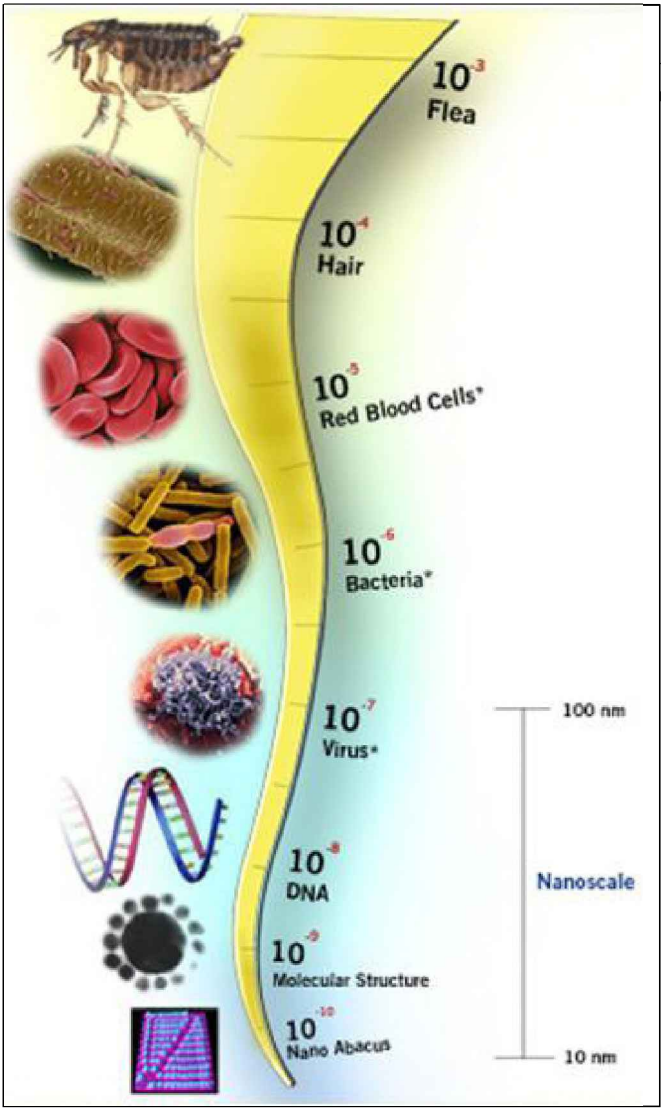


(شكل 2) جديلة DNA.

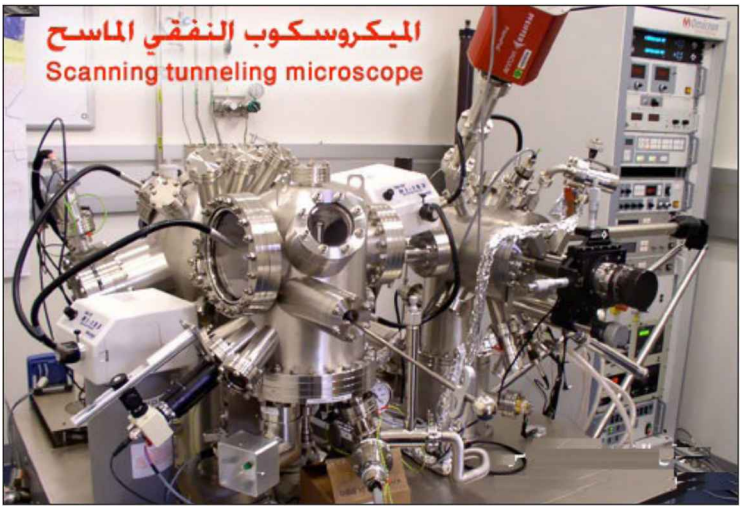
(شكل 3) التقنية النانوية بثورة في علم الغذاء.

(شكل 4) الحصول على تأثيرٍ براقٍ لأسطح الأواني.

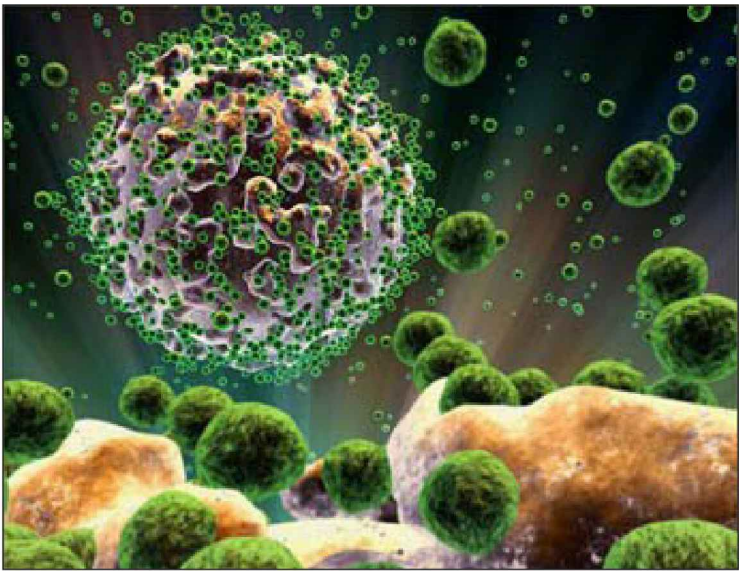
(شـــكل 5) خنجر صُنع نصله من الفولاذ الدمشـــقي نحو عام 1585، وقد عزز النصل ذو الجودة العالية بســـمك إضافي ناحية طرفه المستدق، لاختراق الدروع، لاحظ المقبض المرصع بالزمردة والياقوت.



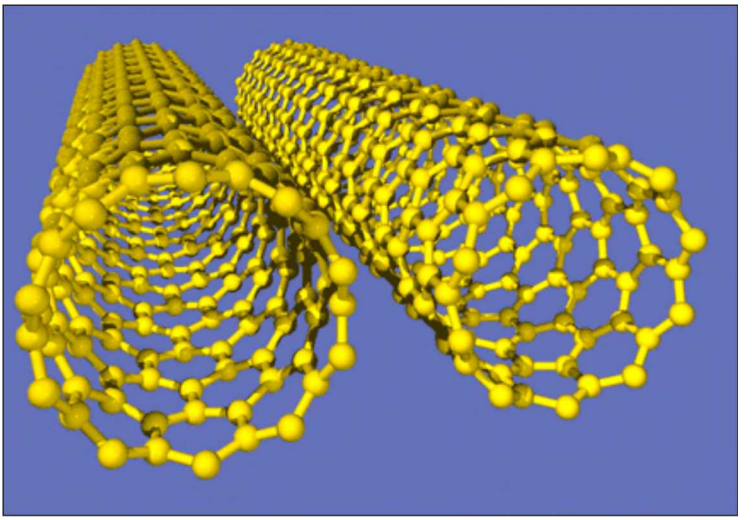
(شكل 6) مقياس النانو.



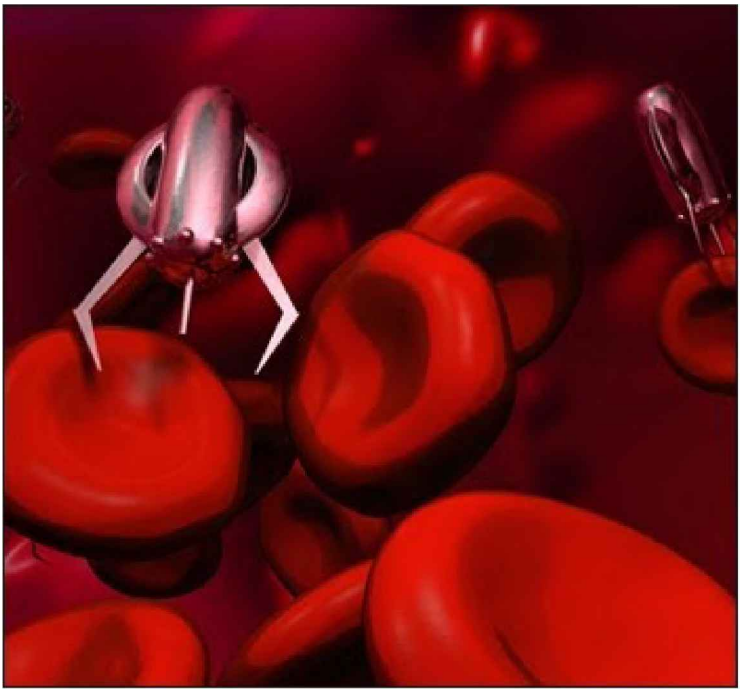
(شكل 7) الميكروسكوب الماسح.



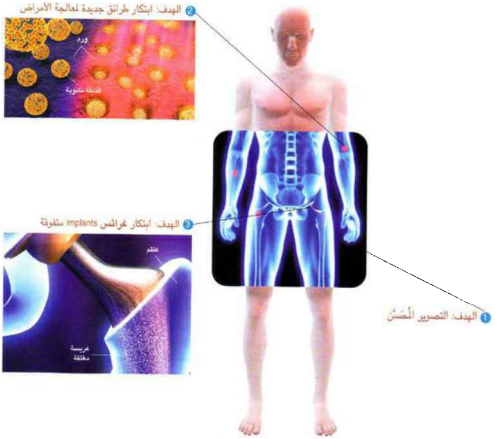
(شكل 8) الجسيم النانوي.



