بسم الله الرحمن الرحيم

التصنيع النانوي الموجَّه للتطبيقات الطبية الحيوية

التقنيات - والأدوات - والتطبيقات - والتأثير

الجزء الثاني

تحرير

تشالا إس. إس. آر. كومار، جوزيف هورميس، كارولا لوشينر

ترجمة

الدكتور ناصر محمد عبدالسلام عمر
أستاذ الكيمياء المساعد
كلية المجتمع بالرياض- جامعة الملك سعود

الدكتور طارق ضيف عبدالفتاح السرنجاوي
أستاذ الهندسة الطبية المشارك
جامعة الأمير سلطان

النشر العلمي والمطابع - جامعة الملك سعود

ص.ب ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ - المملكة العربية السعودية

ح جامعة الملك سعود، ١٤٣٥هـ (٢٠١٣م)

هذه ترجمة عربية مصرح بها من قِبل مركز الترجمة بالجامعة لكتاب:

Nanofabrication Towards Biomedical Applications
Techniques, Tools, Applications, and Impact
Challa S.S.R. Kumar, Josef Hormes, Carola Leuschner (Editors)

© WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2005

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

كومار، تشالا إس. إس. آر.
التصنيع النانوي الموجه للتطبيقات الطبية الحيوية: والأدوات والتطبيقات والتأثير./ تشالا إس. إس. آر. كومار؛ جوزيف هورميس وكارولا لوشينر؛ ناصر محمد عمر؛ طارق ضيف السرنجاوي - الرياض، ١٤٣٤هـ.
٤١٧ ص، ١٧×٢٤ سم. ٢ مج.
ردمك: ٦-١٨٢-٥٠٧-٦٠٣-٩٧٨ (مجموعة)
٠-١٨٤-٥٠٧-٦٠٣-٩٧٨ (ج٢)
١- تقنية النانو أ. لوشيز، هوماس وسي (مؤلف مشارك) ب. عمر، ناصر محمد (مترجم) ج. السرنجاوي، طارق ضيف (مترجم) د. العنوان
ديوي ٦٢٠,٠٥ ١٤٣٤/٩٣٦٧

رقم الإيداع: ١٤٣٤/٩٣٦٧

ردمك: ٦-١٨٢-٥٠٧-٦٠٣-٩٧٨ (مجموعة)
٠-١٨٤-٥٠٧-٦٠٣-٩٧٨ (ج٢)

حكمت هذا الكتاب لجنة متخصصة، شكلها المجلس العلمي بالجامعة، وقد وافق المجلس العلمي على نشره بعد اطلاعه على تقارير المحكمين- في اجتماعه العشرين للعام الدراسي ١٤٣٣/١٤٣٤هـ، المعقود بتاريخ ١٤٣٤/٧/١٦هـ، الموافق ٢٠١٣/٥/٢٦م.

النشر العلمي والمطابع ١٤٣٥هـ

مقدمة المترجمَين

يعتبر كتاب "التصنيع النانوي الموجه للتطبيقات الطبية الحيوية" من أهم الكتب التي ظهرت في الفترة الأخيرة في هذا المجال نظراً لما يحتويه من معلومات ثرية وحديثة عن المواد النانوية، وطرائق تشييدها، وخصائصها المختلفة وتطبيقاتها في المجالات العملية وخاصة في المجال الطبي، وعلى سبيل المثال، استخدام الجسيمات المغناطيسية النانوية لعلاج السرطان والأورام. كذلك هناك بالطبع تطبيقات قد تصبح حقيقة في المستقبل البعيد مثل زرع مضخات بحجم الجزيء توصل الأدوية بجرعات دقيقة حيثما تدعو الحاجة، أو إمكانية إزالة الجزء التالف من الخلية واستبداله بآلة حيوية.

لقد قام بتأليف هذا الكتاب مجموعة من الخبراء في هذا المجال، ويلخص المؤلفون الحالة الراهنة لتأثير تقنية النانو في مجال علم الأحياء، والتقنية الحيوية، والطب، والتعليم والاقتصاد، والمجتمع، والصناعة. وقد تم تجميع فصول هذا الكتاب بحكمة بالغة، لتغطي الجوانب الفنية للمجالات المختلفة مثل علم الأحياء النانوي، والطب النانوي، والتأثير الاجتماعي والتعليمي للتقنيات الجديدة الصاعدة. وهكذا، يقدم الكتاب نظرة عامة لغير المتخصصين من خلال توفير أحدث استعراض للأدبيات الموجودة، بالإضافة إلى تقديم رؤى جديدة للعلماء المهتمين بالأمر، وإعطاء انطلاقة للبدء في هذا المجال البحثي الصاعد.

ونظراً لافتقار المكتبة العربية إلى وجود مثل هذه المراجع في مجال تقنية النانو وخاصة في مجال الطب الحيوي النانوي، فقد رأينا أنه من الواجب أن نقوم بترجمة هذا

الكتاب ليكون مرجعاً مفيداً لكل المهتمين بهذا المجال الجديد من الدراسة سواءً لطلاب مرحلة البكالوريوس أو طلاب الدراسات العليا أو الباحثين في المجالات العلمية المختلفة. كما نأمل أن يحفز هذا الكتاب العديد من العلماء والباحثين لبدء البحث في هذه الاتجاهات المثيرة والمهمة.

وأخيراً، لا يسعنا إلا أن نوجه خالص الشكر إلى مركز الترجمة بجامعة الملك سعود على تشجيعه المتواصل للقيام بترجمة الكتب العلمية.

والله من وراء القصد وهو الهادي إلى سواء السبيل،

المترجمان

مقدمة

تقنية النانو الحيوية: عنوان أحد فصول هذا الكتاب "الدعاية والأمل والشيء الصغير القادم". ويشير هذا العنوان إلى أن تطبيقات تقنية النانو في علم الأحياء والطب مازالت لحد ما في مستقبل مجهول، إلا أن العكس صحيح كذلك: فهناك بالفعل العديد من المنتجات المتوافرة في السوق، مثل جسيمات أكسيد الزنك النانوية المستخدمة في الكريمات المضادة للشمس أو الفضة النانوية الداخلة ضمن مادة طلاء الأجهزة المنزلية لتدمير البكتيريا ومنعها من الانتشار. والتطبيقات الأخرى الأكثر إثارة قيد مرحلة الاختبار الآن، على سبيل المثال، استخدام الجسيمات المغناطيسية النانوية لعلاج سرطان الدماغ عن طريق الحرارة المفرطة. كذلك هناك بالطبع تطبيقات قد تصبح حقيقة في المستقبل البعيد- رغم أن هناك دائما مفاجآت محتملة في تقنية النانو- على سبيل المثال، زرع مضخات بحجم الجزيء توصل الأدوية بجرعات دقيقة حيثما تدعو الحاجة، أو إمكانية إزالة الجزء التالف من الخلية واستبداله بآلة حيوية. وهذه التطبيقات هي بعض من الأهداف المعلنة في خارطة طريق المعهد الوطني للصحة والطب النانوي، والذي تأسس في ربيع عام ٢٠٠٣م. مرة ثانية هذه المبادرة جزء من المبادرة القومية لتقنية النانو الأمريكية الأكبر (NNN)، التي ستوفر فيها ميزانية الرئاسة نحو مليار دولار لعام ٢٠٠٥ م بالنسبة للمشاريع المنسقة من قبل عشر وكالات اتحادية مختلفة على الأقل.

