عنوان البحث

تطبيقات النانو في الطب

أعداد الطالبة

فاطمةً جميل عباس مبارك

بأشراف

ا. د . حمد رحمن جبر

جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بابل / كلية التربية للعلوم الصرفة
قسم الفيزياء

بحث مقدم الى كلية التربية للعلوم الصرفة - جامعة بابل
وهو جزء من متطلبات نيل درجة البكالوريوس في قسم الفيزياء

أعداد الطالبة
فاطمةً جميل عباس

بأشراف
ا. د . حمد رحمن جبر

1444ه **2023 م**

بسم الله الرحمن الرحيم

يَا أَيُّهَا النَّاسُ قَدْ جَاءَتْكُمْ مَوْعِظَةٌ مِنْ رَبِّكُمْ وَشِفَاءٌ لِمَا فِي الصُّدُورِ وَهُدًى وَرَحْمَةٌ لِلْمُؤْمِنِينَ(57) قل بفضل اللَّهِ وَبِرَحْمَتِهِ فَبِذَلِكَ فَلْيَفْرَحُوا هُوَ خَيْرٌ مِمَّا يَجْمَعُونَ (58) قُلْ أَرَأَيْتُمْ مَا أَنْزَلَ اللَّهُ لَكُمْ مِنْ رِزْقٍ فَجَعَلْتُمْ مِنْهُ حَرَامًا وَحَلَالًا قُلْ آللَّهُ أَذِنَ لَكُمْ أَمْ عَلَى اللَّهِ تَفْتَرُونَ (59) وَمَا ظَنُّ الَّذِينَ يَفْتَرُونَ عَلَى اللَّهِ الْكَذِبَ يَوْمَ الْقِيَامَةِ إِنَّ اللَّهَ لَذُو فَضْلٍ عَلَى النَّاسِ وَلَكِنَّ أَكْثَرَهُمْ لَا يَشْكُرُونَ (60)

(صدق الله العظيم)
سورة يونس (ألايه من ٥٧ ــ ٦٠)

الأهداء

الى التي خاضت معي في ألاشواك
وأوصلتني ألى دار القرار ثم ألاستقرار ..... أمي الغالية
ألى من أزاح عن سمائي كل السحب
وعلمني شموخ الشمس قبل قراءة الكتب..... ابي الغالي
إلى من سكب أسراره في قلبي ..... زوجي الغالي

شكر وتقدير

اما بعد...فالشكر لله وإلى أل بيته ألاطهار وألى سيدي ومولاي (أبا عبد الله الحسين (ع))على ماأنا عليه ألان. وبعد لايسعني أن أنهي بحثي ألا ان أتقدم بجزيل الشكر والعرفان ألى أستاذي الفاضل (أ.د . حمد رحمن جبر) وأشرافه على موضوع البحث ولجميع أساتذتي وتقديري وشكري لهم في قسم الفيزياء وألى جميع أصدقائي ألذين كانو لي خير الأصدقاء ومدو لي يد العون خلال مسيرتي الجامعيه وأسال الله العلي القدير أن يوفقنا على ماهو خيرلنا وللامه جمعا أنه الحميد المجيد

المحتويات

الفقرة	المحتويات	رقم الصفحة
	الآية القرانيه	
	الأهداء	
	الشكر والتقدير	
	الخلاصه	٣
	الفصل الاول	٥
١ ــ ١	المقدمه	٦
١ ــ ٢	مفاهيم اساسية	١٠
١ ــ ٣	علم النانو	١٦
	وتقنيه النانو	
	ومقياس النانو	
١ ــ ٤	جسيمات النانو	٢١
١ ــ ٥	أهمية النانو	٢٤
	الفصل الثاني	٢٩

١ ـ ٢	المقدمه	٣٠
	للمواد النانويه	
٢ ـ ٣	السرطان	٣٦
٢ ـ ٤	الجراحه	٤١
٢ ـ ٥	التصوير	٤٢

٢ ـ ٦	استهداف جسيم النانو	٤٣
٢ ـ ٧	التوصيل الالكتروني العصبي	٤٤
٢ ـ ٨	تطبيقات النانو طبية في النانو جزيئية	٤٧
٢ ـ ٩	روبوتات النانو	٤٧
٢ ـ ١٠	الات أصلاح الخلية	٤٩
٢ـ ١١	علم امراض الكلى النانوي	٥١
٢ ـ ١٢	النانو في الطب الاسنان	٥٣
٢ ـ ١٣	النانو في العلاج مرض الزهايمر	٥٣
٢ ـ ١٤	النانو في التجميل	٥٤
٢ ـ ١٥	النانو في علاج فايروس كارونا	٥٤
	الخاتمة	٥٩
	المصادر	٦٠

اما بعد خلال الثلاث سنوات الماضيه زاد عدد الشركات في مجال صناعه النانو في الصين الى اكثر من ٨٠٠ شركه وللصين ميزات فريده عن باقي الدول الصناعيه الاخرى ، منها أنخفاض تكاليف الايدي العامله وعدم وجود حواجز للتقنيات الجديده والكميه الكبيره من رؤوس الاموال الاستثماريه والاجنبيه وأنخفاض المستهلك ،كل هذه الاسباب مجتمعه تؤدي الى ازدهار الصناعه في الصين ومنها صناعه النانو.

لقد كان التكنولوجي الهائل هو السمه الفريده في القرن العشرين الذي ودعناه قربل بضع سنوات وقد أجمع الخبراء على أن اهم التطور التكنلوجي في النصف الاخير من القرن الحالي هو أختراع الكترونيات السيلكون فقد أدى تطويرها ألى مايسمى بالشرائح الصغريه (micro Chips والتي ادت الى ثوره تقنيه في جميع المجالات كالاتصالات والطب والحواسيب وغيرها. فحتى عام ١٩٥٠ لم يوجد سوى التلفزيون الابيض والاسود ،وكانت هناك فقط عشرة حواسيب في العالم أجمع. ولم تكن هناك هواتف نقاله أو ساعات رقميه او الانترنت ،كل هذه الاختراعات يعود الفضل فيها

الى الشرائح الصغريه التي ادى ازدياد الطلب عليها الى انخفاض سعرها بشكل سهل دخولها في تصنيع جميع الالكترونيات الاستهلاكيه التي تحيط بنا اليوم. خلال السنوات القليله الماضيه ،برز الاضواء الى مصطلح جديد القى بثقله على العالم واصبح محط الاهتمام بشكل كبير.

الفصل الاول

مفاهيم أساسيه عن تقنيات النانو في الطب

1 – 1 المقدمة

لا يستطيع أحد في حياتنا اليوم أن يعيش بمعزل عن العالم فهو يتأثر به أو يوثر فيه ،أو على الاقل يسمع عن متغيراته ،ويقرا عن مستجداته ،ذاك انا في عصر تديره التقنية وتزاحمك المعلوماتية كل جوانبه فلاتكاد تحيط بتلك الجوانب علما ،ونحن في بلدنا العامر النامي ليس لنا غنى عن الدخول في غمار التعامل بل والتفاعل في تلك التقنيه وليس لنا أن نبقى متاثرين بالعالم الذي حولنا غير مؤثرين فيه ،ولاان نبقى مستقبلين دون أن نكون خير مرسلين ،أننا اليوم في تحد مع أنفسنا قبل كل شيء لنخرج كوامنها من الطاقه في مختلف المجالات ،ثم أننا في تحد مع الزخم الهائل من المعلوماتيه وهذه العجلة التقنيه التي تنطلق بسرعه فلكيه دون توقف ،نخوض ذلك التحدي وطوحنا أن لم يكن الاصل فينا أن نكون نحن المبادرين في صناعه العالم والحياه كلها من حولنا ،

لقد كان التطور التكنلوجي الهائل هو السمه الفريده في القرن العشرين الذي ودعناه قبل بضع سنوات وقد أجمع الخبراء على أن أهم التطور التكنلوجي في النصف الاخير من القرن الحالي هو

أختراع الكترونيات السيلكون فقد أدى تطويرها الى ضهور مايسمى الشرائح الصغريه والتي ادت الى ثوره تقنيه في جميع مجالات الحواسيب والطب والاتصالات وغيرها .فحتى عام ١٩٥٠ لم يوجد سوى التلفاز الابيض والأسود وعشرة حواسيب

موزعه على جميع أنحاء العالم ولم تكن هناك هواتف نقاله أو
ساعات رقميه او الانترنت ،كل هذه الاختراعات يعود الفضل فيها
الى الشرائح الصغريه والتي ادى ازدياد الطلب عليها الى أنخفاض
سعرها بشكل ملحوض دخولها في تصنيع جميع الالكترونيات

الاستهلاكيه التي تحيط بنا اليوم. وخلال السنوات القليله الماضيه برزت الاضواء الى مصطلح جديد ألقى بثقله على العالم بشكل كبير وهو مصطلح (تكنلوجيا النانو)
فهذه التقنيه الواعده تبشر بقفزه هائله في جميع فروع العلوم والهندسه ،ويرى ا لمتفائلون أنها ستلقى بضلالها على كافه مجالات الطب الحديث والاقتصاد العالمي والعلاقات الدوليه وحتى الحياة اليوميه فهي وبكل بساطه
ستمكننا من عمل اي شيء تتخيله وذلك عن طريق صف جزيئات
الماده الى جانب بعضها البعض بشكل لاتتخيله وبأقل كلفه ممكنه
،فلتتخيل حواسيبنا الخارقه الأداء يمكنوضعها على رؤوس الاقلام
والدبابيس ،ولتتخيل أسطولا من الروبوتات النانويه الطبية والتي
يمكن لنا حقنها في الدم أو أبتلاعها لتعالج الجلطات الدمويه
والاورام والامراض المستعصيه.
وتقنيه النانو هي مجال العلوم التطبيقيه والتكنلوجيا تغطي مجموعه
واسعه من المواضيع. الموضوع الرئيسي ذلك كله هو السيطره
على اي أمر في حجم أصغر من الميكرومتر ،كذاك تصنيع

الاجهزه نفسها على طول جدول وهو التكهنات حول ماهو جديد في
العلم والتكنلوجيا وماقد تنتج من الخطوط البحثيه. فالبعض يرى
النانو تسويقا لمصطلح موجو دمن قبل يصف خطوط البحوث

التطبيقيه الواسعه لكل مايتعلق بحجم مايكرون. ورغم بساطه مالهذا
التعريف ألا أن النانو يضم مختلف مجالات الحياة ويتخلل مجالات
عديده بما فيها العلوم والكيمياء والفيزياء التطبيقيه لذا يمكن أن
يعتبر أمتداد لكل العلوم القائمه ويقدر عاده بأعاده صياغه العلوم
القائمه بأحدث الوسائل عصريه .

