علم النبات و علاقته
بعلم النانوتكنولوجى البيئي
Botany and Environmental Nanotechnology

Prof. Dr. Majid A. IBRAHIM 2020

علم النبات و علاقته بعلم النانوتكنولوجى البيئي

Botany and Environmental Nanotechnology

تأليف وإعداد

د/ حسن رجب الرمادى
قسم الأراضى و المياه
كلية الزراعة بجامعة كفرالشيخ – مصر

د/ نعمه عبد المنعم عبد الله
قسم التكنولوجيا الحيوية النباتية
المركز القومى للبحوث بالجيزه – مصر

د/ طارق على الشال
قسم الأراضى و المياه
كلية الزراعة بجامعة كفرالشيخ – مصر

د/ عبد الله حسن السعيدى
قسم البيئة و الموارد الطبيعية الزراعية
جامعة الملك فيصل بالمملكة العربية السعودية

د/ محمد سالم الصيخان
قسم زراعة الأراضى القاحلة
جامعة الملك فيصل بالمملكة العربية السعودية

أ.د/ طارق عبد العزيز شلبى*
قسم البساتين – فرع الخضر
كلية الزراعة بجامعة كفرالشيخ – مصر

الباب الثانى

علم النانوتكنولوجى البيئي: مفاهيم و حقائق

Environmental Nanotechnology: Concepts and Facts

المحتويـــــات:

1 –عرض قضية الأشياء و وزنها على القرآن الكريم

(أ) – البحث عن مادة "شيء" فى القرآن الكريم

(ب) البحث عن مادة "مِقدار" فى القرآن الكريم

(ج) – البحث عن مادة "وزن" فى القرآن الكريم

(د) – البحث عن مادة "مثقال" فى القرآن الكريم

(هـ) البحث عن مادة "ذرة" فى القرآن الكريم

2 تعريف علم النانوتكنولوجى و أهميته

3 تعريف علم النانوتكنولوجى البيئي و أهميته

4 – إنتاج الجسيمات أو المواد النانومترية synthesis of nanoparticles

5 تطبيقات النانوتكنولوجى فى المجالات الزراعية Applications of nanotechnology

(1) – تطبيقات النانوتكنولوجى فى مجال علوم النبات Phytonanotechnology

(2) – تطبيقات النانوتكنولوجى فى مجال المعالجة النباتية المستدامة

(3) – تطبيقات النانوتكنولوجى فى مجال إزالة الملوثات من التربة و المياه

(4) – تطبيقات النانوتكنولوجي في مجال تحلية المياه Desalination

(5) – تطبيقات النانوتكنولوجى فى مجال الزراعات الدقيقة

(6) – تطبيقات النانوتكنولوجى فى مجالات الصحة Nanotechnology for health

(7) – تطبيقات النانوتكنولوجى فى مجالات الطاقة Nanotechnology for energy

يعتبر موضوع النانوتكنولوجى من الموضوعات الحيوية التى تمس اليوم جميع قطاعات الحياة بلا إستثناء و للعلم النانو ليس بجديد فعلى سبيل المثال لا الحصر جزيئات و حبيبات الطين على الصورة النانومترية و هذا منذ أن خلق الله سُبحانه و تعالى الكون فهى جزيئات نانو طبيعية أما عن الجديد الذى ينبغى الحديث عنه فهو جزيئات النانو المُصنعة و التى امتدت تطبيقاتها لتشمل جميع نواحى الحياة قاطبة و لذلك سوف نتعرض هنا بهذا الفصل إلى التعريف بعلوم النانوتكنولوجى ثم فرعها الخاص بالبيئة و قبل ذلك نعرج إلى دستور الحق الذى لا يأتيه الباطل من بين يديه و لا من خلفه لنتعرف على تناول القرآن الكريم قضية الأشياء الصغيرة (التى تصل لصورة النانو) و كذلك تناول القرآن للأشياء ذات الوزن الصغير جداً و بعد ذلك يتناول هذا الباب عدة موضوعات لتطبيقات النانو فى مجالات الحياة كلها من بعض النواحى الزراعية محل إهتمامتنا كما فى صورة أسمدة و مُغذيات النانو و كذلك الأسمدة ثم نُظم الزراعة الدقيقة التى تحتاج لمحثات sensors و كذلك العديد من مُعاملات ما بعد الحصاد التى تُستخدم على صورة النانو و كذلك تكنولوجيا إزالة المُلوثات و التخلص منها بالتربة و المياه أو تحلية المياة أو إنتاج الطاقة غير التقليدية و غيرها من التطبيقات التى تمس جميع جوانب حياتنا.