لقد تم عنونة الكتاب بجدارة وبشكل مناسب جداً "التصنيع النانوي الموجه للتطبيقات الطبية الحيوية" وقام بتأليف هذه الكتاب مجموعة من الخبراء في هذا المجال، وهو يلخص الحالة الراهنة لتأثير تقنية النانو في مجال علم الأحياء، والتقنية الحيوية، والطب، والتعليم والاقتصاد، والمجتمع، والصناعة. وأنا معجب جداً بالتجميع الحكيم لفصول هذا الكتاب والتي تغطي الجوانب الفنية للمجالات المختلفة مثل علم الأحياء النانوي، والطب النانوي من تشييد وتوصيف الأنظمة النانوية إلى التطبيقات العملية، والتأثير الاجتماعي والتعليمي للتقنيات الجديدة الصاعدة. وهكذا، يقدم الكتاب نظرة عامة لغير المتخصصين من خلال توفير أحدث استعراض للأدبيات الموجودة، بالإضافة إلى تقديم رؤى جديدة للعلماء المهتمين بالأمر، وإعطاء انطلاقة للبدء في هذا المجال البحثي الصاعد. آمل أن يحفز هذا الكتاب العديد من العلماء لبدء البحث في هذه الاتجاهات المثيرة والمهمة. وإنني لمسرور على وجه الخصوص بالتعرف على الجهود التي يبذلها مركز التراكيب الدقيقة والأجهزة المتقدمة (CAMD) ومركز بنينجتون للبحوث الطبية الحيوية (PBRC) في اتخاذ زمام المبادرة لنشر تأثير تقنية النانو الطبية الحيوية، كما أنني مقتنع بأن هذا الكتاب سيكون أداة قيّمة في أيدي جميع المهتمين باكتشاف طرق وفرص جديدة في هذا المجال الجديد الساحر.

ويليام ل. جنكينز

رئيس جامعة ولاية لويزيانا

تمهيد

لقد تطورت تقنية النانو خلال فترة زمنية قصيرة – عشر سنوات – لتصبح تقنية متعددة التخصصات حقاً تلامس كل نظام علمي تقليدي. وكان تأثير تقنية النانو على مجالات الطب الحيوي أبطأ نوعاً ما وهو مجرد بداية لاكتساب الأهمية ويتضح ذلك عند عمل بحث حديث على المنشورات البحثية في هذا المجال. فهناك نسبة ١٠٪ فقط من البحوث المتعلقة بعلوم الطب الحيوي من المجموع الكلي لعدد البحوث المنشورة في تقنية النانو وهو حوالي ٢٥٠٠ بحث في الفترة من عام ٢٠٠٢ – ٢٠٠٤م. وبالرغم من أن تأثير تقنية النانو على مجال الطب الحيوي بطيء، إلا أنه من المتوقع أن يكتسب زخماً في السنوات القادمة نظراً لأن جميع الأنظمة البيولوجية تجسد مبادئ التقنية النانوية. وببطء ولكن بخطى ثابتة، يجري تطوير المواد والأجهزة النانوية التي تمتلك مزايا التصميم على نطاق جزيئي ولها قدرة على التفاعل مباشرةً مع الخلايا والجزيئات الضخمة. ومن المرجح أن تحقق الأدوات العلمية النانوية المفهومة جيداً حالياً وتلك التي سيتم تطويرها في المستقبل تأثيراً هائلاً على علم الأحياء، والتقنية الحيوية والطب. وبالمثل، سيمكن فهم علم الأحياء بمساعدة التقنية النانوية من إنتاج مواد المحاكاة الحيوية ببنية نانومترية. ويسهل مقياس الحجم المتقارب للمواد النانوية والبيولوجية – مثل الأجسام المضادة، والبروتينات – استخدام هذه المواد في التطبيقات البيولوجية والطبية. كذلك، في السنوات الأخيرة، اكتشف مجتمع الطب الحيوي أن الخصائص الفيزيائية والخواص

الجديدة للجسيمات النانوية مثل مساحتها السطحية العالية جداً نسبة إلى الحجم، و الانبعاث الضوئي الانضباطي، والسلوك المغناطيسي وغيرها من الخواص يمكن استغلالها في استخدامات تتراوح بين توصيل العقار إلى الحساسات الحيوية.

ومن وجهة نظر الباحثين في الطب الحيوي، أنه من الصعب جداً فهم الأدبيات ذات الصلة والمعلومات المناسبة على أدوات التقنية النانوية التي ستكون ذات تأثير عميق على البحوث الطبية الحيوية لأن معظم الأدبيات يتم نشرها في المجلات الفيزيائية والكيميائية. ومسعانا هو دعم مجتمع الطب الحيوي من خلال توفير المعلومات المطلوبة عن تقنية النانو تحت مظلة واحدة. ويسرنا أن نقدم لقرائنا الكتاب الذي يغطي الجوانب المختلفة للتصنيع النانوي والذي نأمل أن يساعد متخصصي علم الأحياء والباحثين في مجال الطب. وهذا الكتاب لا يغطي الجوانب العلمية لأدوات التصنيع النانوي للبحوث الطبية الحيوية فقط ولكنه يغطي أيضاً الآثار المترتبة على هذا المجال الجديد من الأبحاث في مجال التعليم، والصناعة، والمجتمع بشكل عام. وهدفنا هو تقديم وجهة نظر شمولية بقدر الإمكان لقرائنا المهتمين بالتعلم، ومزاولة تدريس أدوات التقنية النانوية في المجالات الطبية الحيوية. ولذلك، تم تقسيم محتويات الكتاب من الستة عشر فصلاً إلى أربعة أجزاء رئيسة وهي: (١) الجوانب التشييدية للمواد النانوية، (٢) تقنيات توصيف المواد النانوية (٣) تطبيق أدوات التقنية النانوية في مجال الطب الحيوي و(٤) الآثار المجتمعية والتعليمية والاقتصادية.