1ـــ2 مفاهيم أساسيه في تقنية النانو:

أن مصطلح تقنيه النانو لم يكن معروف أو مستخدما في الجامعات

والمعاهد والمراكز والاوساط العلميه منذ ثلاث عقود مضت ،ولكن المبادئ والافكار والمفاهيم التي كانت الاساس الفلسفي والنظري لعلم وتقنيه النانو بدأت مع المحاضره الشهيره بعنوان " Thérès plénty of Room at thé Bottom في أجتماع الجمعيه الفيزيائيه الامريكيه في معهد كاليفورنيا للتكنلوجيا (Calais Tech) في 29 ديسمبر ١٩٥٩ في محاضرته الاستشراقيه لمستقبل التقنيه البشرية وبالتحديد في مجال أمكانيه التعامل والتحكم في الذرات والجزيئات بشكل منفرد، والتي أشار فيها وبشكل فلسفي الى امكانيه الوصول الى امكانيه الوصول الى أجهزه وألات دقيقه اطلق عليها Nano scale M achines التي من خلالها يمكن أن تكون المصانع الدقيقه والتي بدورها ستمكن العلماء من صناعه أجهزه والات تصغير شيء فشيء مع تقدم هذه التقنيه، وعندها نصل الى تلك المرحله التي تمكننا من التحكم في الذرات والجزيئات بشكل منفرد.

ومما قال أيضا هذا العالم الكبير (الحائز على جائزة نوبل عام ١٩٦٥) بأن الماده عند مستويات النانو قبل أستخدام هذا المسطلح بعدد قليل من

الذرات تتصرف بشكل مختلف عن حالتها عندما تكون بالحجم المحسوس كما أشار الى امكانيه تطوير طريقه لتحريك الذرات والجزيئات بشكل مستقل والوصول الى الحجم المطلوب، وعند هذه المستويات تتغير الكثير من المفاهيم الفيزيائيه ،فمثلا تصبح الجاذبيه اقل اهميه وبالمقابل تزداد اهميه التوتر السطحي وقوه تجاذب فاندر فالز.وقد توقع ان يكون للبحوث العلميه حول خصائص الماده عند مستويات النانو دور جذري في تغيير أنماط الحياه الانسانيه.

والجدير بالذكر أن Richard Feynman لم يستخدم مسطلح تقنيه النانو " Nano technology "لوصف هذه التقنيه المستقبليه ولكن كان يصفها بتقنيه التحكم المباشر في الذرات والجزيئات المتفرده ،حيث يقول في مجله

Scientific American مامضمونه (أن مبادئ الفيزياء حسب ماأرى لاتناقض فكره التحكم في الاشياء ذرة بذره) وان (تقنيه النانو سوف تغير حياتنا نحو الافضل. فالات وروبوتات مبنيه ذره _ بذره ولايتجاوز قطرها المايكرومتر الواحد ستقضي على السرطان خليه بخليه وتخزن الاف بلايين البايتات من المعلومات في حيز لايتجاوز حجمه رأس دبوس)

الشكل (١ - ١) مقطع من كلام العالم الفيزيائي
Richard Feynman حول تقنيه النانو عام ١٩٥٩

وفي عام ١٩٧٤ ضهر مصطلح تقنيه النانو في محاضره للبروفسور الياباني Norio Taniguchi في جامعه طوكيو للعلوم وذلك كمصطلح مرادف لوصف الالات الدقيقه والتي كانت بمقياس المايكرو. وقال في

ورقته العلميه المنشورة في مؤتمر الجمعيه اليابانيه للهندسه الدقيقه (أن تقنيه النانو ترتكز على عمليه فصل، اندماج ،وأعاده تشكيل المواد بواسطه ذره واحده اوجزيء) ،وفي نفس الفتره ضهرت مفاهيم علميه عديده تتداولها الاوساط العلميه حول تحريك اليدوي لذرات بعض الفلزات عن مستوى النانو ومفهوم النقاط الكميه، وامكانيه وجود أوعيه صغيره جدا تستطيع تقييد الكترون واحد اواكثر.

وضع بدايه عام ١٩٨١ تم أختراع جهاز المايكروسكوب النفقي الماسح بواسطه العالمان Gerd Binning و Heinrich في شركه IBM ،وهو جهاز يقوم بتصوير الذرات والجزيئات والتراكيب ذات الابعاد النانويه بقدره تحليليه عاليه. وقد حصل العالمان على جائزه نوبل عام ١٩٨٦ لاختراعهما هذا المايكرو سكوب الذي أدى ألى ازدياد واضح وكبير في البحوث النظريه والعلميه المتعلقه بالتحليل ودراسه وتصنيع التراكيب النانويه للعديد من المواد في مجالات عديده.

وفي عام ١٩٨٦ بدأ اول ضهور لمصطلح تقنيه الن انو في الاوساط العلميه

بعدما نشر K.Eric Drexler كتابه الشهير " محركات التكوين : عصر
تقنيه النانو القادم " حيث أخذ بعد ذلك هذا المصطلح " Nano technology "
مساحه أكبر ليشمل الى جانب التعامل الصناعي مع
الذرات و الجزيئات جميع أبعاد الانتاج العلمي على الجانبين النظري
والتطبيقي للمواد ذات الابعاد النانويه Nano technologie والتي
تتراوح أبعادها من 0.1 نانو متر (الابعاد الذريه)في ١٠٠ نانو متر(
الذي يمثل المقياس النانوي((. (nano scale
وبعد ذالك بعدة سنوات عام ١٩٩٠ نجح العالم الفيزيائي D.M .Eigler في

معامل IMB في تحريك الذرات باستخدام جهاز المايكروسكوب المفقي
الماسح) STM (وذالك بكتابه الرساله الذريه الاولى I_M_B المكونه من
٣٥ ذره Xe على السطح
الماده. Ni(110) هذه المعالجه فتحت مجالاجديدا لامكانيه تجميع الذرات
المفرده مع بعضها لبعض وكذلك بناء التراكيب النانويه دقيقه باستخدام
جهاز STM وادى ذلك الى ثوره عالميه كبيره في التقنيه

.

3 – 1علم النانو وتقنيه النانو ومقياس النانو

يمكن القول بأن تعريف علم وتقنيه النانو غير متفق عليه حتى الان .حيث تختلف التعاريف مع هذه التقنيه فعلماء كثر عرفو علم وتقنيه النانو حسب رؤيتهم أو حسب خلفيتهم العلميه فحصلت هناك تعاريف كثيره ،ولتفادي الاختلاف في تعريف هذه التقنيه أنشأت في أمريكا لجنه علميه لتضع تعريف موحد لعلم وتقنيه النانو وهي لجنه National Nano technology Initiative (المبادره الوطنيه لتقنيه النانو) وخرجت لنا بهذا التعريف

Nano technolog is scince, engineering, and technologiconducted at thé nano scale, which iabout 1to100 nano meters.

Nano scince and nano technologiy après thé studio and application of extremely small things and can be used across all the other scince fields, such as chemistry, biology, physics, materials scince, and engineering.

ومن خلال كل ماتقدم يمكننا القول:

مقياس النانو : هو المقياس الذي تتراوح ابعاده من ١نانو متر أو ١.٠ نانو متر الابعاد الذريه الى ١٠٠ نانو متر.

علم النانو : هو دراسه التراكيب والخصائص للجسميات والتراكيب التي ابعادها ضمن مدى المقياس النانوي.

تقنيه النانو : هو تطبيق مبادئ ومفاهيم العلوم وهندستها لانتاج مواد والات مفيده عند المقياس النانوي.

ونجد من المفيد أن نذكر بعض التعاريف الاخرى لتقنيه النانو لاعطاء فكره واضحه عنها، ومنها.

تقنيه النانو تستخدم وتصنع التراكيب التي لديها خصائص فريده نضرآ لصغر حجمها.

تقنيه النانو تستند الى القدره على التحكم والتلاعب في الماده على المستوى الذري.