"إِنَّ اللَّهَ لَا يَظْلِمُ مِثْقَالَ ذَرَّةٍ وَإِن تَكُ حَسَنَةً يُضَاعِفْهَا وَيُؤْتِ مِن لَّدُنْهُ أَجْرًا عَظِيمًا"
سورة النساء الآية رقم (40)

"يَا بُنَيَّ إِنَّهَا إِن تَكُ مِثْقَالَ حَبَّةٍ مِّنْ خَرْدَلٍ فَتَكُن فِي صَخْرَةٍ أَوْ فِي السَّمَاوَاتِ
أَوْ فِي الْأَرْضِ يَأْتِ بِهَا اللَّهُ إِنَّ اللَّهَ لَطِيفٌ خَبِيرٌ"
سورة لقمان الآية رقم (16)

"وَنَضَعُ الْمَوَازِينَ الْقِسْطَ لِيَوْمِ الْقِيَامَةِ فَلَا تُظْلَمُ نَفْسٌ شَيْئًا
وَإِن كَانَ مِثْقَالَ حَبَّةٍ مِّنْ خَرْدَلٍ أَتَيْنَا بِهَا وَكَفَىٰ بِنَا حَاسِبِينَ"
سورة الأنبياء الآية رقم (47)

"قُلِ ادْعُوا الَّذِينَ زَعَمْتُم مِّن دُونِ اللَّهِ لَا يَمْلِكُونَ مِثْقَالَ ذَرَّةٍ فِي السَّمَاوَاتِ
وَلَا فِي الْأَرْضِ وَمَا لَهُمْ فِيهِمَا مِن شِرْكٍ وَمَا لَهُ مِنْهُم مِّن ظَهِيرٍ"
سورة سبأ الآية رقم (22)

أكبر ألا يعلم من خلق و هو اللطيف الخبير، من هنا نرى الدليل على قدرة الله الحق على خلق كل شيء كبيره و صغيره بما فى ذلك جميع حدود جزيئات النانو و غير النانو و الله أعلى و أعلم:

"وَقَالَ الَّذِينَ كَفَرُوا لَا تَأْتِينَا السَّاعَةُ قُلْ بَلَىٰ وَرَبِّي لَتَأْتِيَنَّكُمْ عَالِمِ الْغَيْبِ
لَا يَعْزُبُ عَنْهُ مِثْقَالُ ذَرَّةٍ فِي السَّمَاوَاتِ وَلَا فِي الْأَرْضِ
وَلَا أَصْغَرُ مِن ذَٰلِكَ وَلَا أَكْبَرُ إِلَّا فِي كِتَابٍ مُّبِينٍ"

سورة سبأ الآية رقم (3)

"فَمَنْ يَعْمَلْ مِثْقَالَ ذَرَّةٍ خَيْرًا يَرَهُ وَمَنْ يَعْمَلْ مِثْقَالَ ذَرَّةٍ شَرًّا يَرَهُ"

سورة الزلزلة الآيتان رقم (7) و (8)

2 – تعريف علم النانوتكنولوجى و أهميته

Nanotechnology definition and its importance

لتكن البداية مع بعض التساؤلات التالية:

- ماهى تكنولوجيا النانو Nanotechnology؟
- ماهى الجزيئات أو الجُسيمات المتناهية الصغر nanomaterials/nanoparticles؟
- ماهى صور هذه الجزيئات المُختلفة؟
- هل تُمثل جزيئات النانو تهديداً صريحاً للبيئة؟

أشتقت كلمة نانو nano من الكلمة اليونانية νανο و التى تعنى قزم "dwarf" حيث يُستخدم هذا العلم على نطاق واسع فى مجالات الطب و الصناعة العلوم و الزراعة و كما هو معروف أن أول من أستخدم كلمة نانوتكنولوجى كان العالم اليابانى Norio Taniguchi (1912-1999) عام 1974 بجامعة طوكيو و فى عام 1991 تم إبتكار أول جسيم كربونى إنبوبى nanotube إمتاز بأنه أخف من الصلب ست مرات لكنه أقوى منه مائة مرة.