يقدم الجزء الأول من الكتاب معلومات عن أدوات التصنيع للمواد النانوية. وقد أصبح الآن تصنيع المواد النانوية مجالاً متطوراً جداً للبحث ومن المستحيل أن يغطي جميع الجوانب. تقليدياً، تم تقسيم الأساليب التشييدية للمواد النانوية إلى فئتين: "من أعلى لأسفل" و "من أسفل لأعلى. ويحاول باحثون "من أعلى لأسفل" شد التقنية

الحالية لهندسة أجهزة بميزات تصميم دائمة أصغر. أما باحثون "من أسفل لأعلى" فإنهم يحاولون بناء المواد النانوية والأجهزة بجزيء أو بذرة واحدة في كل مرة، وبنفس الطريقة التي تُشيد بها الكائنات الحية الجزيئات الضخمة. لذا، حاولنا في هذا المجلد استكشاف الطرائق الكيميائية الرطبة لتصنيع الجسيمات الفلزية النانوية، والأساليب التشييدية لأنابيب الكربون النانوية، والأساليب لبناء مواد نانوية التركيب من لبنات بناء صغيرة الأبعاد. وقد تم تناول عرض رائع لأساليب المحاكاة الحيوية لمواد البناء من التراكيب النانوية في فصلين – "محاكي الكولاجين بالتركيب النانوي في هندسة الأنسجة" و"المحاكيات الحيوية الجزيئية: الطريق الطبيعي لمواد البناء، جزيء واحد في كل مرة". ونتمنى تغطية الجوانب التشييدية الأخرى في مجلدات لاحقة.

إن الجزء الثاني من الكتاب يغطي الأدوات المتوافرة حالياً لتوصيف المواد النانوية ويتوقع أن توفر الفرصة للباحثين في الطب الحيوي للتعلم، ليس فقط أساسيات بعض التقنيات الهامة جداً مثل مطيافية امتصاص الأشعة السينية وحيود الأشعة السينية، والمجهر الإلكتروني النفاذ، أو الحيود الإلكتروني، ولكن أيضاً المساعدة في تنمية فهم كيف يمكن أن تستخدم هذه التقنيات لتعزيز بحوثهم الخاصة. كما أدرج في هذا الجزء فصل بعنوان "كشف ومعالجة الجزيء الوحيد في تقنية النانو وعلم الأحياء" والذي نتمنى أن يوفر لقرائنا أحدث المعلومات حول الفرص الموجودة في الوقت الراهن والآفاق المستقبلية عن الأدوات اللازمة لتصور العالم في المستوى الجزيئي والنانوسكوبي. و"التقنيات النانوية للتصوير الخلوي والجزيئي بالرنين المغناطيسي MRI" وهو أحد الفصول الذي من المتوقع أن يوفر لقرائنا فكرة عن التشخيص وتوصيف لويحات تصلب الشرايين. وفي هذا الجزء مرة أخرى، هناك المزيد من أدوات التوصيف وطرائق الكشف المبتكرة التي تُركت عمداً لتكون مشمولة في مجلدات لاحقة.

يعرض الجزء الثالث أمثلة عن كيفية استخدام أدوات تقنية النانو في البحوث الطبية الحيوية. بينما يقدم الفصل المعنون بـ "الجسيمات النانوية لتوصيل عقاقير السرطان" أحدث المعلومات عن الأنواع المختلفة للجسيمات النانوية الموجود حالياً قيد التطوير لعلاج السرطان، وتم وصف أسلوب أكثر تحديداً باستخدام الأصداف الفلزية النانوية في فصل – التطبيقات التشخيصية والعلاجية للأصداف الفلزية النانوية. ويقدم هذا الجزء الخاص لقرائنا مجالات أخرى هامة من البحوث الطبية الحيوية مثل توصيل الجينات، وإزالة تلوث العامل البيولوجي والذي تأثر إيجابياً بتقنية النانو. وندرك أن هناك العديد من التطبيقات، وأن أكثر المناطق عرضة في مجالات البحوث الطبية الحيوية لا تزال تتأثر بتقنية النانو، وإنه من المستحيل تغطيتها جميعاً في كتاب واحد، ولكننا نتمنى أن نكون قادرين على تغطية أكبر عدد ممكن من الأمثلة من خلال تتابع مجلدات أخرى مخصصة للتصنيع النانوي في التطبيقات الطبية الحيوية، والتي يجري التخطيط لها حالياً.

في الجزء الأخير والأهم في رأينا يبرز تأثير تقنية النانو الطبية الحيوية على التعليم، والمجتمع، والصناعة. وليس هناك شك في أن تقنية النانو ستؤثر بشكل كبير على هذه الجوانب المهمة من حياتنا، ومهمتنا هي ضمان أن الباحثين العاملين في مجال تقنية النانو الطبية الحيوية أصبحوا مدركين لهذه الآثار. بينما الفصل "أصغر من أن يُرى" يزيد من وعي القراء حول كيفية محاولة المدرسين الأكاديميين التعامل مع هذا الوضع لتعليم الجيل الجديد تقنية النانو، وتم عنونة الفصل باقتدار بـ " التقنية الطبية الحيوية النانوية: التحديات المالية والقانونية والسريرية والسياسية، والأخلاقية، والاجتماعية لتطبيقها" يقدم للقارئ التحديات العالمية المختلفة لتطبيق هذه التقنية الجديدة. وتسلسل كتاب بهذا الحجم أمر مستحيل بدون دعم ثابت من المؤلفين الذين

أخذوا وقت طويلاً من مشاغلهم الكثيرة لتقديم مخطوطاتهم في الوقت المناسب، ونحن مدينون لهم بالشكر والتقدير. ولا يسعنا إلا أن نقدم الشكر والامتنان للدعم المقدم من ويلي Wiley VCH، وبشكل خاص إلى مارتن أوتمار Martin Ottmar، الذي عمل معنا مباشرة لجعل المجلد الأول هذا من سلسلة الكتب الموجودة بالفعل. كما نعتز ونقدر الدعم والتشجيع المقدم من مركز الأجهزة والتراكيب الدقيقة المتقدمة ومركز بينينجتون Pennington للبحوث الطبية الحيوية وهما مؤسستان فريدتان من نوعهما في ولاية لويزيانا بالولايات المتحدة الأمريكية، واللتان وفرتا فرصاً لا تعد ولا تحصى لموظفيهما نحو التفوق.