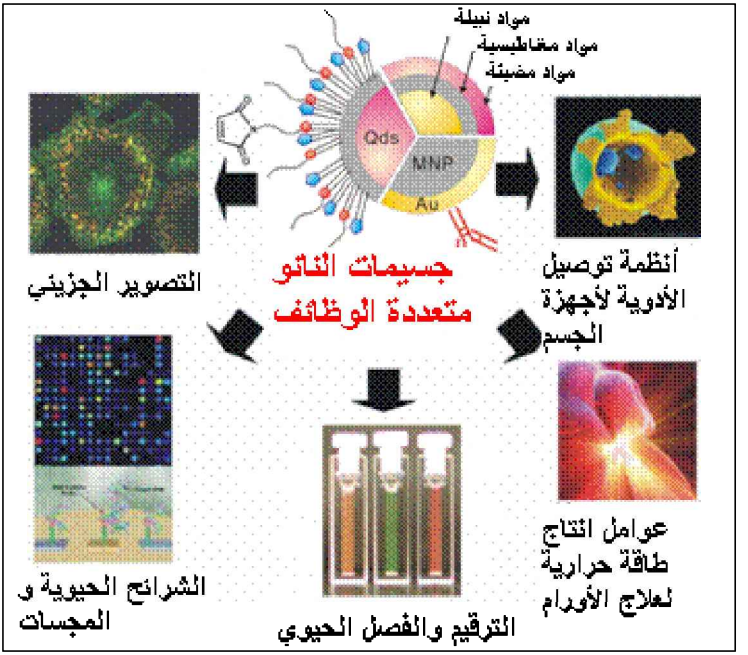
(شكل 9) أنابيب الكربون النانوية.



(شكل 10) جهائز نانوية الحجم.

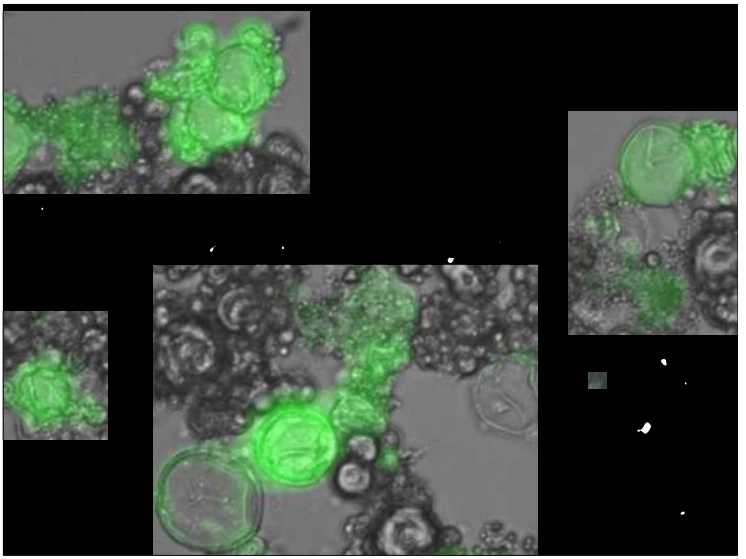


(شكل 11) طب النانو ودوره في منع الأمراض وتشخيصها وعلاجها.

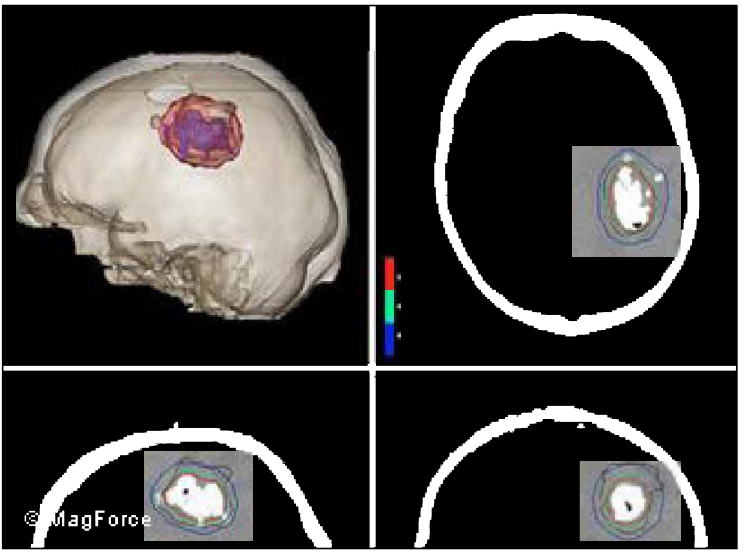


(شكل 12) جسيمات النانو متعددة الوظائف الطبية.

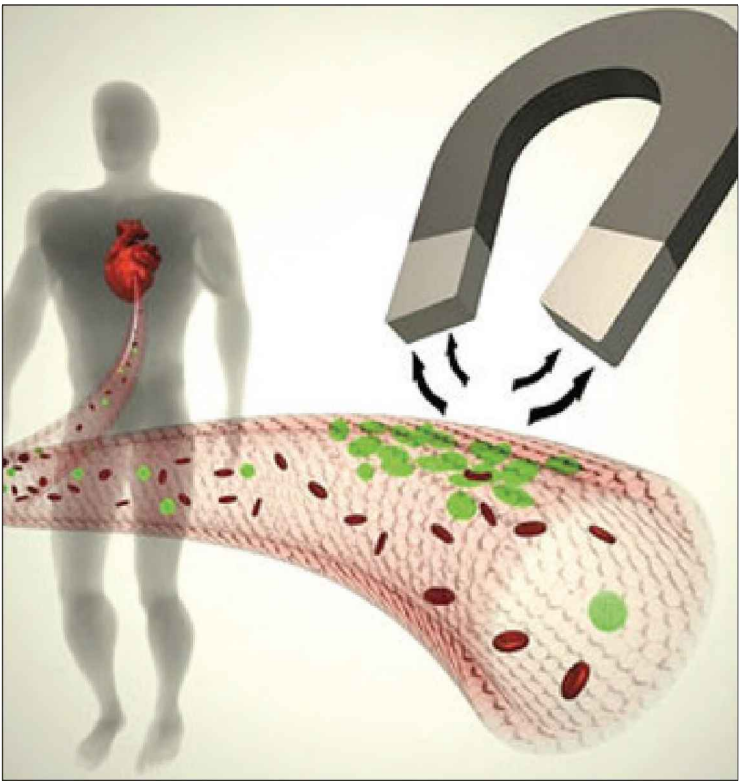
(شكل 13) أنظمة التوصيل الدوائي.



(شكل 14) آلات نانوية تصنع الدواء داخل جسمك.

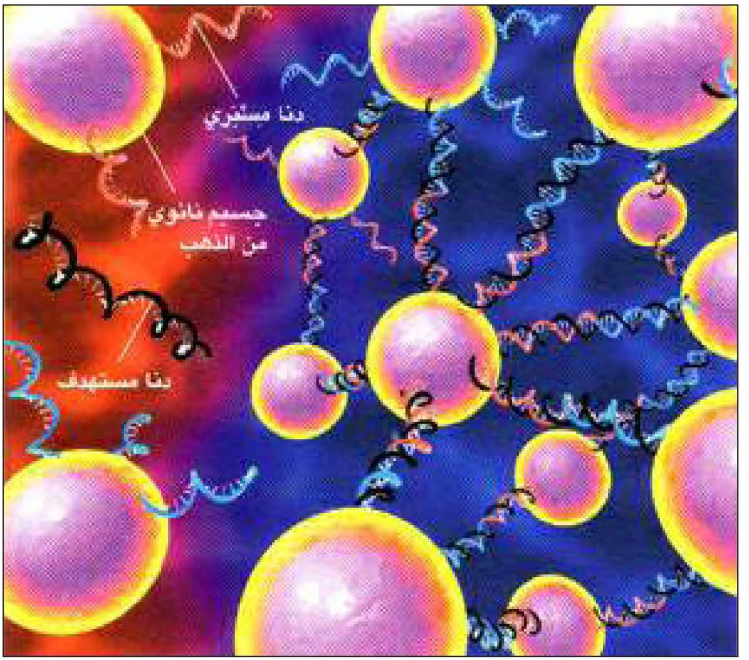


(شكل 15) التصوير الطبي بتقنياته المتعددة.

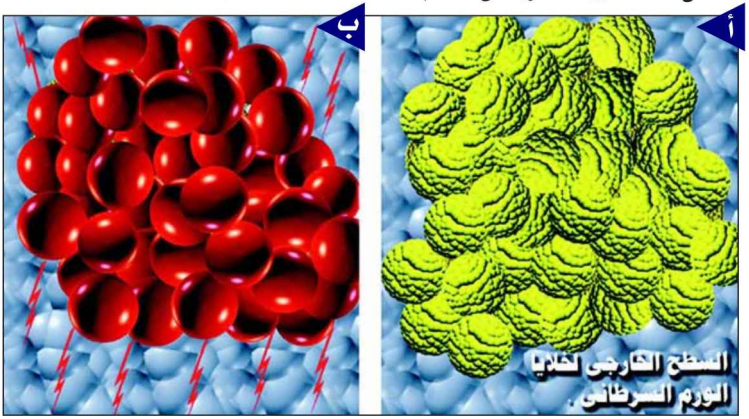


(شكل 16) مغانيط نانوية.