وبشكل عام يمكن تعريف علم وتقنيه النانو على أنه" العلم والهندسه والتقنيه التي تعطينا القدره على التحكم المباشر في الذرات والجزيئات والمواد والتراكيب والاجهزه التي أبعادها تقل عن ١٠٠ نانو متر وذلك وقياس ودراسه خصائصها والقدره على تصنيعها ،ويمكن ان تستخدم تطبيقاتها في كل المجالات العلميه."

١٧

بعد هذه المقدمه التعريفيه لعلم وتقنيه النانو دعونا نتعرف على طبيعه المدى الذي تتعامل معه هذه التقنيه ،فمن المصطلح nano technologiy نجد أن كلمه nano هي الكلمه التي تحتاج الى تعريف أو تحتاج ألى تقريب معناها ألى الاذهان ،ولعل أفضل الطرق هي مقارنتها ألى ماهو محسوس لدينا ،وفي البداية دعونا نعرفها بشكل علمي رقمي. أن كلمه nano تعني البادئه التي تدخل على وحده القياس لكميه معينه ،وتعني جزء من الف مليون جزء من تلك الوحده القياسيه. فمثلاnano mètre تختصر الى nm تعني المسافه التي يساوي طولها طول جزء واحد من مليار جزء من المتر وتكتب بالشكل.) 1m=10^9nm (ولتقريب الصوره لنتذكر سويا المسطرة وتخيل معي أنك قمت بتقسيم هذه المسافه الصغيره ,1mm (واحد ملم) الى مليون قسم عندها سيكون كل قسم من هذه الاقسام المليون يساوي ١نانومتر حيث 1mm=10^6nm (ولمزيد من التقريب فأن متوسط قطرشعره الرأس للانسان يصل ألى ٧٠٠٠٠ نانو متر،كما أن حجم خليه الدم الحمراء يصل الى ٢٠٠٠ نانو متر ،وكذلك فأن نانو متر واحد يساوي عشر ذرات هيدروجين مرصوفه بجانب بعضها

البعض طولياً (بمعنى أن قطر ذرة الهيدروجين يساوي ٠,١ نانو متر)،مع
العلم أن الشخص العادي يستطيع أن يرى بالعين المجرده الى حد

١٠ مايكرومترأي ما يساوي ١٠ الاف نانو مؤميتر ،ولك أن تتخيل أن مصطلح **تقنيه النانو** لايطلق ألى على التقنيه التي تتعامل مع الجسيمات التي تكون أبعادها ضمن مدى المقياس النانوي لذلك تسمى هذه التقنيه بعض الأحيان التقنيه متناهية الصغر.

الشكل (١ - ٣) بعض الامثله عن الاشياء المقياس النانوي

4 – 1 جسيمات النانو

يمكن تعريف جسيمات النانو بأنها التراكيب التي تكون أحد أبعادها على الاقل ضمن مدى مقياس النانو (اقل من ١٠٠ نانو متر)،مع العلم بأنه لم يتم الاتفاق رسميا على تعريف محدد لها حتى الان،ولكن التعريف أعلاه هو اكثر التعريف قبولا في الاوساط العلميه ،والجدير بالذكر أن هناك الكثير من الجسيمات النانويه (الطبيعيه والصناعية) استحوذت على

وتأتي جسيمات النانو في أشكال متعدده ومنها

ا.النقاط الكميهQuantum dots

. 2الفلورينFullerene

. 3الكرات النانويهNano Valls

. 4أنابيب الكاربون النانويهCarbon nano tubes

. 5الالياف النانويهNano fibres

. 6الاسلاك النانويهnano wires

٧.القشره النانويهnano shells

ومن الجدير بالذكر أن جسيمات النانو يمكن أن تكون جسيمات طبيعيه موجوده اصلا في الطبيعه مثل جسيمات المانو الطينيهnano Claeys

والألياف السليلوس النانويه cellules nanotubes وكذلك جسيمات السيلكون ومركباته. nano silicon cervidés وفي اغلب الحالات يتم معالجه هذه الجسيمات لتصبح ملائمة للاختبارات العلميه والتطبيقات الصناعيه.

كما يمكن الحصول على جسيمات النانو صناعيا ومن أمثلتها جسيمات النانو من الذهب nano gold والفضه nano silver وأنابيب الكاربون النانويه Carbon nano tube والنقاط الكميه Quantum وغيرها .وهذه الجسيمات الصناعيه يمكن أن تحضر بطريقتين

1 - 4 - 1 طريقه التصغيرTop _down

وهي الطريقه التقليديه للحصول على مواد أدق من المواد الكبيره حيث يتم تكسير الماده الاصليه (الكبيره)شيئا فشيئا حتى الوصول الى الحجم النانوي .وتستخدم عدة طرق لذلك منها الحفر الضوئي، القطع، الكحت والطحن.وفي حالة الحصول على مواد النانو فأن الكثير من الطاقة والوقت يبذلان للحصول عليها، وعليه فإن الباحثين يسعون لتطويرأجهزتهم وأدواتهم الرفع كفاءة هذه الطرق والتي ستسهل الحصول على جسيمات

٢٢

2 - 4 - 1طريقه البناءBottom _ up

وهذه هي الطريقه الحديثه التي ستقدمها لنا تقنيه النانو والتي عن طريقها يمكن للعلماء بناء مواد النانو ذره _ذره أو جزيء _جزيء ،وتعتبر هذه الطريقه هي ثوره تقنيه النانو حيث يمكن أستخدام الذرات والجزيئات لبناء الجسيمات أكبر مع أمكانيه التحكم في شكلها وخواصها عن طريق مايكرو سكوبيات تقنيه النانو مثل جهاز STM و. AFM

وكل هذه الجسيمات قد وجدت طريقها في التطبيقات العلميه والصناعيه وفي كافه المجالات ،ومازال العلماء يدرسون خواصها ويبحثون عن تطبيقات أخرى لها للحصول على أكبر فائده ممكنه من هذه الجسيمات باستخدام هذه التقنيه الحديثه .

٢٣

5 - 1أهميه تقنيه النانو

السؤال المهم هنا هو :ما الشيء المميز في هذه التقنيه ولماذا كل هذا الاهتمام الكبير العجيب لوصولها ؟

أن الاهتمام الكبير بجسيمات النانو في السنوات الأخيرة كانت

نتيجه لخواصها المميزه والمبهره فعندما تصغر الماده وتكون
ابعادها ضمن القياس النانوي (اقل من ١٠٠ نانو متر ،اي تكون
جسيم نانوي) فإنها تظهر خواصا فيزيائيه وكيميائيه جديده ،حيث
تكون خواصها تختلف وبشكل كبير جدا عن خواصها المعروفه اذا
كانت في حجمها الطبيعي الكبير) bulk (لنفس الماده ،وهذه
الخاصيه جعلت من الجسيمات النانويه " معجزه علميه جديده"
ويمكن توضيح أسباب هذا التغير الكبير في الخواص والمميزات
الفيزيائيه والكيميائيه لجسيمات النانو الى سببين رأيسسيين هما:

1 - 5 - 1زياده المساحه السطحيه

وحسب القانون الكيميائي الشهير والذي يفيد بأن زياده السطح
يؤدي الى زياده التفاعل الماده أي ان الماده تصبح ذات نشاط
كيميائي عالي كلما زادت مساحه سطحها المتفاعل. حيث أن زياده
المساحه السطحيه تعني زياده عدد الذرات المتواجده على السطح

ومن المعلوم أن ذرات السطح لأي ماده هي المسئولة عن عمليه
التفاعل الكيميائي مع الذرات الاخرى لانها تمتلك الكترونات غير
مقيده بينما الذرات في داخل الماده تكون أكثر تقيدا وبالتالي
لاتشارك في عمليه التفاعل الكيميائي.
وعليه فأنه عندما تصغر الماده فإن مساحه سطحها تزداد مما يعني
زياده زيادة نسبة الذرات المتواجده على سطح الماده والتي تكون
ذات حالات طاقه عالية مما يساعد في زيادة تفاعل هذه الذرات مع
ذرات المواد المجاورة لها.

2 – 5 - 1 تأثير فيزياء الكم

نضرا للابعاد الصغيره لجسيمات النانو والتي تقترب من الابعاد
الذريه عشرات الذرات فإن فيزياء الكم لها تأثير كبير على خواص
هذه الجسيمات. ولتوضيح هذه الفكره فلنتذكر قوانين نيوتن في
الميكانيك الكلاسيكي والتي نألفها في عالمنا الكبير وبالخصوص

قوه الجاذبيه الارضيه التي تأثر علينا وعلى العالم من حولنا ،سنجد

انها غير مهمه وغير مؤثره على جسيمات النانو، مما يجعل هذه الجسيمات تمتلك خصائص غير مألوفه لقوانين الفيزياء الكلاسيكية نظرا لتأثير فيزياء الكم عليها

٢٥

ويمكن توضيح ماسبق بمبدأ ألا دقه والذي ينص (ان المكان والزخم (الطاقه)لجسيم ما لايمكن تعيينها بدقه في نفس الوقت.) فعندما تصغر الماده وتصبح أبعادها في مقياس النانو فأن الفراغ الذي يتحرك فيه الالكترون داخل هذا الجسيم يصغر أيضا مما ينتج عنه زياده في طاقه الالكترون (مستويات طاقه جديده)وذلك لتعويض هذه المحدودي ه في المكان مما يؤدي بالطبع لتغيرات كبيره في خواص هذا الجسيم.