وأخيراً، نحن مدينون لعائلاتنا لثقتهم ودعمهم، بالإضافة إلى تحملهم غيابنا الطويل عن أعمالنا العائلية الرتيبة.

باتون روج Baton Rouge ، نوفمبر ٢٠٠٤

شالا كومار Challa Kumar، جوزيف هورميس Josef Hormes،

كارولا لوشينر Carola Leuschner

قائمة المشاركين

List of Contributors

Pulickel M. Ajayan
Rensselaer Polytechnic Institute
Department of Materials Science and Engineering
Troy, NY 12180
USA

Jennifer Barton
Electrical and Computer Engineering
University of Arizona
1230 Speedway Blvd.
Tucson, AZ 85721
USA

Carl A. Batt
Cornell University
Food Science Department
312 Stocking Hall
Ithaca, NY 14853
USA

Helmut Bönnemann
Max-Planck-Institut für Kohlenforschung
Heterogene Katalyse
Kaiser-Wilhelm-Platz 1
D-45470 Mülheim an der Ruhr
Germany

Shelton D. Caruthers
Washington University
School of Medicine
660 S. Euclid Avenue
St. Louis, MO 63110
USA
and
Philips Medical Systems
Cleveland, Ohio
USA

Alex Chen
Rutgers, The State University of New Jersey
Department of Chemistry
73 Warren Street
Newark, NJ 07102
USA

Daniel T. Chiu
University of Washington
Department of Chemistry
P.O. Box 351700
Seattle, WA 98195-1700
USA

Rebekah Drezek
Rice University
Department of Bioengineering
Houston, TX 77005
USA

Steven A. Edwards
S.A. Edwards and Associates
Christiana, TN 37037
USA

Maria P. Gil
Department of Chemical & Biomolecular Engineering
300 Lindy Boggs Center
Tulane University
New Orleans, LA 70118
USA

Naomi Halas
Rice University
Departments of Electrical and Computer Engineering
Houston, TX 77005
USA

Jeffrey D. Hartgerink
Departments of Chemistry and Bioengineering
Rice University
6100 Main St.
Houston, TX 77005
USA

Huixin He
Rutgers, The State University of New Jersey
Department of Chemistry
Newark, NJ 07102
USA

Leon Hirsch
Rice University
Department of Bioengineering
Houston, TX 77005
USA

Gavin D.M. Jeffries
University of Washington
Department of Chemistry
P.O. Box 351700
Seattle, WA 98195-1700
USA

Michael D. Kaminski
Nanoscale Engineering Group
Chemical Engineering Division
Argonne National Laboratory
9700 South Cass Avenue
Argonne, IL 60439
USA

Kenneth J. Klabunde
Department of Chemistry
Kansas State University
111 Willard Hall
Manhattan, KS 66505
USA

Challa Kumar
Center for Advanced Microstructures and Devices
Louisiana State University
6980 Jefferson Hwy.
Baton Rouge, LA 70806
USA

Christopher L. Kuyper
University of Washington
Department of Chemistry
P.O. Box 351700
Seattle, WA 98195-1700
USA

Gregory M. Lanza
School of Medicine
Washington University
660 S. Euclid Avenue
St. Louis, MO 63110
USA

Min-Ho Lee
Rice University
Department of Bioengineering
Houston, TX 77005
USA

Carola Leuschner
Pennington Biomedical Research Center
6400 Perkins Road
Baton Rouge, LA 70808
USA

Alex Lin
Rice University
Department of Bioengineering
Houston, TX 77005
USA

Christopher Loo
Baylor College of Medicine
Rice University
Department of Bioengineering
Houston, TX 77005
USA

Robert M. Lorenz
University of Washington
Department of Chemistry
P.O. Box 351700
Seattle, WA 98195-1700
USA

Guang Lu
Department of Chemical & Biomolecular Engineering
300 Lindy Boggs Center
Tulane University
New Orleans, LA 70118
USA

Yunfeng Lu
Department of Chemical & Biomolecular Engineering
300 Lindy Boggs Center
Tulane University
New Orleans, LA 70118
USA

Hartwig Modrow
Physikalisches Institut der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
Nuβallee 12
53115 Bonn
Germany

Sergey E. Paramonov
Departments of Chemistry and Bioengineering
Rice University
6100 Main St.
Houston, TX 77005
USA

C. K. S. Pillai
Regional Research Laboratory
Polymer Division
Thiruvananthapuram 695019
India

Ryan M. Richards
International University Bremen
Campus-Ring 8, Res III, 116
28759 Bremen
Germany

Axel J. Rosengart
Departments of Neurology and Neurosurgery
The University of Chicago and Pritzker

Latha M. Santhakumaran
University of Medicine and Dentistry of New Jersey
Robert Wood Johnson Medical School

School of Medicine
and
Neuroscience Critical Care
Bioengineering
Argonne National Laboratory
5841 South Maryland Ave, MC 2030
Chicago, IL, 60637
USA

Department of Medicine
125 Paterson Street, CAB 7090
New Brunswick, NJ 08903
USA

Mehmet Sarikaya
Materials Science & Engineering
University of Washington
Seattle, WA 98195
USA
and
Molecular Biology and Genetics
Istanbul Technical University
Maslak, Istanbul
Turkey

Keith Sheppard
Columbia University
Teachers College
525 West 120th Street, Box 210
New York City, NY 10027
USA

Douglas Spencer
Edu, Inc.
6900-29 Daniels Parkway
Fort Meyers, FL 33912
Florida, 33901
USA

Peter K. Stoimenov
Department of Chemistry,
Kansas State University
111 Willard Hall
Manhattan, KS 66505
USA
Current address:
University of California at
Santa Barbara
Department of Chemistry and
Biochemistry
Santa Barbara, CA 93106
USA

Candan Tamerler
Materials Science & Engineering
University of Washington
Seattle, WA 98195
USA
and
Molecular Biology and Genetics
Istanbul Technical University
Maslak, Istanbul
Turkey

Thresia Thomas
University of Medicine and Dentistry of
New Jersey
Robert Wood Johnson Medical School
Department of Environmental and
Occupational Medicine
125 Paterson Street, CAB 7090
New Brunswick, NJ 08903
USA

T. J. Thomas
University of Medicine and Dentistry of New Jersey
Robert Wood Johnson Medical School
Department of Medicine
125 Paterson Street, CAB 7090
New Brunswick, NJ 08903
USA