(شكل 17) جسيمات نانوية مغناطيسية.

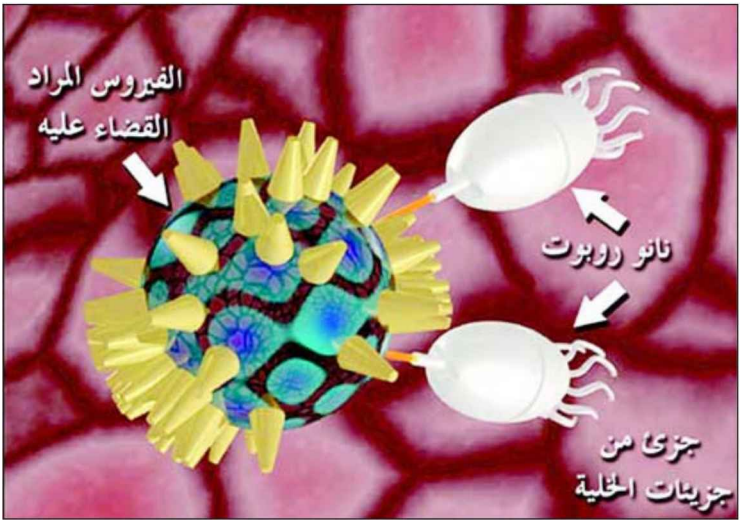


(شكل 18) جسيمات نانوية من الذهب.

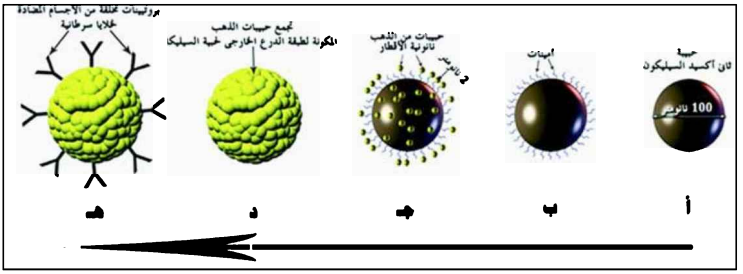


(شكل 19) حبيبات الصدف الذهبية النانوية بعد وصولها إلى «مهابطها» على السطح الخارجي لورم سرطاني بعضو ما داخل جسم الإنسان (أ) حيث يتم تسليط مصدر ضوئي له القدرة في اختراق جسم الإنسان (موجات من الأشعة تحت الحمراء بواسطة مصدر خارجي من أشعة الليزر).

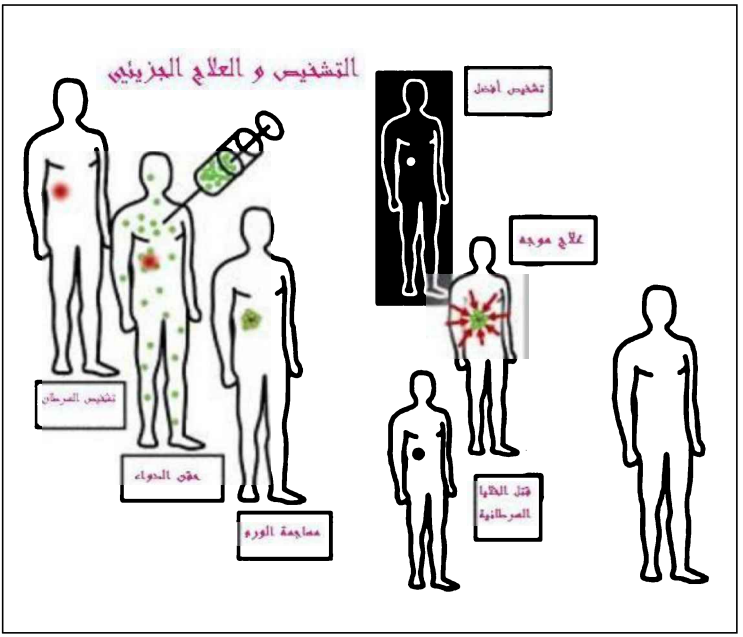
(شكل 20) شكل افتراضي للنانو روبوت المتوقع إنتاجه مستقبلا في أثناء إجرائه لاستئصال موضعي لورم سرطاني داخلي.



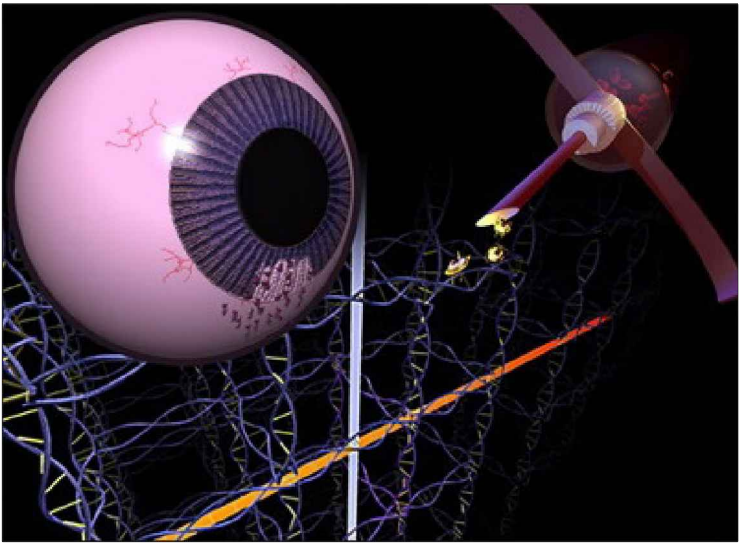
(شـــكل 21) نوع آخر من النانو روبوت يُتوقع إنتاجه مستقبلًا حيث يُستخدم عن طريق توجيهه إلى أحد الفيروسات الغازية لعضو ما بالجسم حيث يقوم بسحقه عن طريق إطلاق أشعة من الليزر بدقة عالية دون أن تتأثر في ذلك خلايا الجسم الحاضنة لهذا الفيروس.

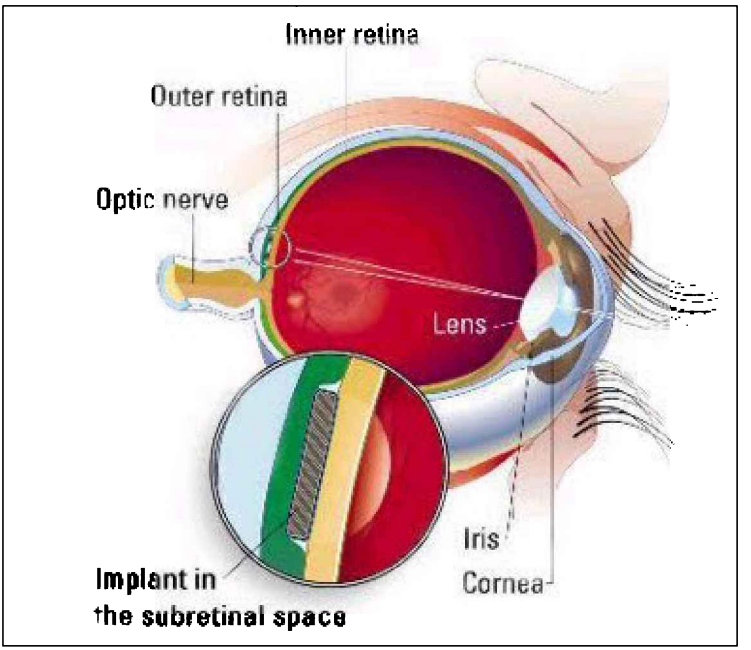


(شـــكل 22) رســـم توضيحي يبين كيفية تحضـــير حبيبات الصدف الذهبية المســـتخدمة كقذائف قاتلة لدحر الأورام السرطانية وقتلها في مراقدها بكفاءة وأمان.

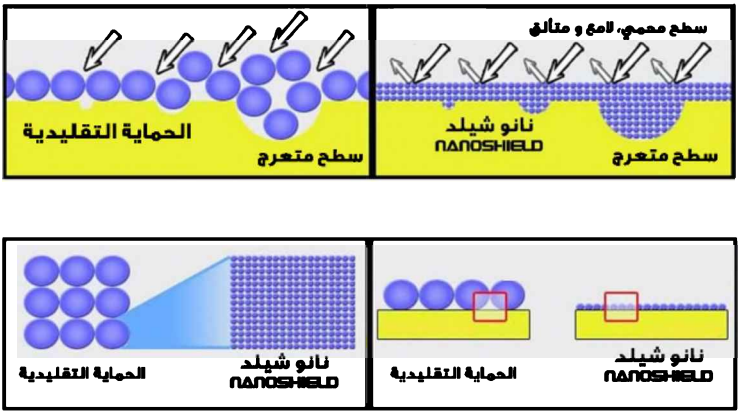


(شكل 23) رسم مبسط لطريقة التشخيص والعلاج الجزيئي للسرطان.