مما تقدم يتضح بأن الشيء الفريد في مقياس النانو هو أن جسيمات النانو تبدي مفاهيم فيزيائيه وكيميائيه جديده تؤدي ألى سلوك جديد تكون فيه معضم الخصائص الاساسيه للمواد والالات تعتمد على حجم هذه الجسيمات. وقد لوحظ كمثال لذلك أن كلا من الخصائص الكهربائيه والمغناطيسيه والبصريه والحراريه والميكانيكيه للماده تتغير كلها عندما تصبح أبعادها ضمن المقياس النانوي . فنجد تغير واضح في التركيب الالكتروني ،التوصيليه،التفاعليه ، درجه الانصهار.

وحتى نقترب من الفكره أكثر سنأخذ مثالا على ذلك وهو الذهب

٢٦

Gold، فمن المعروف أن معدن الذهب مستقر كيميائيا وعليه فهو لايتفاعل مباشره مع المواد وله

الطبيعيه في صخور الارض منذ نشاتها الى يومنا هذا ،ولكن عندما نحصل على جسيمات نانو من الذهب فأنه مع تصغير هذه الجسيمات ألى حجم أصغر وأصغر ،أي عندما تتغير أبعاد هذه الجسيمات من ١٠٠ نانو مترألى أبعاد أصغر مثل ٨٠ نانو متر ، ٦٠ نانو متر ، ٤٠ نانومتر وهكذا... فأن لون الذهب المعرف لدينا يتغير ألى ألوان أخرى تختلف حسب أختلاف أبعاد هذه الجسيمات.

كما ان جسيمات النانو الذهبيه تتفاعل مع الاشعه تحت الحمراء وتحولها ألى حراره ،مع الملاحظه أن الذهب في حالته العاديه لايتفاعل مع الاشعاع الكهرو مغناطيسي.

ومن كل ماسبق يمكن القول ان تقنيه النانو قد كسبت كل هذا الاهتمام بسبب أعتماد خواص وسلوك جسيمات النانو على حجمها وبالتالي يمكننا التحكم بهندسة خواصها .وبناء عليه فقد أستنتج الباحثون أن لهذا المفهوم أثار تقنيه عضيمه تضم مجالات تقنيه واسعه ومتنوعه

تتمثل في توضيف هذه الجسيمات في أجهزه وأدوات ذات أبعاد نانويه بقدرات تقنيه عاليه جدا تقدم الحلول الناجحه للكثير من المشكلات الصحيه والغذائيه والصناعيه والتقنيه والبيئيه التي تواجهها البشريه اليوم.

الفصل الثاني

تقنيات النانو في الطب

1 – 2 ألمقدمه:

يهدف طب النانو إلي توفير مجموعة قيمة من الأدوات البحثية بالإضافة إلى العديد من الأجهزة العلاجية المفيدة في المستقبل القريب كما تتوقع مبادرة التقانة النانوية الوطنية The National Nanotechnology Initiativeالعديد من التطبيقات التجارية في مجال صناعة الدواء pharmaceutical industry والتي قد تتضمن أنظمة توصيل الدواء المتقدمة، العلاجات الجديدة، والتصوير إن فيفو in vivo imaging كما تعد كلٌ من الواجهات التفاعلية الإلكترونية العصبية والمستشعرات الأخرى القائمة على الإلكترونيات النانوية هدفا آخر للأبحاث في مجال تقنية الطب النانوي .وبالإضافة إلى المزيد من التفاصيل في الأسفل، فيؤمن مجال الدراسة المستقبلية" التقان ة النانوي ة الجزيئي ة "أن آلات إصلاح الخلي ة قد تحدث ثورة متوقعة في المجال الطبي.

كما يعد طب النانو مجالاً واسعا للصناعة، حيث وصلت مبيعاته إلى ما يقارب 6.8 مليار دولار أمريكي خلال عام . 2004 ويضم ذلك المجال أكثر من 200 شركة و 38 منتج عبر أرجاء العالم،

بتمويلٍ لا يقل عن 3.8 مليار دولار أمريكي تستثمر في مجالي البحث والتنمية سنويا.ً فمن المتوقع مع استمرار نمو صناعة طب

2 – 2 الاستخدام الطبي للمواد النانوية

1 – 2 - 2 توصيل الدواء

ترتكز المدخلات الطبية النانوية لعملية توصي ل الدواء على تطوير الجسيما ت أو الجزيئات نانوية القياس بهدف تحسين التوافر الحيوي للدواء .يشير مصطلح التوافر الحيوي bioavailability إلى تواجد جزيئات الدواء في المكان المطلوب تواجدها فيه داخل الجسم البشري وحيث تكون الفائدة منها أفضل. وتركز عملية توصيل الدواء على زيادة التوافر الحيو ي سواءً بالأماكن الخاصة داخل الجسم وعلى مدار مدة زمنية معينة .ويمكن تحقيق ذلك بصوره متوقعة من خلال الاستهداف الجزيئيmolecular targeting باستخدام الأجهزة المهندسة نانوي اً فالأمر كله يدور حول استهداف الجزيئات وتوصيل الدواء مع مراعاة

دقة الخلية المستهدفة من العملية .مع ملاحظة أن أكثر من 65 مليار دولار أمريكي تضيع سنوياً بسبب ضعف التوافر الحيوي للأدوية .كما يتم تطوير الآلات والأجهزة بذلك المجال الخاص بالتصوير الحيوي (*Invivo*) والذي يعد مجالاً آخراً من مجالات البحث والتطوير في طب النانو .وقد تكون الطرق الجديدة للمواد المهندسة نانوياً، والتي تم تطويرها، فعالة معالجة الأم راض ومنها السرطان .إلا أن ما يستطيع علماء النانو تحقيقه في المستقبل يفوق جميع التخيلات الحالية .وقد يتحقق هذا من خلال الأجهزة النانوية المتكافئة حيوياً biocompatible والمجموعة

ذاتياً self-assembled والتي سيكون لها القدرة على
استكشاف وتقويم ومعالجة بالإضافة إلى تقديم
التقارير للطبيب المعالج بصورةٍ تلقائيةٍ آليةٍ.
هذا بالإضافة إلى أن أنظمة توصيل الدواء وكذلك
الجسيمات النانوية البوليمرية أو الليبيدية الدهنية قد
يتم تصميمها لتحسين الخصائصالدوائية والعلاجية

للأدوية .وتتمثل قوة أنظمة توصيل الدواء في قدرتها
على تغيير الحركيا ت
الدوائية pharmacokinetics والتوزيع الحيوي للدواء
داخل الأعضاء .كما أنه توجد للجسيمات النانوية
مجموعة من الخصائص الغير تقليدية والتي تستخدم
لتحسين عملية توصيل الدواء .وفي الوقت الذي يتم
فيه تنقية الجسد من الجسيمات الأكبر، فإن للخلايا
القدرة على حمل هذه الجسيمات النانوية بسبب
أحجامها .كما تم تطوير آليات توصيل الدواء ومنها
القدرة على الحصول على الدواء من خلال أغشية
الخلية وكذلك داخل هَيُولَ ى الخَلِيَّة أو سيتوبلاز م
الخلية .Cytoplasm وللكفاءة أهميتها حيث أن العديد
من الأمراض تعتمد على العمليات داخل الخلية ولا
يمكن إعاقتها إلا من خلال الأدوية التي تشق طريقها
إلى داخل الخلية .وتكون الاستجابة المث ارة أحادية
المسار لجزيئات الدواء لتستخدم بصورةٍ أكثر فعالية.
حيث يتم وضع الأدوية داخل الجسم ويتم تنشيطها

على مواجهة إشارة معينة على سبيل المثال، يتم
إحلال دواء ذا قدرة ضعيفة على الذوبان في المحلول
بنظام توصيل دواء حيث تتواجد كلتا البيئتين المائية
وغيرها (hydrophilic and hydrophobic environments) ، مما
يحسن من القدرة الذوبانية
للدواء .هذا بالإضافة إلى أن الدواء قد يسبب تلف
الأنسجة، إلا أنه مع نظام توصيل الدواء، فإن عملية
انتشار وانبعاث الدواء المنظمة قد تلغي وتمحو تلك
المشكلة .فلو تم تنقية الجسد من الأدوية بسرعة
كبيرة، فقد يجبر هذا المريض على استخدام جرعاتٍ
أكبر من تلك الأدوية، إلا أنه ومع عملية التطهير
الدوائي القائمة على أنظمة توصيل الدواء، يمكن
الإقلال من تلك الجرعات الدوائية التي يتناولها المرء
منبهاً الحرائك أو الحركيات الدوائية للدواء .ففي
الوقت ذاته يعد التوزيع الحيوي للدواء مشكلةً تؤثر
على الأنسجة الطبيعية عبر التوزيع عريض المدى، إلا
أن الذرات المادية بأنظمة توصيل الدواء تقلل من كم

التوزيع وتقلص من التأثير الواقع على النسيج الغير
مستهدف .ومن المتوقع أن تعمل الأدوية النانوية من
خلال مجموعة من الآليات المحددة بدقة ومفهومة
بصورةٍ واضحةٍ؛ حيث سيكون أحد تلك التأثيرات
الناجمة عن تقنية النانو وعلوم النانو متمثلاً في
تطوير أدويةٍ جديدةٍ تماماً ذات أداءٍ أكثر فائدةٍ وأقل
ضرراً منناحية أعراضه الجانبية.