Robert Vajtai
Rensselaer Polytechnic Institute
Rensselaer Nanotechnology Center
Troy, NY 12180
USA

Anna M. Waldron
Cornell University
Nanobiotechnology Center
350 Duffield Hall
Ithaca, NY 14853
USA

Donghai Wang
Department of Chemical & Biomolecular Engineering
300 Lindy Boggs Center
Tulane University
New Orleans, LA 70118
USA

Bingqing Wei
Louisiana State University
Department of Electrical and Computer Engineering and Center for Computation and Technology
EE Building, South Campus Drive
Baton Rouge, LA 70803
USA

Jennifer West
Rice University
Department of Bioengineering
Houston, TX 77005
USA

Samuel A. Wickline
School of Medicine
Washington University
St. Louis, MO 63110
USA

Patrick M. Winter
Washington University
School of Medicine
St. Louis, MO 63110
USA

Jian Min (Jim) Zuo
Department of Material Science and Engineering and F. Seitz Materials Research Laboratory
University of Illinois at Urbana-Champaign
1304 West Green Street
Urbana, IL 61801
USA

المحتويات

الصفحة

مقدمة المترجمَين ..... هـ
مقدمة ..... ز
تمهيد ..... ط
قائمة المشاركين ..... س

الجزء الأول

الباب الأول: صناعة المواد النانوية

الفصل الأول: الأساليب التشييدية للمواد النانوية الفلزية **٣**
١,١ المقدمة ٣
١,٢ التحضيرات الكيميائية الرطبة ٥
١,٣ عوامل الاختزال ١٠
١,٤ التشييد الكهروكيميائي ٢٢
١,٥ تفكك معقدات الفلزات الانتقالية منخفضة التكافؤ ٢٧
١,٦ فصل الجسيمات حسب الحجم ٢٩
١,٧ التطبيقات المحتملة في علم المواد ٣٢
المراجع **٣٨**
الفصل الثاني: الأساليب التشييدية للأنابيب الكربونية النانوية **٥٣**

٢,١ المقدمة ٥٣
٢,١,١ تركيب المواد الكربونية النانوية ٥٤
٢,١,٢ مدى واسع من الخواص ٥٥
٢,٢ عائلة المواد الكربونية النانوية ٥٧
٢,٢,١ الفوليرينات ٥٧
٢,٢,٢ الكربون بصلي الشكل (الفوليرينات المتداخلة)..... ٦٠
٢,٢,٣ الألياف الكربونية النانوية ٦٢
٢,٢,٤ الأنابيب الكربونية النانوية..... ٦٤
٢,٢,٥ الالماس النانومتري وكربون يشبه الالماس ٦٦
٢,٢,٦ الكربون المسامي النانوي المنشّط ٦٨
٢,٣ تشييد الأنابيب الكربونية النانوية ٦٩
٢,٣,١ نمو الأنابيب النانوية بطريقة تفريغ القوس الكهربائي ٧٠
٢,٣,٢ إنتاج الأنابيب الكربونية النانوية عن طريق التذرية بالليزر ٧١
٢,٣,٣ ترسيب البخار الكيميائي كأداة لإنتاج الأنابيب الكربونية النانوية ٧٣
٢,٤ التحكم في تشييد بُنى الأنابيب الكربونية النانوية ٧٤
٢,٤,١ نمو موقع الركيزة الانتقائي ٧٥
٢,٤,٢ بُنى الأنابيب النانوية ثلاثية الأبعاد ٧٦
٢,٤,٣ جدائل الأنابيب النانوية أحادية الجدار فائقة الطول ٧٨
٢,٥ نظرة على التطبيقات الطبية الحيوية ٨٠
٢,٥,١ التصوير والتشخيص..... ٨٠
٢,٥,٢ الحساسات الحيوية..... ٨٣
٢,٦ الخلاصة ٨٦
الاختصارات **٨٧**
المراجع **٨٧**

الفصل الثالث: أنظمة نانوية التركيب من كتل بناء منخفضة الأبعاد ٩١
٣,١ المقدمة ٩١
٣,٢ نظام ذو تركيب نانوي بالتجميع الذاتي ٩٣
٣,٢,١ تجمعات الجسيمات النانوية ٩٣
٣,٢,١,١ دور جزيئات التغطية ٩٤
٣,٢,١,٢ التجميع متعدد المكوِّنات ٩٦
٣,٢,٢ تجمعات التركيب النانوي أحادي البعد ٩٨
٣,٣ تجميع التمييز الجزيئي الحيوي والمحاكي الحيوي ١٠١
٣,٣,١ تجميع بالتمييز الجزيئي الحيوي ١٠١
٣,٣,١,١ تجميع بمساعدة الحمض النووي ١٠١
٣,٣,١,٢ تجمعات بمساعدة البروتين ١٠٣
٣,٣,١,٣ تجمعات بمساعدة الفيروس ١٠٤
٣,٣,٢ عملية تجميع المحاكي الحيوي ١٠٥
٣,٤ التجميع والتكامل بمساعدة القالب ١٠٨
٣,٤,١ التجميع الذاتي بمساعدة القالب ١٠٨
٣,٤,١,١ القولبة بالتراكيب البارزة (الناتئة) ١٠٩
٣,٤,١,٢ القولبة بالأسطح المنمطة الوظيفية ١١٢
٣,٤,٢ تنميط تجمعات المكونات نانوية الحجم ١١٣
٣,٥ التجميع المستحث بالمجال الخارجي ١١٤
٣,٥,١ التجميع الموجه بالتدفق ١١٤
٣,٥,٢ التجميع المستحث بمجال كهربائي ١١٥
٣,٥,٣ التجميع بالاستشراد ١١٦
٣,٥,٤ التجميع باستخدام تقنيات لانجمويـر- بلودجيت ١١٧
٣,٦ التشييد المباشر لتراكيب نانوية ثنائية/ثلاثية الأبعاد ١١٨