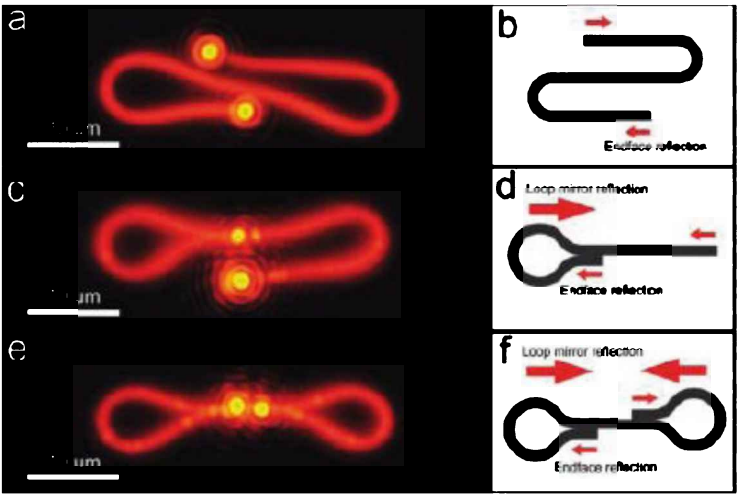




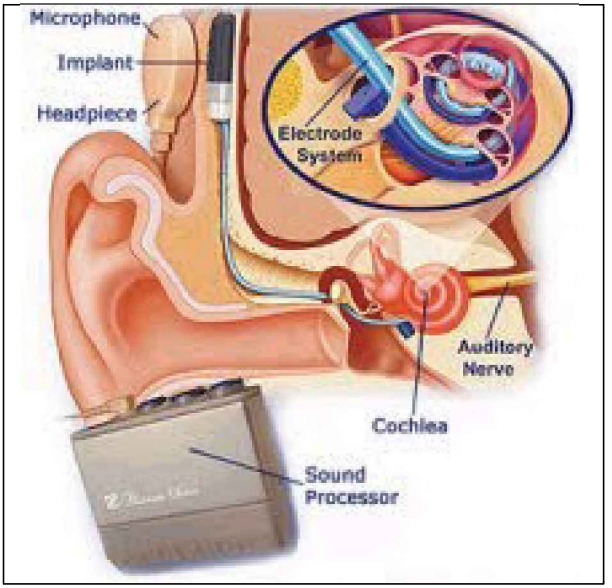
(شكل 24) النانو في طب وجراحة العين.



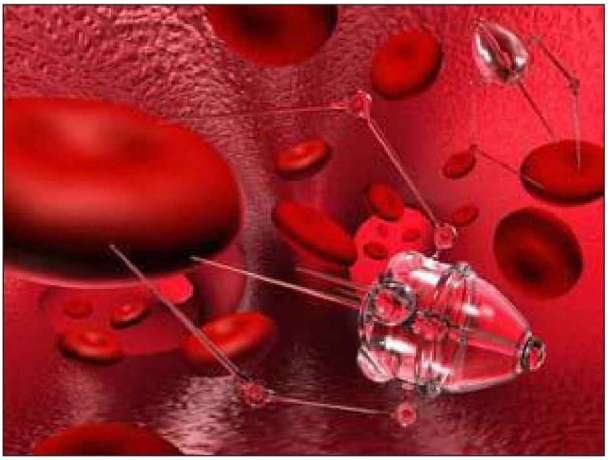
(شكل 25) طبقة من البوليمير المانع للانعكاس والخدش.



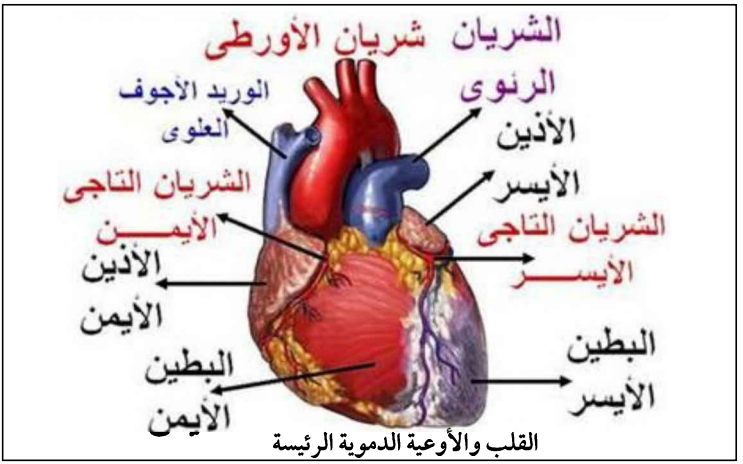
(شـــكل 26) (A، C، E) عبارة عن صور مجهرية ضوئية لليزر سلك نانوي مفرد في ثلاث تصـــورات. (B، D، F) الأســـهم الرفيعة تشـــير إلى نهاية وجهة الانعكاس بانعكاســـية منخفضة، أما الأسهم السميكة فتشير إلى انعكاس مرآة حلقية ذات انعكاسية عالية.



(شكل 27) النانو في طب وجراحة الأذن.

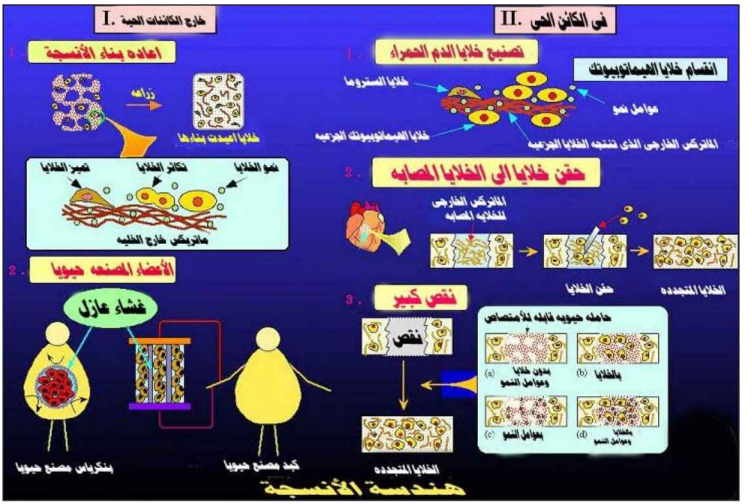


(شكل 28) محرك نانوي يتجول في الأوعية الدموية داخل الجسم.

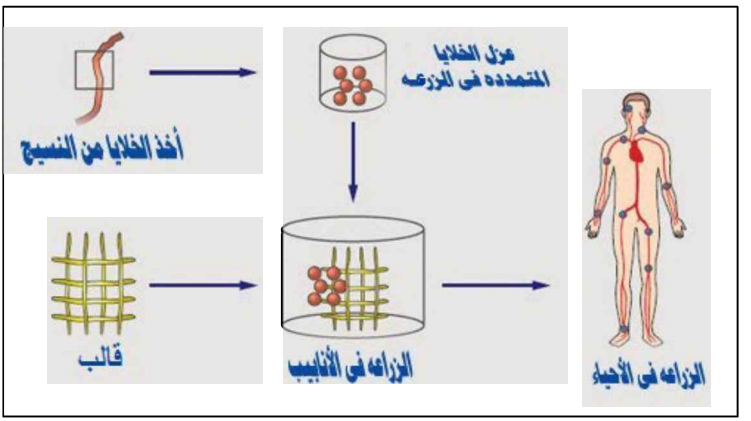


(شكل 29) دعامات القلب النانوية بغرض فتح وتوسيع شرايين القلب.

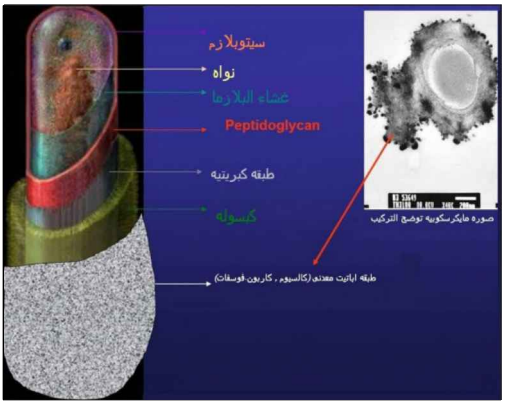
(شكل 30) مضادات لأشعة الشمس.



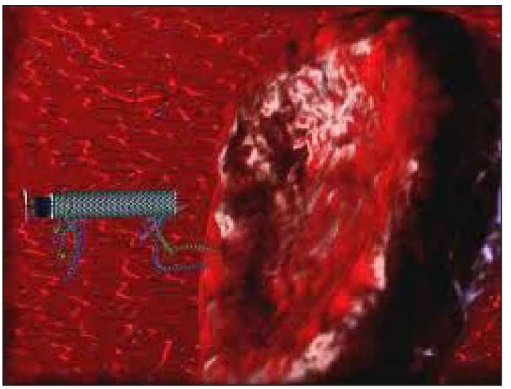
(شكل 31) هندسة الأنسجة.