2 – 2 - 2توصيل البروتين والببتيد

للبروتين والببتيد Protein and peptides العديد من الأدوار

على علاج العديد من الأمراض والاضطرابات .وقد عُرِفت تلك

الجزيئات الكبيرة نسبيا macromolecules باسم الأدوي ة

الحيوية .biopharmaceuticals حيث أصبحت عملية

التوصيل سواءً المستهدفة و /أو المضبوطة لهذه الأدوية

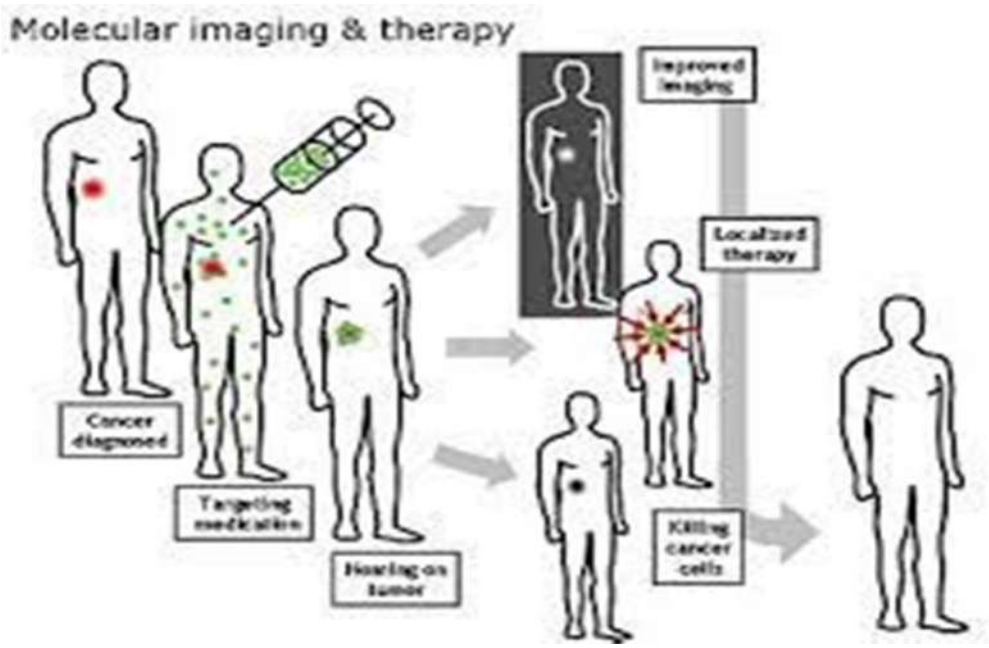
باستخدام المواد النانوية ومنها الجسيما ت النانوية مجالاً ناشئا يُطلق

عليه علم الأدوية الحيوية النانوية nanobiopharmaceutics ،

ومن ثم فقد أُطلق على تلك المنتجات ادوية حيوي ة

نانوية.nanobiopharmaceuticals

3 - 2السرطان



) رسم تخطيطي توضيحي يشرح كيفية استخدام ١-٢الشكل(

الجسيمات النانوية أو أدوية السرطان الأخرى لعلاج السرطان.

في حين يمنح الحجم الصغير للجسيمات النانوية خصائصاً قد تمثل فائدةً

كبيرةً في علم الأورام أو الأنكولوجي oncology وبصورة خاصة في

مجال التصوير. فعندما تُستخدم النقاط الكمومية Quantum dots (جسيمات نانوية ذات خصائصٍ حابسةٍ، ومنها انبعاث الضوء الانضباطي

الحجم (size-tunable light emission مصاحبةً للتصوير بالرني ن المغناطيسي MRI ، يمكن الحصول على صوراً استثنائيةً لمواقع الأورام. حيث أن تلك الجسيمات النانوية تكون أكثر بريقاً من الأصباغ العضوية ولا تحتاج سوى إلى مصدر ضوءٍ واحدٍ فقط للإثارة والتوهج .وهذا يعني أن استخدام نقاط الفلوريسينت الكمومية تننتج صوراً أكثر تباين اً وبتكلفةٍ أقل عن الأصباغ العضوية المستخدمة في يومنا هذا كوسيطٍ للتباين أو ما يطلق عليه المادة المظللة .contrast media إلا أن الجانب السلبي في ذلك الامر على الرغم من ذلك يتمثل في أن تلك النقاط الكمومية غالباً ما تصنع من عناصر سامة تماما.

كما تسمح خاصية أخرى نانوية والمتمثلة في ارتفاع نسبة مساحة السطح إلى نسبة الحجم، باتصال العديد من المجموعات الوظيفية وارتباطها بالجسيم النانوي، والذي قد يسعى إلى الارتباط ببعض الخلايا السرطاني ة.

هذا بالإضافة إلى الحجم الصغير للجسيمات النانوية(من 10 إلى100 نانومتر) يسمح لتلك الجسيمات بالتجمع بصورةٍ تفضيليةٍ في مواقع الأورام بسبب أن الأورام تفتقر إلى نظام فعال للتصريف الليمفاوي an effective lymphatic drainage system). (ويتمثل أحد الأسئلة البحثية المثيرة في كيفية الاستفادة من هذه الجسيمات النانوية المستخدمة

في التصوير في علاج الأورام السرطانية .وللحظة نتساءل، هل من الممكن تصنيع وإنتاج جسيمات نانوية متعددة الوظائف والتي يكون لها القدرة على اكتشاف وتصوير والتقدم لمعالجة ذلك الورم؟ ويمثل ذلك اتساؤل محور أبحاثٍ وتحقيقاتٍ نشطةٍ؛ حيث قد تحدد الإجابة على ذلك

للسرطان أن تحل ذات يومٍ محل العلاج الإشعاعي والكيميائي في علاج الأورام السرطانية .حيث ربطت طريقة RF Kanzius العلاجية الجسيمات النانوية المجهرية بالخلايا السرطانية ثم" طهى "الأورام داخل الجسم باستخدام موجات الراديو ثم قام بتسخين الجسيمات النانوية والخلايا (السرطانية)المجاورة فقط.

ولرقائق اختبار المستشعر والمحتوية على الآلاف من الأسلاك النانوية القدرة على اكتشاف البروتينات بالإضافة غلى المؤشرات الحيوية الأخرى والتي تخلفها الأورام السرطانية، بالإضافة إلى قدرتها على اكتشاف وتشخيص السرطان في المراحل المبكرة بواسطة بضع نقاط من دم المريض.

وتعتمد النقطة الرئيسية لاستخدام تقنية توصيل الدواء على ثلاثة حقائقٍ هي)1 :التغليف الكفء للأدوية،)2 توصيلٍ ناجح للأدوية الموصوفة إلى المناطق المستهدفة بالجسم، و)3 الانطلاق الناجح للدواء بتلك المنطقة.

وقد أجرى الباحثون بجامعة رايس بحثاً 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 الاشعة باستخدام أشعة الليزر تحت الحمراء والتي تخترق اللحم بدون تسخينه، تسخين الذهب بدرجةٍ كافيةٍ ليسبب موت الخلايا السرطانية

هذا بالإضافة إلى اختراع جون كانزيزس لآلة ترددات لاسلكيةٍ والتي تستخدم مزيجاً من الموجات اللاسلكية وجسيمات الكربون أو الذهب النانوية لتدمير الخلايا السرطانية.

تتوهج الجسيمات النانوية لسيلينيد الكادميوم) cadmium selenide نقا ط 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.
كما آمن أحد العلماء بجامعة ميتشجن، جيمس بيكر أنه اكتشف طريقةً

كافيةً وناجحةً لتوصيل الأدوية المعالجة للسرطان والتي تعد أقل ضرراً
على المناطق المحيطة داخل الجسم .حيث طور بيكر تقانة نانوية والتي
تقوم أولاً بتحديد موقع ثم بعد ذلك إزالة الخلايا السرطانية .حيث نظر
إلى جزيء يُطلق عليه(دينديريمر .(dendrimer حيث يتسم هذا
الجزيء بوجود مئة خطاف على سطحه والتي تسمح له بالارتباط بالخلايا
داخل الجسم للعديد من الأسباب .ثم قام بيكر بوصل حمض الفوليك ببعضٍ
من تلك الخطاطيف(حيث تستقبل خلايا الجسم حمض الفوليك هذا وهو
عبارة عن فيتامين .)ونتيجة أن للخلايا السرطانية مستقبلاتٍ أكثر من
الخلايا الطبيعية داخل الجسم للفيتامين، فإن جزيء الديندريمر
dendrimerوالمحمل بالفيتامين يتم امتصاصه بواسطة تلك الخلية
السرطانية .في حين قام بيكر بربط باقي خطاطيف الديندريمر بعلاجاتٍ
مضادة للسرطان والتي سيتم امتصاصها مع امتصاص الديندريمر داخل
الخلية المسرطنة، مما يسفر عن توصيل دواء السرطان إلى داخل الخلية
السرطانية دون أي مكنٍ آخرٍ .(Bullis 2006) ومن الملاحظ أنه في المعالجة بالديناميكا
الضوئية، يتم وضع جسيم داخل
الجسم ويضاء بضوءٍ من الخارج .حيث يمتص الجسيم الضوء، ولو كان
الجزيء معدناً، فالطاقة الصادرة من الضوء تقوم بتسخين الجسيم والنسيج
المحيط كذلك .كما يتم الاستفادة من الضوء كذلك في إنتاج جزيئات

الأوكسجين عالية الطاقة والتي ستتفاعل كيميائياً مع معظم الجزيئات
العضوية المجاورة لها وتدمرها(ومنها الأورام .)ولهذا العلاج جاذبيته لعدة

(العلاج الكيميائي)، ذلك لأنها موجهة فقط حيث يلمع الضوء وتتواجد الجسيمات .وللمعالجة بالديناميكا الضوئية قدرتها الغير توسعية للتعامل مع الأمراض والنمو والأورام.