٣,٦,١ التشييد بالقالب ١١٩
٣,٦,١,١ التشييد بقالب السيليكا متوسط المسام ١٢٠
٣,٦,١,٢ التشييد المباشر للتراكيب النانوية باستخدام القوالب اللينة ١٢٥
٣,٦,٢ التشييد المباشر لمصفوفات التراكيب النانوية أحادية البعد الموجهة ١٢٧
٣,٦,٢,١ المصفوفات الموجهة بترسيب البخار الكيميائي ١٢٩
٣,٦,٢,٢ نمو المحلول البذري ١٣١
٣,٧ التطبيقات ١٣٤
٣,٧,١ تطبيقات الاستشعار البيولوجي والكيميائي ١٣٤
٣,٧,١,١ الاستشعار المستند على الأنابيب الكربونية النانوية ١٣٥
٣,٧,١,٢ الاستشعار المستند على السلك النانوي شبه الموصل ١٣٦
٣,٧,١,٣ الاستشعار المستند على السلك النانوي الفلزي ١٣٨
٣,٧,٢ التطبيقات الأخرى لتجمعات المكوّنات المتكاملة نانوية الحجم ١٣٩
٣,٨ الملاحظات الختامية ١٤١
المراجع ١٤٢
الفصل الرابع: محاكيات الكولاجين نانوية التركيب في هندسة الأنسجة ١٥٥
٤,١ المقدمة ١٥٥
٤,٢ التدرج التركيبي للكولاجين ١٥٨
٤,٣ تسلسل الأحماض الأمينية والتركيب الثانوي ١٦٠
٤,٤ الملاحظة التجريبية من لولب الكولاجين الثلاثي ١٦٢
٤,٥ حركية الطي (اللفّ) ١٦٦
٤,٦ تحقيق الاستقرار من خلال اختيار التسلسل ١٦٨
٤,٧ تحقيق الاستقرار عن طريق هيدروكسي البرولين: تجعد حلقة البيروليدين ١٧٢
٤,٨ استقرار اللولب الثلاثي من خلال التكدس القسري ١٧٥
٤,٩ مصفوفة خارج الخلية ومحاكيات الكولاجين في هندسة الأنسجة ١٧٩

٤,١٠ "الأطراف اللزجة" والبلمرة فوق الجزيئية ١٨٢
٤,١١ الخلاصة ١٨٩
الاختصارات ١٨٩
المراجع ١٩٠
الفصل الخامس: المحاكيات الحيوية الجزيئية: بناء المواد بطريقة الطبيعة، جزيء بعد جزيء ١٩٥
٥,١ المقدمة ١٩٦
٥,٢ ببتيدات الارتباط غير العضوي عن طريق البيولوجيا التوافقية ١٩٩
٥,٣ الخصوصية الفيزيائية والنمذجة الجزيئية ٢٠٤
٥,٤ تطبيقات البولي ببتيدات المهندسة كقوائم جزيئية ٢٠٦
٥,٤,١ التجميع الذاتي لبولي ببتيدات الارتباط غير العضوي كطبقات أحادية ٢٠٧
٥,٤,٢ التشكل الحيوي للجسيمات النانوية غير العضوية عن طريق البروتينات المهندسة جينياً لغير العضويات ٢٠٩
٥,٤,٣ تجميع الجسيمات غير العضوية النانوية عن طريق البروتينات المهندسة جينياً لغير العضويات ٢١١
٥,٥ الآفاق المستقبلية والتطبيقات المحتملة في تقنية النانو ٢١٣
الاختصارات ٢١٧
المراجع ٢١٧

الباب الثاني: أدوات التوصيف للمواد النانوية والأنظمة النانوية

الفصل السادس: تقنيات المجهر الإلكتروني لتوصيف المواد النانوية ٢٢٣
٦,١ المقدمة ٢٢٣
٦,٢ الهندسة والحيود الإلكتروني ٢٢٥
٦,٢,١ الحيود الإلكتروني من المساحة المختارة ٢٢٧

٦,٢,٢ الحيود الإلكتروني من المساحة النانوية ٢٢٨
٦,٢,٣ الحيود الإلكتروني من الشعاع المتقارب ٢٣٠
٦,٣ نظرية الحيود الإلكتروني ٢٣٢
٦,٣,١ الحيود الإلكتروني الحركي والتشتت الذري الإلكتروني ٢٣٣
٦,٣,٢ الحيود الإلكتروني الحركي من تجمع الذرات ٢٣٥
٦,٤ المجهر الإلكتروني عالي الوضوح ٢٤٠
٦,٥ التحليل التجريبي ٢٤٥
٦,٥,١ تسجيل نمط الحيود التجريبي ٢٤٥
٦,٥,٢ مشكلة الطور والانقلاب ٢٤٧
٦,٥,٣ فرط عينة الحيود الإلكتروني واسترداد الطور للمواد النانوية ٢٤٩
٦,٦ التطبيقات ٢٥٤
٦,٦,١ تحديد تركيب الأنابيب الكربونية النانوية أحادية الجدار ٢٥٤
٦,٦,٢ تركيب العناقيد النانوية الصغيرة المدعمة والتناضد ٢٥٨
٦,٧ الاستنتاجات والمنظورات المستقبلية ٢٦١
الاختصارات ٢٦١
المراجع ٢٦٣
الفصل السابع : طرائق الأشعة السينية لتوصيف الجسيمات النانوية ٢٦٥
٧,١ المقدمة ٢٦٥
٧,٢ حيود الأشعة السينية: التعرف على ترتيب الذرات ٢٦٧
٧,٣ تشتت الأشعة السينية صغير الزاوية: تعلّم مورفولوجيا وشكل الجسيمات ٢٧٥
٧,٤ امتصاص الأشعة السينية: استكشاف التركيب الكيميائي والتركيب الموضعي ٢٨١
٧,٥ التطبيقات ٢٨٧
٧,٥,١ جسيمات الكوبالت النانوية بأصداف (بأغلفة) حماية مختلفة ٢٨٧
٧,٥,٢ جسيمات PdxPty النانوية ٢٩٣

٧,٥,٣ تشكيل جسيمات البلاتين النانوية ٢٩٨
٧,٦ الملخص والاستنتاجات ٣٠٢
ملحق: الوصف الرسمي لتفاعل الأشعة السينية مع المادة ٣٠٤
A.1 الأسلوب العام ٣٠٤
A.2 حيود الأشعة السينية ٣٠٦
A.3 التشتت صغير الزاوية ٣٠٨
A.4 امتصاص الأشعة السينية ٣٠٩
المتغيرات **٣١٣**
المراجع **٣١٥**
الفصل الثامن: كشف ومعالجة الجزيء الوحيد في تقنية النانو والبيولوجيا **٣١٩**
٨,١ المقدمة ٣١٩
٨,٢ الكشف البصري عن الجزيئات الوحيدة ٣٢٠
٨,٢,١ الكشف عن الجزيئات الوحيدة بمجهر التألق متحد البؤرة ٣٢٠
٨,٢,٢ إظهار (رؤية) الجزيئات الوحيدة بكشف التألق الخارجي ٣٢٤
٨,٢,٣ مجهر تألق الانعكاس الداخلي الكلي (TIRF) ٣٢٦
٨,٢,٤ مطيافية رامان الرنينية معززة السطح لجزيء وحيد ٣٢٩
٨,٣ معالجات الجزيء الوحيد باستخدام مصائد بصرية ٣٣١
٨,٣,١ دراسات القوة باستخدام مصائد انحدار (ميل) الشعاع الوحيد ٣٣١
٨,٣,٢ الحصر (الأسر) الدوامي البصري ٣٣٤
٨,٣,٣ الصفوف البصرية ٣٣٦
٨,٤ التطبيقات في مطيافية الجزيء الوحيد ٣٣٧
٨,٤,١ ديناميكية الشكل الجزيئي لجزيئات الحمض النووي DNA الوحيدة في المحلول ... ٣٣٧
٨,٤,٢ تقصي حركية جزيئات الإنزيم الوحيدة ٣٤٠
٨,٤,٣ كشف وفرز وتسلسل جزيء وحيد للحمض النووي DNA ٣٤٥