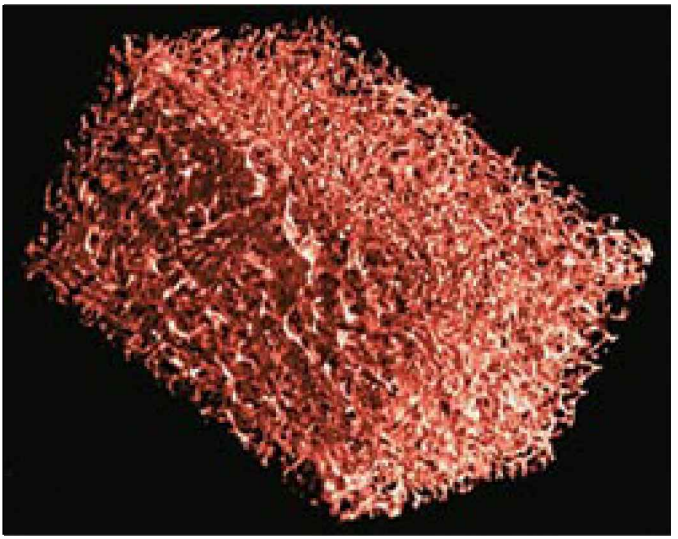
(شكل 32) تقنية النانو والخلايا الجذعية.



(شكل 33) الأجهزة الجزيئية قادرة على دخول الخلية.

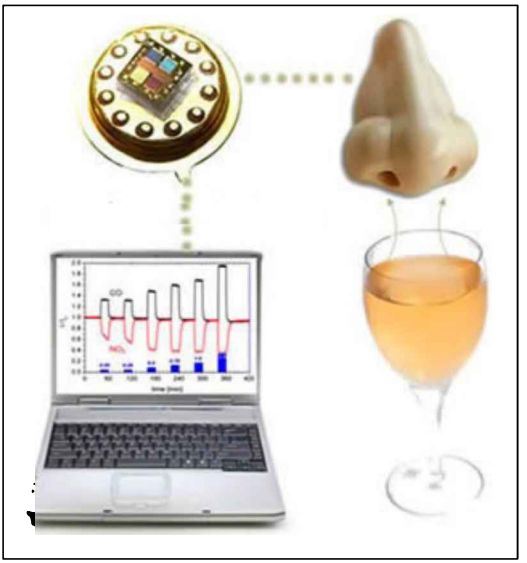


(شكل 34) الروبوتات النانوية التي يمكن برمجتها والتحكم فيها والتي تهدف إلى تنفيذ وإنجاز إجراءاتٍ علاجيةٍ وبنائية داخل الكلى البشرية على المستويات الخلوية والجزيئية.

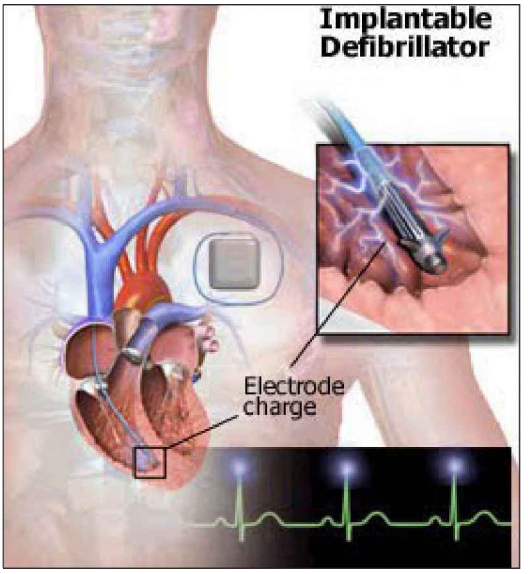


(شكل 35) مستزرعات عظام.

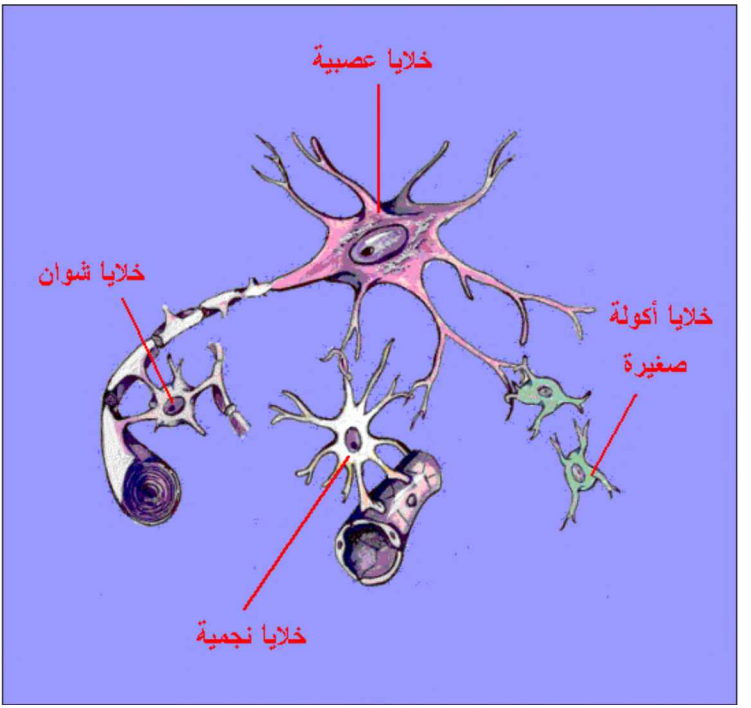
(شكل 36) ألياف نانو لتعزيز نمو غضاريف الركبة.



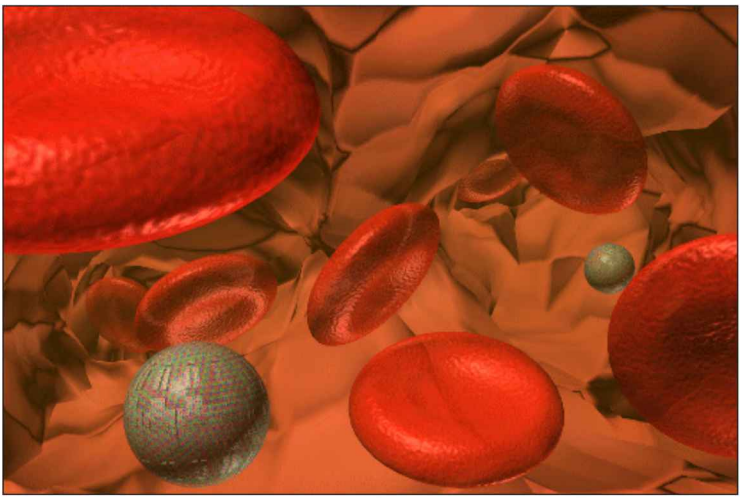
(شكل 37) الأنف الإلكتروني.



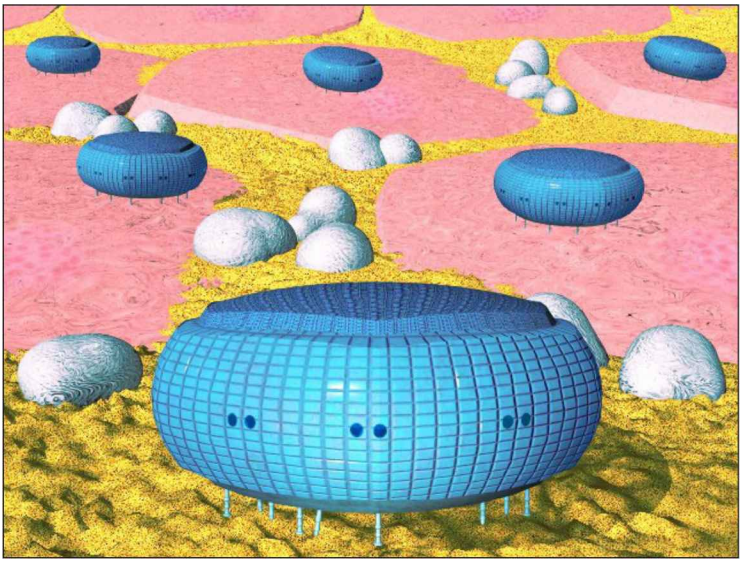
(شكل 38) آلات ضبط نبضات القلب النانوية.



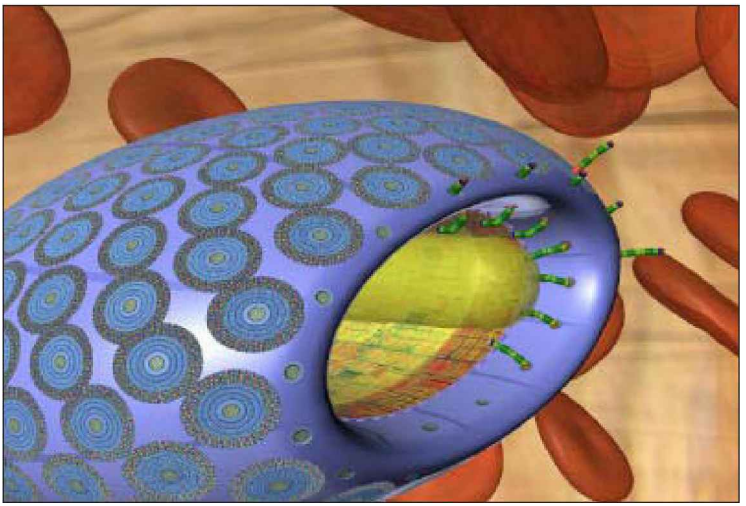
(شكل 39) التواصل العصبي الإلكتروني.