4 - 2 الجراحه

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 أخضرٍ يحتوي على قشور نانوية مطلية بالذهب على طول خط التماس بين القطعتين .ثم تلى ذلك توجيه أشعة الليزر تحت الحمراء على طول خط التماس كذلك، مما يؤدي إلى تلاحم كلا القطعتين عند خط تماسهما معاً .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.

5 - 2التصوير

تساعد حركة تتبع المسار على تحديد مدى جودة توزيع الأدوية وكيفية التمثيل الجيد للمواد .حيث أنه من الصعب تتبع مجموعة صغيرة من الخلايا داخل الجسم، ومن ثم اعتاد العلماء صبغ الخلايا .كما تتطلب تلك الصبغات أن يتم إثارتها بواسطة ضوء طول موجي محدد بهدف دفع تلك الصبغات للإضاءة .وفي الوقت الذي تمتص فيه العديد من الصبغات مختلفة الألوان ترددات متنوعة من الضوء، فقد ظهرت الحاجة إلى استخدام مصادر متعددة للضوء كالخلايا .وتتمثل إحدى الطرق المستخدمة للتغلب على تلك المشكلة في البقايا المنيرة .وتلك البقايا عبارة عن نقا ط كمومية متصلة بالبروتينات والتي لها القدرة على اختراق أغشية الخلية.

ويمكن تصنيع تلك النقاط عشوائية الحجم من مواد خاملة حيوية bio-inert material
، والتي تتسم بأحجامها النانوية حيث يعتمد اللون على
الحجم، ومن ثم يتم انتقاء الأحجام، لذلك يمثل تردد الضوء(المستخدم
لإنتاج مجموعةٍ من فلوريسنت النقاط الكمومية)مجموعةً فرديةً من
الترددات المطلوبة لجعل مجموعة أخرى تتوهج وتلمع .ثم يمكن إضاءة
كلتا المجموعتين باستخدام مصدر ضوئي واحد

6 – 2 أستهداف جسيم النانو

من الملاحظ أن الجسيمات النانوية تمثل مجالاً واعداً للتقدم في
حقلي توصيل الدواء والتصوي ر الطبي بالإضافة إلى عملها كمستشعراتٍ
تشخيصيةٍ . إلا أنه على الرغم من ذلك فإن التوزيع الحيوي لتلك الجسيمات
النانوية ما زال غير معلوم بسبب صعوبة استهداف أعضاءٍ محددةٍ بالجسم.
في حين أظهرت دراسة حديثة أجريت على الأجهزة الإخراجية للفئران أن
قدرة مركَّبات الذه ب في استهداف أعضاءٍ محددةٍ تعتمد على حجمها
وشحنتها .ومن ثم فيتم طلاء تلك الجسيمات النانوية بدندريمر
dendrimer ويتم إعطائها شحنة محددة سواءً أكانت شحنةً إيجابيةٍ أم
سلبيةٍ .حيث وجد أن جسيمات الذهب النانوية موجبة الشحنة تخترق وتنفذ
إلى الكلى في حين تبقى جسيمات الذهب النانوية سالبة الشحنة بالكبد
والطحال .فقد افتُرِض أن شحنة السطح الموجبة تقلل معدل تطويق
osponization:)وهي تعني طلاء الكائنات الدقيقة بالأجسام المضادة
لتتعرف عليها البالعات)الجسيمات النانوية داخل الكبد، ومن ثم تؤثر على
مسار الإخراج .حتى لو كان حجمها يصل نسبياً إلى 5 نانومترات، فإن
هذه الجزيئات قد تتجزء داخل الأنسجة الخارجية أو السطحية، ومن ثم

تتجمع داخل الجسم مع مرور الوقت .كما اثبت التقدم في الدراسات البحثية أن عمليتي الاستهداف والتوزيع تتزايد مع استخدام الجسيمات النانوية، في حين تعد مخاطر التسمم النانوي الخطوة التالية في الإدراك والوعي المستقبلي لاستخداماتها الطبية.

7 – 2التوصيل الألكتروني العصبي

يمثل التواصل العصبي الإلكتروني هدفاً مرئياً يتناول بنية الأجهزة النانوية والتي ستسمح بتوصيل الحاسوب وربطه بالجهاز العصبي .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 أحاسيسٍ 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 الاصابات 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 .وهنا يجب وضع في الاعتبار توفير عاملين عند اختيار مصدر الطاقة لمثل تلك التطبيقات، يتمثلان في استراتيجيات قابلة لتمويل الوقود المستمر وغير قابلة للتمويل.

فالاستراتيجية القابلة لتمويل الوقود refuelable strategy تعني أن الطاقة يتم ملئها باستمرار أو بشكلٍ دوريٍ بالمصادر الصوتية، الكيميائية، المغناطيسية، والكهربائية .في حين تعني الاستراتيجية الغير قابلة للتمويل بالوقود nonrefuelablestrategy أن كل القوى تُستمد من تخزين الطاقة الداخلية internal energy storage والتي ستتوقف عندما

إلا أن أحد قيود ذلك الاختراع يتمثل في حقيقة أن واجهة التفاعل الكهربائية هي مسألة ممكنة .حيث تستطيع كلٌ من المجالات الكهربائية، النبضات الكهرومغناطيسية electromagnetic pulses (EMP والمجالات الأخرى الناجمة عن استخدام الأجهزة الكهربائية الحيوية(إن فيفو (in vivo :أن تسبب كلها واجهات تفاعلٍ وتواصلٍ .هذا بالإضافة إلى أنه مطلوب تواجد عوازلٍ سميكةٍ بهدف منع تسرب الإلكترونات، كما أنه لو ارتفعت موصلية conductivity الوسيط الحيوي(إن فيفو)فستوجد مخاطرة في فقدان أوقصور مفاجيء في الطاقة. وفي النهاية، مطلوب توفير أسلاكٍ سميكةٍ لتوصيل مستويات الطاقة

الضرورية بدون زيادة معدلات التسخين .وعلى الرغم من توافر الأبحاث في المجال، إلا أن تقدماً محدوداً فقط هو ما تم تحقيقه .حيث أنه من الصعب تكوين شبكة اسلاكٍ للهيكل أو البنية نسبب أنه يجب وضعها بدقةٍ داخل الجهاز العصبي ليصبح قادراً 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 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.

8 – 2تطبيقات النانو طبيه في النانو جزيئيه

يمثل علم التقانة النانوية الجزيئية إحدى مجالات الدراسة الفرعية المستقبلية لعلم التقانة النانوية والذي يهتم بإمكانية هندسة المجمعات الجزيئية، وهي تلك الآلات التي تعيد تنظيم وترتيب المادة على المقياس الجزيئي أو الذري .إلا أن علم التقانة النانوية الجزيئية يتسم بأنه نظري بدرجةٍ عاليةٍ، حيث يسعى إلى توقع ماهية الاختراعات التي قد تُقَدَم في مجال التقانة النانوية بالإضافة إلى أنه يقترح أجندة عمل للتسؤلات المستقبلية .هذا بالإضافة إلى أن العناصر المقترحة لعلم التقانة النانوية الجزيئية ومنها المجمِّعات الجزيئية وروبوتات النانو بعيدة جداً عن الإمكانيات والقدرات الحالية.

9 – 2 روبوتات النانو

يقول الدعاة أن المزاعم المتوقعة والمحتملة حول إمكانية استخدام بروبوتات النانو في المجال الطبي ستغير من عالم الطب في حال تم تحقيقها .حيث سيستفيد طب النانو من مثل تلك الروبوتات النانوية (ومنها على سبيل المثال؛ الجينات المحوسبةComputational Genes)، من خلال وضعها بالجسم بهدف إصلاح أو اكتشاف الأضرار والعدوى التي يتعرض لها الجسم .وطبقاً لما أورده روبرت

فريتس Robert Freitas والعامل بمعهد التصنيع الجزيئي، فإن الروبوت النانوي النموذجي المتحمل للدم يصل حجمه إلى ما بين3 - 0.5 ميكروميتر، ذلك لأن هذا الحجم يعد أقصى حجم متاح نتيجة متطلبات ممر الشعيرات الدموية للسماح له بالمرور .وقد يصبح الكربون العنصر الأساسي والمستخدم في بناء تلك الروبوتات النانوية نتيجة قوته الداخلية الكامنة والعديد من الخصائص الأخرى لبعض أشكال الكربون

(مركبات الألماس و الفولرين)، هذا بالإضافة إلى أن روبوتات النانو تلك سيتم تصنيعها بمصانع سطح المكتب النانوية والمخصصة لذلك الغرض. ويمكن ملاحظة ومتابعة عمل الأجهزة النانوية داخل الجسم باستخدام أشعة الرنين المغناطيسي، خاصةً لو كانت تم تصنيع مكوناتها باستخدام ذرات الكربون 13 C atoms 13 (13) بدلاً من نظير الكربون) 12 (الطبيعي C isotope of carbon12 natural، حيث أنه لا توجد لحظة صفرية مغناطيسية ذرية للكربون 13 .C 13 (13) حيث سيتم أولاً 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 قادراً على مسح منطقةٍ كاملةٍ من الجسد، وسيرى في ذلك الوقت الجهاز النانوي وهو ملتف

حول هدفه(كتلة ورم أو اي شيءٍ آخر)ومن ثم يستطيع التأكد أن ذلك الإجراء كان موفقاً.