٨,٤,٤ تصوير الجزيء الوحيد في الخلايا الحية ٣٤٨
٨,٥ كشف الجزيء الوحيد بالأنواع الفلورية اللامعة ٣٥٠
٨,٥,١ المسابر البصرية ٣٥٠
٨,٥,٢ النقاط الكميّة ٣٥٢
٨,٦ الكيمياء النانوية بالحويصلات والقطيرات الدقيقة ٣٥٣
٨,٧ وجهات النظر ٣٥٥
المراجع ٣٥٦
الفصل التاسع: تقنيات النانو للتصوير الخلوي والجزيئي بالرنين المغناطيسي ٣٦٩
٩,١ المقدمة ٣٦٩
٩,٢ أمراض الأوعية القلبية ٣٧٢
٩,٣ التصوير الخلوي والجزيئي ٣٧٦
٩,٤ التصوير الخلوي بأكاسيد الحديد ٣٧٩
٩,٥ التصوير الجزيئي بجسيمات بارامغناطيسية نانوية ٣٨٢
٩,٥,١ تحقيق الأمثلية لكيمياء الصياغة ٣٨٤
٩,٥,٢ تحقيق الأمثلية لتقنيات التصوير بالرنين المغناطيسي ٣٩٢
٩,٥,٣ التصوير الجزيئي لنمو (لتكوّن) الأوعية الدموية الجديدة داخل الجسم ٣٩٦
٩,٦ الاستنتاجات ٤٠٠
المراجع ٤٠١

الجزء الثاني

الباب الثالث: تطبيق تقنية النانو في مجال البحث الطبي الحيوي

الفصل العاشر: تقنية النانو في توصيل الجين اللافيروسي ٤١١
الملخص ٤١١
١٠,١ مقدمة ٤١٢

١٠,٢ العوامل التي تُثير تشكيل جسيمات الحمض النووي DNA النانوية ٤١٥
١٠,٢,١ البولي أمينات (متعدد الأمينات) ٤١٥
١٠,٢,٢ الدهون الكاتيونية ٤٢٠
١٠,٢,٣ البولي إثيلين إيمين ٤٢٣
١٠,٢,٤ الديندريمرات (البوليمرات الشجرية) ٤٢٥
١٠,٢,٥ البروتينات والبولي ببتيدات ٤٢٩
١٠,٢,٦ البوليمرات ٤٣٣
١٠,٣ توصيف جسيمات الحمض النووي DNA النانوية ٤٣٤
١٠,٣,١ تشتت ضوء الليزر ٤٣٤
١٠,٣,٢ المجهر الإلكتروني ٤٣٦
١٠,٣,٣ مجهر القوة الذرية ٤٤٠
١٠,٣,٣,١ دراسات جسيمات الحمض النووي النانوية بمجهر القوة الذرية ٤٤٢
١٠,٣,٣,٢ قيود تقنية مجهر القوة الذرية ٤٤٧
١٠,٤ الاعتبارات الآلية في تشكيل جسيم الحمض النووي DNA النانوي ٤٥٠
١٠,٥ تطبيقات العلاج الجيني المنهجي ٤٥٥
١٠,٦ التوجهات المستقبلية ٤٥٧
الاختصارات ٤٥٩
المراجع ٤٦٠
الفصل الحادي عشر: الجسيمات النانوية لتوصيل عقاقير السرطان ٤٧١
١١,١ المقدمة ٤٧١
١١,٢ السرطان: مرض فتاك والأساليب الحالية لعلاجه ٤٧٢
١١,٣ خصائص أنسجة الورم ٤٧٧
١١,٤ توصيل العقاقير إلى الأورام ٤٧٩
١١,٥ الخواص الفيزوكيميائية للجسيمات النانوية في علاج السرطان ٤٨١

١١,٥,١ مسارات سريان الجسيمات النانوية داخل الجسم ٤٨٤
١١,٥,٢ معالجة سطح أو تغليف الجسيمات النانوية ٤٨٧
١١,٥,٣ بوليمرات للكبسلة (للتغليف) ٤٨٨
١١,٦ توصيل عوامل العلاج الكيميائي لموقع محدد باستخدام الجسيمات النانوية..... ٤٨٩
١١,٦,١ الاستهداف السلبي..... ٤٩٠
١١,٦,١,١ استهداف الغدد الليمفاوية بالجسيمات النانوية..... ٤٩١
١١,٦,١,٢ زيادة التوافر الحيوي للمركب ٤٩٢
١١,٦,٢ الاستهداف الفعال..... ٤٩٩
١١,٦,٢,١ الاستهداف الموجه مغناطيسياً إلى نسيج الورم [FettU]..... ٤٩٩
١١,٦,٢,٢ استهداف فعال موجه بالليجاند..... ٥٠٥
١,٦,٢,٣ توصيل عقاقير مستهدفة باستخدام التوجيه المغناطيسي..... ٥٠٦
١١,٧ العلاج الجيني اللا فيروسي بالجسيمات النانوية..... ٥٠٧
١١,٨ الحرارة المفرطة ٥١١
١١,٩ التوصيل المحكوم لعقاقير العلاج الكيميائي باستخدام الجسيمات النانوية ٥١٦
١١,١٠ جسيمات نانوية للتحايل على مقاومة العقاقير المتعددة ٥٢٠
١١,١١ المشاكل المحتملة في استخدام الجسيمات النانوية لعلاج السرطان ٥٢٢
١١,١٢ النظرة المستقبلية..... ٥٢٣
الاختصارات ٥٢٤
المراجع ٥٢٥
الفصل الثاني عشر: التطبيقات التشخيصية والعلاجية للقذائف النانوية الفلزية ٥٤١
المخلص ٥٤١
١٢,١ المقدمة ٥٤٢
١٢,٢ المنهجية ٥٤٩
تصنيع الصدفة الذهبية النانوية ٤٤٩