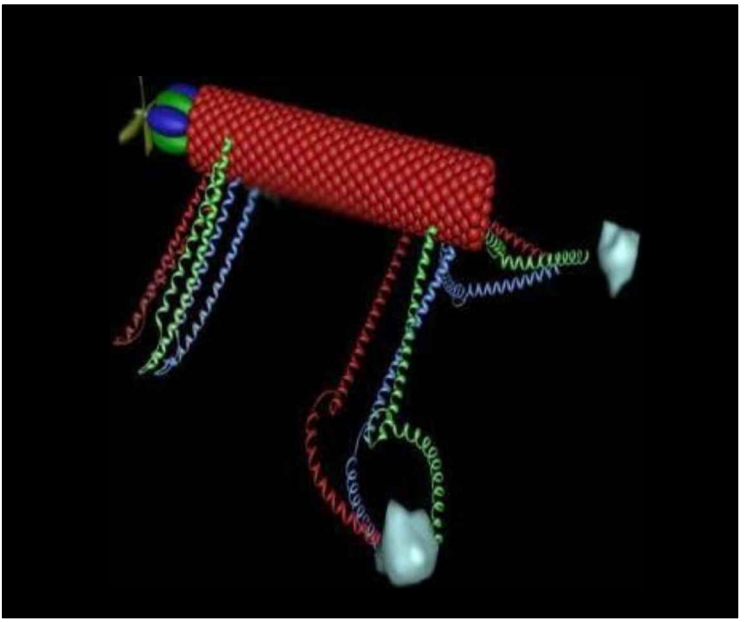
(شكل 40) خلايا دم حمراء صناعية نانومترية: (Respirocytes).



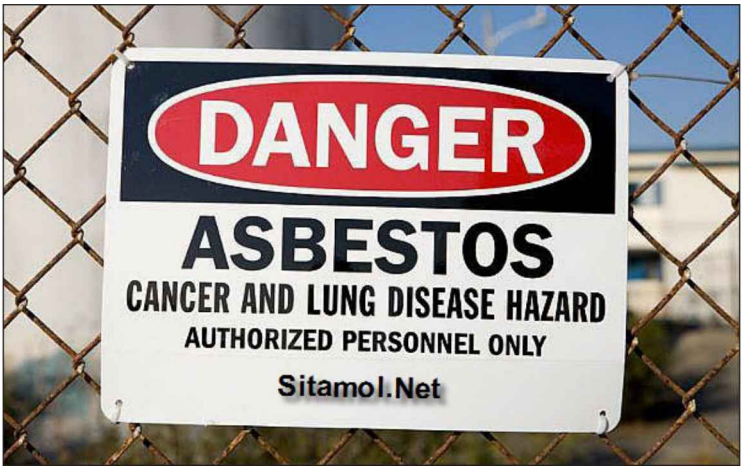
(شكل 41) خلايا الأوعية الدموية: Vasculocytes).



(شكل 42) Microbivore وهي أجهزة تقوم بتنظيف الدم من الأجسام العالقة.



(شكل 43) Bionanobots وهي أجهزة مبدؤها مأخوذ من الخلايا المتحركة الطبيعية).



(شكل 44) يعد الإسبستوس من أهم الأمثلة التي ظهرت أخطارها الصحية على الفرد.

(شكل 45) علامة التحذير من خطر النانو.

ثانيًا: ملحق الجداول:

(جدول 1) عدد من الاستخدامات التطبيقية المنتقاة لتقنية النانو وقد وضع رقمًا بجوار كل استخدام ليبين الفئة التي يندرج تحتها هذا الاستخدام.

صناعة المركبات	التعمير والبناء	التعمير والبناء
هياكل خفيفة و قوية (1) دهانات (1) حفازات (1) إطارات (1، 2، 3) حساسات (1، 2، 3) طلاءات زجاج وهيكل المركبات (1، 2)	مواد (1) عوازل (1، 2) مقاومات اللهب (1، 2) عجائن خلطات البناء (1، 2)	كريمات الوقاية من الشمس (1) محمرات الشفاه (1) كريمات البشرة (1) معاجين الأسنان (1)
الصناعات الكيميائية	**الطب**	**الطعام والمشروب**
حشوات بويات (1) مواد مركبة (1، 2) تخصيب ورق (1) لواصق وغراء (1) سوائل مغناطيسية (1)	أنظمة إيصال الدواء (2، 3) وسائط أشعة وتشخيص (1، 2) أنظمة تحليل سريعة (2، 3) تقويم وزراعة (1، 2) مضادات جراثيم وميكروبات (1، 2) أنظمة تشخيص تزرع داخل الجسم (1، 2)	تعليب (3) حساسات صلاحية الاستخدام (2) مضافات تحسينية (1) تنقية وتصفية عصائر (2، 3)
الهندسة	**المنسوجات**	**أدوات منزلية**
طلاءات حماية للمعدات والأدوات (1) وسائل تثبيت المعدات الدوارة لا تحتاج للتشحيم (1)	طلاءات أسطح (1) منسوجات ذكية (1)	طلاءات للأسطح الخزفية (1) مزيلات روائح (1) منظفات أسطح زجاجية وخزفية ومعدنية وخلافه (1)

الكترونيات	الطاقة	الرياضة والأنشطة الخارجية
شاشات (2) ذاكرة معلومات (2) صمامات ليزر (2) ألياف بصرية (2) مفاتيح ضوئية (2) مرشحات (2) طلاءات موصلة للكهرباء وضد الكهرباء الساكنة (1)	خلايا وقود (1، 2) خلايا شمسية (1، 2) بطاريات (1، 2) مكثفات (1، 2)	شمع تزحلق على الجليد (1) مضارب تنس (1) كرات تنس (1) طلاءات مراكب مانعة للترسبات (1) طلاءات نظارات مانعة لتكون الضباب (1)

قائمة المصادر والمراجع

■ أولًا: المراجع العربية:

أ. الكتب:

1. أمجد خليل: التطبيقات الطبية للنانو تكنولوجيا، كلية العلوم، جامعة الملك فهد للبترول والمعادن، 2009م.
2. توبى شيللى: تقنية النانو آمال وأخطار جديدة، ترجمة: د.عقلا الحريص و د.عبدالله الحاج، كتاب العربية، الرياض، المملكة العربية السعودية، 1430هـ/2009م.
3. خالد قاسم: جدوى استخدام تكنولوجيا النانو في تطوير القاعدة التكنولوجية الصناعية العربية، المنظمة العربية للتنمية الصناعية والتعدين، والبنك الإسلامي للتنمية، الرباط، المغرب، 2006م.
4. صفات سلامة: النانوتكنولوجي (مقدمة في فهم علم النانوتكنولوجي)، الدار العربية للعلوم، بيروت، 2009م.
5. طلاب الدكتوراه بقسم المناهج وطرق التدريس: بحث النانو تكنولوجي، جامعة أم القرى، 1430هـ.
6. محمود السعيد الطنطاوى: أضواء على تاريخ الطب، سلسلة دراسات في الإسلام، يصدرها المجلس الأعلى للشئون الإسلامية بالقاهرة، العدد (183)، السنة 16 جمادى الآخرة 1396هـ/يونيو 1976م.

ب. الدوريات:

1. **جريدة الشرق الأوسط:**

1. رقائق بيولوجية نانوية.. لعلاج خلايا الجسم المتضررة: د.أحمد الغمراوي، الأحد 5 ربيع الثاني 1431 هـ، 21 مارس 2010م. العدد 11436.
2. مغانيط نانوية.. للقضاء على الأمراض في جسم الإنسان، الجمعة 18 صفر 1433 هـ، 13 يناير 2012م، العدد 12099.
3. طعام المستقبل.. لحوم صناعية وأطعمة نانونية: مدحت خليل، الأحد الموافق 2 محرم 1433هـ / 27 نوفمبر 2011م، العدد 12052.
4. تقنيات حديثة.. في تشخيص وعلاج سرطان الكبد: د.مدحت خليل، الجمعة 4 شوال 1432 هـ 2 سبتمبر 2011 م العدد 11966.

2. **جريدة الرياض:** جريدة يومية تصدر عن مؤسسة اليمامة الصحفية: تطبيقات التقنية متناهية الصغر (Nanotechnology) في مجالات الصناعات الغذائية؛ تعبئة وتغليف الأغذية: سليمان الفضل، الأحد 30 يناير 2011م – العدد 15560.

3. **جريدة المدينة:**

1. الدور المرتقب لتقنية النانو الحميدة في تحقيق الأمن الغذائي العربي: سامي سعيد حبيب، مدير مركز التقنيات متناهية الصغر، السبت 1429/3/7هـ.
2. نحو رؤية إستراتيجية لتفعيل تقنيات النانو بالمملكة العربية السعودية: سامي سعيد حبيب، مدير مركز التقنيات متناهية الصغر، جامعة الملك عبدالعزيز،

السبت 1429/2/23هـ.