10 – 2ألالات أصلاح الخليه

يستطيع الأطباء تشجيع الأنسجة على إصلاح نفسها فقط من خلال باستخدام الأدوية والجراحة .إلا أنه مع استخدام الأجهزة الجزيئية، ستتوفر العديد من الفرص لعمليات الإصلاح المباشرة حيث ستعتمد تقنية إصلاح الخلية على نفس المهام التي أثبتت الأجهزة الطبيعية أنها قادرة على أدائها. فالوصول إلى الخلية أصبح ممكناً نتيجة أن علماء الأحياء استطاعوا غرس الإبر داخل الخلايا بدون قتلها .ومن ثم أصبحت الأجهزة الجزيئية قادرة على دخول الخلية .وكذلك، أظهرت كل التفاعلات الحيوية الكيميائية biochemical interactionsالخاصة 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

الجزيئي، فإنه في المستقبل، يمكن بناء الأنظمة القائمة على الأجهزة النانوية والتي عندها القدرة على دخول الخلايا، والإحساس بالفروق بين

الخلايا المريضة عن تلك الخلايا الصحية السليمة ومن ثم القيام بالتعديلات المرغوبة في البنية الهيكلية.

ومن هنا تعد إمكانيات الرعاية الصحية لتلك الآلات الإصلاحية مبهرة وجذابة .ومقارنةً بأحجام الفيروسات والبكتريا، فإن أجزائها المدمجة ستسمح لها لتصبح أكثر تعقيداً .وسيتم تخصيص الآلات المبكرة .وبما أنها تفتح وتغلق أغشية الخلية أو تسافر عبر النسيج وتدخل الخلايا والفيروسات، فإن الآلات وحدها ستكون قادرة على تصحيح خللاً جزيئيا واحداً مثل تلف الحامض النووي DNA أو نقص كفاءة الإنزيم .ومؤخراً، فإن آلات إصلاح الخلية ستكون قابلة للبرمجة والتزود بالمزيد من القدرات بمساعدة أنظمة الذكاء الاصطناعي المتقدمة.advanced AI systems 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 الجزيية التالفة. ومن ثم ستصبح آلات 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 والتي 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 استراتيجية الإصلاح الذاتي بمفردها.

علم أمراض الكلى النانوي Nanonephrology هو أحد فروع طب النانو والتقانة النانوية والذي يتناول كلاً من)1 :دراسة بنيات بروتين الكلى على المستوى الذري،)2 مداخل وأساليب التصوير النانوي لدراسة العمليات الخلوية داخل خلايا الكلى، و)3 العلاجات الطبية النانوية والتي تستخدم الجسيمات النانوية بالإضافة إلى معالجة مختلف أمراض الكلى. كما أن عملية تصنيع واستخدام المواد والأجهزة على المستوى الجزيئي والذري والتي تستخدم لتشخيص وعلاج أمراض الكلى تعد من مجالات علم أمراض الكلى النانوي Nanonephrology والتي ستلعب دوراً فعالاًعلاج 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 والتي 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 هدفاً 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. كما أن تصميم الهياكل النانوية والمتوافقة مع خلايا الكلى والتي يكون لها القدرة على إجراء العمليات في الحيوية in vivo بصورةٍ سالمةٍ آمنةٍ يعد أيضاً هدفاً مستقبليا 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.

1 – 2 - 2تقنية النانو في طب الأسنان

ويهدف استخدام تقنية النانو في طب الأسنان إلى الحفاظ على صحة الأسنان عبر استخدام المواد النانوية، والتكنولوجيا الحيوية التي تتضمن هندسة الأنسجة وروبوتات النانو السنية .ويهدف العلم إلى منح روبوتات النانو السنية القدرة على استخدام آلياتٍ حركيةٍ محددة تسمح لها بالسباحة عبر الأنسجة البشرية بدقةٍ، والتوصل إلى تقنيةٍ لدخول الخلايا بشكلٍ آمنٍ والتعامل مع المحيط، ويتم التحكم بهذه الروبوتات النانوية عبر حاسوبٍ خاصٍّ يقوم بتنفيذ مجموعةٍ من التعليمات المبرمجة مسبقًا، أو قد يقوم طبيب الأسنان نفسه بإرسال أوامر مباشرةً إلى هذه الروبوتات عبر الإشارات الصوتية أو وسائل أخرى. .

1 – 3 - 2النانو في علاج مرض الزهايمر

يقدر عدد المصابين بمرض الزهايمر حول العالم بحوالي 35 مليون شخصٍ، ولكن مع تطور العلم أصبح من الممكن تشخيص الزهايمر وعلاجه بشكلٍ مبكرٍ عن طريق استخدام تقنية النانو، وذلك عبر تصميم عددٍ كبيرٍ من الجسيمات النانوية ذات خصوصيةٍ عاليةٍ للخلايا المبطنة الشعرية في الدماغ

حول حقن الدهون ب"النانو فات"

حقن الدهون نانو هي طريقة لحقن الدهون والتي عادة ما تستخدم لتجديد شباب الوجه .في هذه الطريقة ، سيتم شفط الدهون من أجزاء من الجسم (بما في ذلك الأرداف أو البطن أو الجوانب)بجهاز خاص(عادةً شفط بطريقة بودي جت)، ثم تصفيته وحقنه إلى أجزاء الوجه التي تحتوي على تجاعيد أو خطوط، مع إبرة صغيرة جدا.

والفرق الرئيسي بين حقن الدهون نانو وحقن الدهون التقليدية هو أن الخلايا الدهنية التي تنتجها عملية حقن الدهون نانو صغيرة جدًا مما يؤدي إلى أقل إزعاج وأطول أمداً .كما أنه ليس له أي آثار جانبية ويعتبر أفضل طريقة لتقليل الهالات السوداء حول العينين.

1 – 5 - 2النانو في علاج فايروس كورونا

يدخل النانو كعنصر مهم في لقاح فايزر وأوضحت الصحيفة أن اللقاح يحتوي على جسيمات نانوية دهنية (lipid nanoparticles (في وسط سائل يُعرف بمحلول الفوسفات الملحي، ويتكون من مواد مثل كلوريد الصوديوم وكلوريد البوتاسيوم.

وتوجد أيضا كمية كبيرة من السكروز، ويسمح هذا السكر الواقي من

التجمد بتخزين اللقاح في درجة حرارة منخفضة دون التعرض للفساد، خاصة أثناء الذوبان، ومن ثم يمكن تخزين لقاح فايزر بيونتك عند70 - - درجة مئوية، حيث يتحد السكروز مع جزيئات الماء ويمنعها من تكوين بلورات الثلج، لتظل في حالة زجاجية تحافظ على تنظيم الدهون وال"آر إن إيه "المرسال داخل الجسيمات النانوية الدهنية.

وتعمل الجسيمات النانوية الدهنية حسب الصحيفة ناقلا غير سام بالنسبة- - للجسم، وتحمي المادة الفعالة أثناء الحقن بها، وهكذا يتم نقل المادة الفعالة ال"آر إن إيه "إلى حيز داخل الخلايا وفقا لعملية تسمى الالتقام الخلوي، وهي دخول الجسيم النانوي بأكمله في الخلية، عبر جيب صغير يتكون من قطعة من غشاء الخلية.

في 14 فبراير الحالي نشر موقع TATNANO.com أن" أقنعةN95
المدعومة بتقنية النانو تستطيع إيقاف انتشار فيروس كورونا؛ لأنها تقدم
موادَّ تسمح بالتنفس، دون تمرير فيروس كورونا؛ لأن ثغرات ما بين
نسيجها تقل كثيرًا عن حجم كرات الفيروس متناهية الصغر .وكان موقعا
Stantoو NBIC المعنيان بقاعدة بيانات أبحاث تكنولوجيا النانو، قد
نشرا في 28 يناير هذا العام مقالًا مبشر العنوان يقول" :ثمة تفشٍّ لفيروس
كورونا؟ لا داعي للفزع، فتكنولوجيا النانو موجودة لتساعد"، ووثَّقا تطوير
لقاح ناجح مضاد لفيروسات كورونا عمومًا، يقوم على توظيف الجُسيمات
٥٥

النانوية .وفكرته أن التكوين الجزيئي للفيروس يتضمن أربعة أنواع من
البروتينات تشكل جينومه وأغشيته والمظروف والشوكات النافرة على
سطح المظروف، والأخيرة يشار إلى بروتينها بالحرف S ، الذي يؤدي
دور مفتاح اللص الذي يسمح بفتح الباب للفيروس في غشاء الخلية
المُستهدفة ليلجها جينومه ويتطفل عليها، ناهبًا كل إمكاناتها لاستنساخ
فيروسات جديدة على شاكلته، تكتظ بها الخلية حتى تنفجر مُطلِقةً ما بها من
نُسخ الفيروس، لتصيب خلايا جديدة وتُفاقِم أعراض المرض التي تنشر
فيروساته عبر عطاس المصابين به، وسعالهم، ورذاذ أنفاسهم، ونثار
إفرازاتهم .ومن هذا الفهم لدقائق عمل هذا الكائن النانوي، ينطلق تخليق
مضاد نانوي يبطل عمل المفتاح الذي يتسلل به الفيروس إلى داخل
الخلايا، فيجهض الإصابة بالمرض، ويُبطِل انتشاره.