ترافق الجسم المضاد ٥٥٠
زراعة الخلية ٥٥١
التصوير الجزيئي، والسمية الخلوية، وصبغ الفضة..... ٥٥١
التصوير الشعاعي الطبقي المترابط بصرياً (OCT) ٥٥٢
العلاج الحراري الضوئي بالصدفة النانوية خارج الجسم ٥٥٣
١٢,٣ النتائج والمناقشة ٥٥٤
١٢,٤ الاستنتاجات ٥٦٣
المراجع ٥٦٥
الفصل الثالث عشر: تفكيك وإزالة المخاطر الحيوية باستخدام أنظمة النواقل المغناطيسية النانوية تنصل ٥٦٧
١٣,١ مقدمة ٥٦٨
١٣,٢ الحاجة التقنية ٥٧١
١٣,٣ الأساس التقني ٥٧٥
١٣,٣,١ الاختلاف بين عزل وتوصيل العقاقير باستخدام الكرات النانوية والميكروية ٥٧٥
١٣,٣,٢ سلامة الأوعية الدموية من الكرات النانوية ٥٧٧
١٣,٣,٣ سمية المكوِّنات ٥٧٨
١٣,٣,٤ الترشيح المغناطيسي للكرات النانوية من الدورة الدموية..... ٥٨٠
١٣,٤ المواصفات التقنية ٥٨٢
١٣,٤,١ تطوير الكرات النانوية المغناطيسية المستقرة حيوياً ٥٨٢
١٣,٤,١,١ حجم الكرة النانوية..... ٥٨٣
١٣,٤,١,٢ خواص السطح..... ٥٨٦
١٣,٤,١,٣ التحلل الحيوي ٥٨٧
١٣,٤,١,٤ المستقبلات السطحية ٥٨٨
١٣,٤,٢ الترشيح المغناطيسي للكرات النانوية المغناطيسية المرتبطة بالسم ٥٩٣

١٣,٥ التقدم التقني ٥٩٦
المراجع **٦٠١**
الفصل الرابع عشر: تقنية النانو في إزالة تلوث (تطهير) العامل البيولوجي..... ٦٠٥
١٤,١ المقدمة ٦٠٥
١٤,٢ الطرق القياسية لإزالة التلوث الكيميائي للعوامل البيولوجية ٦٠٦
١٤,٣ المواد النانوية لإزالة التلوث ٦٠٨
١٤,٤ أكسيد المغنيسيوم..... ٦١٠
١٤,٥ آلية العمل..... ٦١٢
١٤,٦ ثاني أكسيد التيتانيوم..... ٦١٦
١٤,٧ الملخص ٦١٦
المراجع **٦١٧**

الباب الرابع: تأثير تقنية النانو الطبية الحيوية على الصناعة والمجتمع والتعليم
الفصل الخامس عشر: أصغر من أن يرى: تعليم الجيل القادم علوم وهندسة المقياس النانوي..... ٦٢١
١٥,١ المقدمة ٦٢١
١٥,٢ تقنية النانو كمحفز لجذب الطلاب ٦٢٢
١٥,٣ المقياس النانومتري ٦٢٥
١٥,٣,١ أصغر من أن يرى..... ٦٢٥
١٥,٣,٢ كيف نرى أشياء أصغر من أن ترى؟..... ٦٢٦
١٥,٣,٣ كيف نجعل الأشياء أصغر من أن ترى؟ ٦٢٩
١٥,٤ فهم أشياء أصغر من أن ترى..... ٦٣٣
١٥,٤,١ ماذا يعرفون؟ ٦٣٣
١٥,٤,٢ نظرية الجسيم..... ٦٣٥

١٥,٥ تصميم أنشطة تعلم علمية عملية لجذب الذهن ٦٣٨
١٥,٦ الأشياء التي تخيفنا ٦٤١
١٥,١٦,١ المخاوف المجتمعية من تقنية النانو ٦٤١
١٥,٦,٢ الجيل القادم ٦٤٣
١٥,٧ الطريق إلى الأمام ٦٤٥
المراجع ٦٤٦
الفصل السادس عشر: التقنية الطبية الحيوية النانوية: التحديات المالية، والقانونية، والسريرية، والسياسية، والأخلاقية، والاجتماعية التي تواجه تطبيقها .. ٦٤٩
١٦,١ المقدمة ٦٤٩
١٦,٢ دريكسلر والمُجمِّع العالمي المخيف ٦٥٤
١٦,٣ النواحي المالية ٦٥٧
١٦,٤ النواحي القانونية والتنظيمية ٦٦١
١٦,٤,١ التشخيص ٦٦٥
١٦,٤,٢ اللائحة الأوروبية والكندية ٦٦٦
١٦,٤,٣ اللائحة العامة لتقنية النانو ٦٦٧
١٦,٥ النواحي التشغيلية ٦٧١
١٦,٦ النواحي السريرية ٦٧٣
١٦,٧ التحديات الاجتماعية والأخلاقية والسياسية ٦٧٥
١٦,٧,١ سيناريو الجو جراي ٦٨١
١٦,٧,٢ سيناريو الجو جرين ٦٨١
١٦,٧,٣ الكارثة البيئية بسبب استنشاق أو ابتلاع الجسيمات النانوية ٦٨٣
١٦,٧,٤ نهاية الاقتصاد القائم على نقص الاحتياجات ٦٨٤
١٦,٧,٥ "سيعيش الناس للأبد، مما يؤدي إلى الانفجار السكاني" ٦٨٥
١٦,٧,٦ "سيعيش الأغنياء فقط للأبد": ستعود فوائد التقنية النانوية فقط على أولئك

القادرين عليها مادياً ٦٨٨
١٦,٧,٧ "ستحولنا تقنية النانو إلى "سايبورغات" ٦٨٩
١٦,٧,٨ "يمكن أن تستخدم تقنية النانو لصنع أسلحة الدمار الشامل المدهشة" ٦٩٠
١٦,٨ الملخص ٦٩١
الاختصارات ٦٩٣
المراجع ٦٩٣
ثبت المصطلحات ٦٩٥
أولاً: عربي-إنجليزي ٦٩٥
ثانياً: إنجليزي-عربي ٧٥٥
كشاف الموضوعات ٨١٥