4. **مجلة الأمن والحياة:** التقنية متناهية الصغر (النانو): محمد بن عتيق الدوسري، العدد (358) ربيع الأول 1433هـ.
5. **مجلة التقدم العلمي:** (مجلة علمية ثقافية فصلية تصدر عن مؤسسة الكويت للتقدم العلمي)، العدد 66، أكتوبر 2009م، شوال 1430هـ.
6. **مجلة عجمان للدراسات والبحوث:** طب النانو.. الآفاق والأخطار؛ منير محمد سالم، المجلد العاشر، العدد الأول.
7. **مجلة العلوم:** (الترجمة العربية لمجلة سَاينتفيك أمريكان Scientific American) تصدر شهريًّا في دولة الكويت عن مؤسسة الكويت للتقدم العلمي، المجلد (17)، أغسطس/ سبتمبر 2001م، «سرّ السيوف الدمشقية: D.J. ڤيرهوڤن».
8. **مجلة العربي:** مجلة شهرية ثقافية عربية كويتية مصورة. تصدرها وزارة الإعلام الكويتية:

1. التغذية وتكنولوجيا النانو: الطعام على الطريقة النانوية: محمد الإسكندراني، العدد 625، ديسمبر2010م.
2. طب النانو: سيمفونية القرن لقهر المرض والسرطان: محمد الإسكندراني، العدد 615، أكتوبر 2010م.

ثانيًا: المراجع الإنجليزية:

1. Absi EG, Addy M, Adams D; Dental hypersensitivity:a study of the patency of dental tubules in sensitive and nonsensitive cervical detine.j.clin.periodontol–1987.
2. Albert, M. L., Sauter, B., & Bhardwaj, N. (1998). Dendritic cells acquire antigen from apoptotic cells and induce class i–restricted ctls. Nature, 392(6671), 86–89.
3. Alberto Bianco, Kostas Kostarelos and Maurizio Prato. Applications of Carbon nanotubes in drug delivery. Current openion in Chemical Biology. 2005.
4. Baum BJ, Mooney DJ.The impact of tissue engineering on dentistry. JADA, 2000.
5. Borm PJA, Robbins D, Haubold S, Kuhlbusch T, Fissan H, Donaldson K, Schins R, Stone V, Kreyling W, Lademann J, Krutmann J, Warheit D, Oberdörster E: The potential risks of nanomaterials: a review carried out for ECETOC. Part Fibre Toxicol. 2006, 3:1–35
6. Bowman D, and Fitzharris, M(2007),"Too Small for Concern? Public Health and Nanotechnology",Australian and New Zealand Journal of Public Health31(4): 382–384, DOI 10.1111/j.1753–6405.2007.00092.x
7. Bowman D, and Hodge G(2007),"A Small Matter of Regulation: An International Review of Nanotechnology Regulation",Columbia Science and Technology Law Review8: 1–32
8. Buckley MJ, Agarwal S, Gassner R. Tissue engineering and dentistry. Clin Plast Surg 1999;26 (4): 657– 62. [Medline] 4– Cochran DL, Wozney JM.Biological mediators for periodontal regeneration. Periodontol 19. 40.
9. CaliforniaMolecularElectronicsCorporation(CALMEC).Available at: «http://www.calmec.com/». Accessed Sept. 26, 2000.

10. Casadevall, A. (1999). Passive antibody therapies: Progress and continuing challenges. Clin Immunol, 93(1), 5–15..

11. Catchpole K.R., Polman A., Plasmonic Solar cells, Optics Express, Vol. 16, No.6, Dec.2008.

12. Chau C–F., Wu S–H. and Yen G–C. (2007). The development of regulations for food

13. David A LaVan, Terry McGuire and Robert Langer. Small–scale systems for in vivo drug delivery. Nature biotechnology. 2003.

14. David H Geho, Clinton D Jones, Emanuel F Petricoin and Lance A Liotta. Nanoparticles: Potential biomarker harvesters. Current opinion in Chemical Biology. 2006.

15. Dewdney AK. Nanotechnology: wherein molecular computers control tiny circulatory submarines. Sci Am 1988.

16. Dourda AO,Moule AJ, Young WG. A morphometric analysis of the cross–sectional area of dentine occupied by dentinal tubules in human third molar teeth. Int Endod J. 2009.

17. Down on the Farm: The impact of Nanoscale Technologies on Food & Agriculture, ETC Group, Ottawa, November, 2004.

18. Drexler KE.Molecular engineering: an approach to the development of general capabilities for molecular manipulation. Proc Natl Acad Sci USA 1981;78(9):5275–8. Available at:http://www. imm.org/PNAS.html.

19. Drexler KE, Peterson C, Pergamit G. Unbounding the future: The nanotechnology revolution. New York: William Morrow/ Quill Books. 2009.

20. Drexler KE. Engines of creation: The coming era of nanotechnology.New York: Anchor Press/Doubleday; 1986:99–129. Available at: www. foresight.org/EOC/Accessed Sept.26, 2008.

21. Dynan.W, ETALL:Understanding & reengineering nucleoprotein machines to care human disease. J. nanomedecine. Feb. vol 2008:3–no:1.

22. European Commission: Nanosciences and Nanotechnologies: An action plan for Europe for 2005 to 2009, Communication, 2005.

23. Fahy GM. Molecular nanotechnology and its possible pharmaceutical implications. In: Bezold C, Halperin JA, Eng JL,eds. 2020 visions:Health care information standards and technologies.Rockville, Md.: U.S. Pharmacopeial Convention; 1993.

24. Faraday, Michael (1857). "Experimental relations of gold (and other metals) to light". Phil.

25. Felcher, EM. (2008). The Consumer Product Safety Commission and Nanotechnology..

26. Freitas Jr., Robert A. (2000–04–00). Some Limits to Global Ecophagy by Biovorous Nanoreplicators, with Public Policy Recommendations. Retrieved 2009–12–28.

27. Freitas RA Jr.Exploratory design in medicalnanotechnology: a mechanical artificial red cell.Artif Cells Blood Substit Immobil Biotechnol 2008;26(4):411–30. Available at:www.foresight.org/Nanomedicine/Respirocytes.html.

28. Freitas RA Jr. (2005). "What is Nanomedicine?". Nanomedicine: Nanotech. Biol. Med. 1 (1): 2–9. doi:10.1016/j.nano.2004.11.003. PMID 17292052.

29. Freitas, Robert A., Jr. (2005). "Current Status of Nanomedicine and Medical Nanorobotics". Journal of Computational and Theoretical Nanoscience 2: 1–25. doi:10.1166/jctn.2005.001.

30. Gharsallaoui A., Roudaut G., Chambin O., Voilley A., Saurel R.: Review: Applications of spray–drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. Food Research International 40 (2007) 1107–1121.

31. Gyorgy Scrinis."Nanotechnology and the Environment: The Nano–Atomic reconstruction of Nature".

32. Hamdy, S., Alshamsan, A., Samuel, J. Nanotechnology for Cancer Vaccine Delivery. In Nanotechnology in Drug Delivery, de Villiers, M. M.; Aramwit, P.; Kwon, G. S., Eds. Springer New York: 2009; Vol. Volume X, pp 519–543.

33. Helmut Kaiser Consultancy, Study: Nanotechnology in Food and Food Processing Industry,Worldwide 2003–2006–2010–2015.). This is a study on nanofoods which can be purchased from the website. www.hkc22.com/nanofood.html.

34. Hullmann, A. The economic development of nanotechnology–an indicators based analysis. European Commission, DG Research, 2006.

35. Jindol,v,r.etall: Carbon nanotubes production using arc ignition under magnetic field.j.nanotechnology& its application–2007–vol–2 no–1 (abstract).

36. Kowalczyk, D. W., Wysocki, P. J., & Mackiewicz, A. (2003). Cancer immunotherapy using cells modified with cytokine genes. Acta Biochim Pol, 50(3), 613–624..

37. Loo C, Lin A, Hirsch L, Lee MH, Barton J, Halas N, West J, Drezek R. (2004). "Nanoshell–enabled photonics–based imaging and therapy of cancer". Technol Cancer Res Treat. 3 (1): 33–40. PMID 14750891.

38. M. Al Hoshan, «Novel nanoarray structures formed by template based approach: characterization and electrochemistry» PhD Thesis,Minnesota University, (2007).

39. M. Sherif El–Eskandarany, Journal of Nanoparticles, Vol.2 (2009) pp14–22.

40. Magrez, Arnaud; et al. (2006). "Cellular Toxicity of Carbon–Based Nanomaterials". Nano Letters 6 (6): 1121–1125. doi:10.1021/nl060162e. PMID 16771565.

41. Mauro Ferrari: Cancer Nanotechnology: Opportunities and Challenges. Nature Reviews/Cancer. 2005.

42. Merkle RC. Nanotechnology and medicine. In:Klatz R, Kovarik

FA, Goldman B, eds. Advances in anti–aging medicine. Vol. 1. Larchmont, N.Y.: Mary Ann Liebert; 2009: 277–86. Available at: www. zyvex. com/nanotech/ nanotech And Medicine.

43. Merkle RC. The molecular repair of the brain.Available at:http://www. merkle. com/cryo/techFeas.html."Accessed Sept. 26, 2009.