تبعًا للمنشور مؤخرًا، استطاعت تقنيات النانو تطوير مواد متناهية
الصغير لإبطال عمل البروتين .S وتم طرح واختبار مواد لهذا الغرض،
منها جسيمات النانو الذهبية ونقاط الكم الكربونية CQDs كخيارات بارزة
للتفاعل مع شوكات الفيروس ومنع دخوله إلى الخلايا .ونجحت تجارب
عديدة لتثبيط عمل هذه الشوكات بهذه الطريقة، في أكثر من معمل بحثي
في جامعة ليل الفرنسية وجامعة روهر بوخوم بألمانيا، حيث ارتبطت نقاط
الكم الكربونية نانوية الحجم مع بروتين شوكات الفيروس S فأبطلت قدرته
٥٦

على خداع الخلايا المستهدفة بالغزو كمفتاح لولوجها .كما أظهرت التجارب التي أضافت هذه المثبطات النانوية للمزارع الخلوية، قبل وفي أثناء الإصابة بفيروس كورونا، أنها قللت كثيرًا من معدل إصابة الخلايا إلى درجة مدهشة، فبعد دورة حياة فيروسية واحدة، وهي 5.5 ساعات لفيروس كورونا، لوحظ تثبيط كبير لتكاثر الفيروس .وتفسير ذلك أن نقاط الكم الكربونية ذات القابلية الممتازة للذوبان في الماء، والتي لا يتجاوز متوسط قطر كل نقطة منها 10 نانومترات، تمكنت بسهولة من دخول الخلايا ومجابهة بروتين الفيروس فمنعته من استنساخ نفسه داخل الخلايا، من ثم حمت الخلايا من الإصابة به.

من زاوية أخرى، أظهرت الأبحاث أن عصيات الذهب النانوية متناهية الصغر nanorods تعمل بشكل انتقائي على البروتين S لشوكات فيروس كورونا فتبطل فاعليته .كما نجح باحثون من جامعة شيزوكا اليابانية في تكوين جزيئات نانوية من خلايا يرقات دودة القز، تشبه فيروس كورونا، لكنها لا تحتوي على جينوم الفيروس، وبمجرد دخولها خلايا المضيف تحفز الجهاز المناعي لمحاربة فيروس كورونا نفسه، فكأنها لقاح ضد الفيروس دون استخدام أجزاء أو عينات منه بعد إضعافها. وقد نجحت هذه الآلية عند اختبارها على فيروس كورونا المسبب لمتلازمة الشرقة الأوسط التنفسية، ونجاحها يفتح بابًا واسعًا وواعدًا في مواجهة

مستجدات هذه السلالة الفيروسية، ومنها كوفيد 19 ، وما بعده .فهل يكف جنسنا البشري عن غروره التدميري النووي، ليتواضع في خوض حرب أخرى أكثر إلحاحًا، حرب نانوية ضد خصم نانوي عنيد وعتيد، لن يبيد، وليس ممكنًا ولا مطلوبًا أن يبيد، فهو عنصرٌ من عناصر الحياة، فقط نسعى لنكفَّ أذاه عنَّا، كما نتأمل في مفارقة هوان شأنه وهول جوائحه، مدى هشاشتنا وحتم التواضع فيما بيننا، وأمام جلال الحياة في هذا الكوكب.

الخاتمه:

وفي ضوء ماذكرناه سابقآ نأمل أن نكون قد وفقنا في عرض ميسر لمفهوم تقنية النانو وأهميتها في الحياة والمستقبل وتأثيرها على الحياه الطبيه ليكون ذلك منطلقا لتفعيل النانو تكنولوجي في حياتنا العامه والعلميه والتعليميه.

كما نتمنى أن نكون قد ألقينا الضوء على أهميه النانو تكنولوجي في المجال الطبي وأهميه البحث العلمي ودوره في تحقيق التنميه الاقتصاديه والأجتماعيه والتطور لمجتمعنا الغالي وشتى المجتمعات

هذا وماكان في هذا العمل من صواب فمن الله وحده وتوفيقه وماكان فيه من خطأ أو نقص أو خلل فمن أنفسنا وأجتهادنا ونسأل الله القبول والغفران.

وفي الختام لايسع من يطالع الابحاث الكثيره حول تقنيه النانو في مختلف المجالات إلا ان يستبشر بقفزه نوعيه في جميع فروع العلم ومجالات الحياة.

والله ولي التوفيق،، ،

المصادر

1. ↑ أ ب Nanomedicine, Volume I: Basic Capabilities, by Robert A. Freitas Jr. 1999, ISBN 1-57059-645-X نسخة محفوظة على موقع واي باك مشين 24. يناير 2018

2. ^ *Editorial. (2006). "[https://www.nature.com/articles/nmat1625 Nanomedicine: A matter of rhetoric?]". Nat Materials. **5** (4): 243. doi:10.1038/nmat1625. PMID 16582920* . مؤرشف من الأصل *2017*. مايو *12*في *2010*أغسطس *15* اطلع عليه بتاريخ . روابط خارجية في) =title| مساعدة(

3. ^ *Wagner V, Dullaart A, Bock AK, Zweck A. (2006). "[http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?db=pubmed&uid=17033654&cmd=showdetailview The emerging nanomedicine landscape]". Nat Biotechnol. **24** (10): 1211–1217. doi:10.1038/nbt1006-1211. PMID 17033654.* روابط خارجية في) =title| مساعدة(

4. ^ *Freitas RA Jr. (2005). "[http://www.nanomedicine.com/Papers/WhatIsNMMar05.pdf What is Nanomedicine?]" (PDF). Nanomedicine: Nanotech. Biol. Med. **1** (1): 2–9.*

مؤرشف من الأصل *(PDF) 2010* أغسطس . *15* اطلع عليه بتاريخ *2019* يونيو *6* في روابط خارجية.

في) =title| مساعدة(

5. ^ [https dp/2884490809 Nanotechnology in Medicine and the Biosciences], by Coombs RRH, Robinson DW. 1996, ISBN 2-88449-080-9

6. ^ [https dp/0131014005 Nanotechnology: A Gentle Introduction to the Next Big Idea], by MA Ratner, D Ratner.2002, ISBN 0-13-101400-5

7. ^ *LaVan DA, McGuire T, Langer R. (2003). "Small-scale systems for in vivo drug delivery". Nat Biotechnol. **21** (10): 1184–1191. doi:10.1038/nbt876. PMID 14520404.* |title= (في روابط خارجية) مساعدة)

8. ^ *Cavalcanti A, Shirinzadeh B, Freitas RA Jr, Hogg T. (2008). "Nanorobot architecture for medical target identification". Nanotechnology. **19** (1): 015103(15pp). doi:10.1088/0957-4484/19/01/015103.* روابط خارجية

في |title= مساعدة

٦١

9. ^ University of Waterloo, Nanotechnology in Targeted Cancer Therapy, http://www.youtube.com/watch?v=RBjWwlnq3cA 15 January 2010نسخة محفوظة على موقع واي باك مشين 5 أكتوبر 2020

10. ^ *Allen TM, Cullis PR. (2004). "Drug Delivery Systems: Entering the Mainstream". Science. **303** (5665): 1818–1822. doi:10.1126/science.1095833. PMID 15031496.* روابط خارجية

|title= (في) مساعدة)

11. ^ *Nie, Shuming, Yun Xing, Gloria J. Kim, and Jonathan W. Simmons (2007). "Nanotechnology Applications in Cancer". Annual Review of Biomedical Engineering. **9**: 257. doi:10.1146/annurev.bioeng.9.060906.152025. PMID 17439359.*

12. ^ *Zheng G, Patolsky F, Cui Y, Wang WU, Lieber CM. (2005). "[https://www.nature.com/articles/nbt1138 Multiplexed electrical detection of cancer markers with nanowire sensor arrays]". Nat Biotechnol. **23** (10): 1294–1301. doi:10.1038/nbt1138. PMID 16170313 .*

مساعدة =title| في

13. ^ *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)* 14. *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* Nanomedicine, Volume IIA: Biocompatibility, by أ أ*17523182*. 15. ↑ نسخة محفوظة على موقعRobert A. Freitas Jr. 2003, ISBN 1-57059-700-6 30 سبتمبر 2017 واي باك

. 16. ^ *Freitas, Robert A., Jr.; Havukkala, Ilkka (2005).* مشين *"[http://www.nanomedicine.com/Papers/NMRevMar05.pdf Current Status of Nanomedicine and Medical Nanorobotics]" (PDF). Journal of Computational and Theoretical Nanoscience. **2**: 1–25. doi:10.1166/jctn.2005.001*.

ا 6 ااااا *(PDF) .2019* ااااا ا ااااا

) 17. ^ مساعدة |title= (روابط خارجية في) . اااااا اااا اااا *15* ااااا*2010* Nanofactory Collaborationنسخة محفوظة على موقع واي 2017 أغسطس20

. 18. ^ Engines of Creation: The Coming Era of باك مشين

+ الجزيرة :المصدرNanotechnology, by K.Eric Drexler. .1986. 19.

وكالات + الصحافة السويسرية + مواقع إلكترونية