44. Meyer M, Kuusi O: Nanotechnology: Generalizations in an Interdisciplinary Field of Science and Technology (2002), Vol., No.2 (2004), pp. International Journal for Philosophy of Chemistry; 2002, 10: 153–168

45. Moradi, M.: Global Developments in Nano–Enabled Drug De–livery Markets, In:Nanotechnology Law and Business, Volume 2.2, pp. 139–148., 2005.

46. Nalwa. H. S., Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnol–ogy, Stevenson Ranch, American scientific Publishers, 2003.

47. Nanomedicine, Volume IIA: Biocompatibility, by Robert A. Freitas Jr. 2003, ISBN 1–57059–700–6.

48. Nanotechnology at BASF: A great future for tiny particles. At: www. Basf.com. and www.Nanotech.now.com.

49. Nanotechnology in Medicine and the Biosciences, by Coombs RRH, Robinson DW. 1996, ISBN 2–88449–080–9

50. Nanotechnology: A Gentle Introduction to the Next Big Idea, by MA Ratner, D Ratner. 2002, ISBN 0131014005.

51. Nanotechnology: Small matter, Many Unknowns,Swiss Re, Zurich, 2004, p. 42

52. Nathaniel G. Portneyl and Mihrimah Ozkan. Nano–oncology: drug delivery, imaging and sensing. Analytical and Bioanalyti–cal Chemistry.2006; 384: 620–630.

53. Neeson, P., & Paterson, Y. (2006). Effects of the tu–mor microenvironment on the efficacy of tumor im–munotherapy. Immunol Invest, 35(3–4), 359–394.

54. Nie, Shuming, Yun Xing, Gloria J. Kim, and Jonathan W. Simmons (2007). "Nanotechnology Applications in Cancer". Annual Review of Biomedical Engineering 9. doi:10.1146/annurev.bioeng.9.060906.152025. PMID 17439359.

55. O'Hagan, D. T., & Valiante, N. M. (2003). Recent advances in the discovery and delivery of vaccine adjuvants. Nat Rev Drug Discov, 2(9), 727–735.

56. Peter J. Sadler, A Potent Trans–Diimine Platinum Anticancer Complex Photoactivated by Visible Light, Angewandte Chemie International Edition.

57. Philip Anton; Richard Silbirglitt and James Schneider, The Global Technology Revolution, RAND National Defence Research institute, Santa Monica, 2001, P.xvii.

58. Psota T. L., Gebauer S. K., and Kris–Etherton P., PhD, RD: Dietary Omega–3 Fatty Acid Intake and Cardiovascular Risk. The American Journal of Cardiology (www.AJConline.org) Vol 98 (4A) August 21, 2006

59. Qinhuangdao Taiji Ring Nano–products company limited. at: www. 369.com.cn, and «China Nano–products, Nano–Tea, Nanotechnology,Tea–China products catalog» at: www. made–in–China.com.

60. R. L. jones. Soft Machines: Nanotechnology and Life. Oxford, UK: Oxford University Press, 2004.

61. Rajni Sinha, Gloria J. Kim, Shuming Nie and Dong M. Shin. Nanotechnology in cancer therapeutics: bioconjugated nanoparticles for drug delivery. Molecular Cancer Therapeutics.2006.

62. Razzaque, A., Dye, E., & Puri, R. K. (2000). Characterization of tumor vaccines during product development. Vaccine, 19(6), 644–647.

63. Roco MC. National nanotechnology initiative. Available at:http:// www. nano. gov/.Accessed Sept. 26, 2000.

64. Royal Society and Royal Academy of Engeneering, Nanoscience and Technologies: Opportunities and Uncertainties,, London, 2004.

65. Sahoo SK, Labhasetwar V. Nanotech approaches to drug delivery and imaging. Drug Discov Today. 2003; 8(24):111220.

66. Salata OV. Applications of nanoparticles in biology and medicine. Journal of Nanobiotechnology.2004.

67. Samul A. Wickline and Gregory M. Lanza.Nanotechnology for Molecular Imaging and Targeted Therapy. Circulation. 2003.

68. Sandip Tiwari, Yi–Meng Tan and Mansoor Amiji. Preparation and In Vitro Characterization of Multifunctional Nanoemulsions for Simultaneous MR Imaging and Targeted drug delivery. Journal of Biomedical Nanotechnology.2006.

69. Schmidt G, Decker M, Ernst H, Fuchs H, Grunwald W, Grunwald A et al. Small dimensions and material properties. Europaische Akademie Graue Reihe. A definiton of nanotechnology; 134; 2003.

70. Schuster, M., Nechansky, A., & Kircheis, R. (2006). Cancer immunotherapy. Biotechnol J, 1(2), 138–147.

71. Shi X, Wang S, Meshinchi S, Van Antwerp ME, Bi X, Lee I, Baker JR Jr. (2007). "Dendrimer–entrapped gold nanoparticles as a platform for cancer–cell targeting and imaging". Small 3 (7): 1245–1252. doi:10.1002/smll.200700054. PMID 17523182.

72. T.C. Yih and M. Al–Fandi. Engineered Nanoparticles as precise drug delivery systems. Journal of Cellular Biochemistry. 2006.

73. The Royal Society and the Royal Academy of Engineering: Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties; 2004

74. Toby Shelly, Nanotechnology: New Promises, New Danger, Zed Books, London and New York, 2006.

75. Trans. Roy. Soc. London 147: 145–181. doi:10.1098/rstl.1857.0011.

76. Wagner V, Dullaart A, Bock AK, Zweck A. (2006). "The emerging nanomedicine landscape". Nat Biotechnol. 24 (10): 1211–1217. doi:10.1038/nbt1006–1211. PMID 17033654

77. Weiss J., Takhistov, P., and McClements, D.J. (2006). Functional Materials in Food

78. West JL, Halas NJ. Applications of nanotechnology to biotechnology. Curr Opin Biotechnol 2000;11(2):215–7.[Medline].

79. Zheng G, Patolsky F, Cui Y, Wang WU, Lieber CM. (2005). "Multiplexed electrical detection of cancer markers with nanowire sensor arrays". Nat Biotechnol. 23 (10): 1294–1301. doi:10.1038/nbt1138. PMID 16170313.

■ ثالثًا: مواقع الإنترنت:

1. http://portal.unesco.org/shs/en/ev.php–url_id=10581.
2. http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/nl2036047
3. http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001459/145951e.pdf.
4. http://uqu.edu.sa/page/ar/64778.
5. http://www. kheper.net/ topics/nanotech/nanotech–histo–ey.htm
6. http://www.aljarida.com/aljarida/resources/pdfpages/aljarida/18–08– 2007/p02_secondpage.pdf.
7. http://www.dr–saud–a.com/vb/showthread.php?52676.
8. http://www.foe.org/camps/comm./nanotech/introduction–nanotechnologymay2006.pdf.
9. http://www.hazemsakeek.com.
10. http://www.kfupm.edu.sa/dsr/research/arabicnewsletter/newsletter1.pdf.
11. http://www.makphys.com/vb3/showthread.php.

12. http://www.makphys.com/vb3/showthread.php.

13. http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=1360.php.

14. http://www.ostp.gov/NSTC/html/iwgn/iwgn.fy01budsuppl/nni.pdf.

15. http://www.bloomberg.com/apps/news?pid=washingtonstory&sid=aBt.yLf.YfOo.

16. http://www.saudicnt.org/indexphp?tool=artcls&do=read&id=37.

17. http://www.physorg.com/news/2011-01-killer-paper-next-generation-food-packaging.html.

18. http://www.saudinanocenter-sa.com/index.php/joomla-forums/2011-04.

تحتل تقنية النانو في عصرنا الراهن مكانة مرموقة في حياة مختلف الشعوب، ومن أجلها تتسابق الأمم حسب إمكانياتها وتوجهاتها العلمية من خلال أنشطة المؤسسات العلمية والجهات الحكومية والتجارية، والمساهمة في دعم وتطوير شتى مجالات تطبيقاتها، خاصة (المجال الطبي).

ويأتي هذا الكتاب ليضيف للمكتبة العربية بعدًا جديدًا، يتعلق بعلم النانو وعلاقته بالطب، إذ ليس مستغربًا أن يحتل الطب والدواء والرعاية الصحيّة رأس القائمة في اهتمامات تقنيّة النانو وتطبيقاتها، التي استفادت من العلوم الأساسيّة والتقنيّات الحديثة كافة؛ لتفتح آفاقًا جديدة، كان بعضها موضع أحلام البشر طوال قرون عدّة.

ويميز الكتاب، بجانب تيسير المفاهيم والسرد المبسط لمختلف التطبيقات الطبية لتقنية النانو، العناية بالبعد المجتمعي، وتوضيح الإيجابيات والسلبيات. ولم ينس أن يتعرض للجوانب الإستراتيجية للتطبيقات النافعة في الطب، تشخيصًا وعلاجًا.

ISBN: 9786035091930
9 786035 091930

- تقنية النانو
- الطب-

العبيكان للنشر Obeikan Publishing
تلهم المعرفة Inspiring Knowledge
Obeikan Reader
@ObeikanPub