و من المعروف أن مجال النانوتكنولوجى بدأ فى التوغل فى حياتنا عندما نجح العالم K. E. Drexler فى الثمانيات (1980s) عرض نظرية النانو و إقناع العالم بها ثم زاعت و

انتشرت فى العالم كله أما عن علم النانوتكنولوجى فهو الذى يختص بدراسة فهم ثم التحكم فى خصائص المادة المُختلفة على الصورة النانومترية و التطبيقات التكنولوجية على هذه الجزيئات أو الجسيمات أو المواد النانومترية و قد عرفت المبادرة الوطنية للنانوتكنولوجى بالولايات المتحدة الأمريكية عام 2009م National Nanotechnology Initiative علم النانوتكنولوجى على أنه "علم دراسة المادة ذات الأبعاد أو الحجم الذى يتراوح ما بين **من 1 حتى 100** نانومتر" أى أن بعد او حجم جزيئات المادة هو العامل المحدد فى دراسة جزيئات أو جسيمات النانومترية مما يعكس خصائص سطحية معينة و صفات محددة لهذه الجزيئات حيث تمتلك هذه الجسيمات قاعدة عريضة من التطبيقات شملت جميع نواحى الحياة بلا بما فى ذلك القطاعات الطبية و الدوائية الصناعية و الزراعية و العسكرية أى جميع مجالات الحياة و يُمكن أن نلاحظ أن الإستثمار فى قطاع النانوتكنولوجى بلغ عِدة مِليارات من الدولارات الأمريكية و مِن ثَم فهو تجارة مُربحة جداً تتعاظم و تتزايد يوماً بعد يوم.

تعريف علم النانوتكنولوجى: يُعرف علم النانوتكنولوجى على أنه "العلم الذى يختص بدراسة تصميم design و توصيف characterization و إنتاج production و تطبيقات الأشكال application of structures و الأجهزة devices و النظم systems التى يتم التحكم فيها من خلال الشكل shape و الحجم size عند مستوى النانومتر nanometer scale" كما ورد عن Fulekar et al. (2014) حيث يعتمد التعريف على مجموعة المحاور التالية:

1 – من ناحية علم الطبيعة: Physics

حيث يعبر علم النانوتكنولوجى عن القدرة على تصميم و التحكم فى تركيب و إنتاج مجموعة جزيئات النانو ذات نفس بُعد الطول at all length scales

2 – من ناحية علم البيولوجى: Biology

حيث يعبر هذا العلم عن أى نظام تتراوح أحجام حبيباته فى المدى الغروى أى فى حدود بعض نانومترات in the size range of nanometers

3 – من ناحية علم الكيمياء: Chemistry

حيث يعبر هذا العلم عن الجزيئات التى على الصورة النانومترية ذات الخصائص الكيمياوية أو الصفات الفريدة و الموجودة فى المدى النانومترى at nanoscale

ـ ما هى جزيئات أو مواد النانو؟ *Nanoparticles or nanomaterials* وماهى صورها المُختلفة؟

أما عن مُصطلح جزيئات النانو nanoparticles (nano-scale particles = NSPs) فهى الجزيئات التى يتراوح حجمها ما بين 100 nm – 1 أو بمعنى آخر هى حبيبات ميكروسكوبية (دقيقة) ذات أبعاد أقل من 100 nm و قد سُميت هذه الحبيبات فى البداية خلال الـ 1970-80's فى أمريكا و اليابان بإسم الـ ultrafine particles (UFP) ثم عُدلت خلال

1990s من قِبل المُبادرة الوطنية لتقنيات النانو National Nanotechnology Initiative
إلى إسم الـ nanoparticles و هو الإسم الأكثر قبولاً و المألوف حتى يومنا هذا.

Table 5: Some examples of naturally occurring nanoparticles (adapted from **Handy et al. 2008**)

Location of NPs	Particle types and ecotoxicological potential	Citation
Volcanic dust	Bismuth oxide nanoparticles were found in the stratosphere in 1985, and the presence of these materials was linked to volcanic eruptions in the 1980s	Rietmeijer and Mackinnon (1997)
Volcanic ash	Cristobalite (crystalline silica) extracted from volcanic ash from the Montserrat eruption causes lung inflammation and lymph node granuloma in laboratory rats	Lee and Richards (2004)
Ocean surface microlayer (SML)	Contains colloids, sub-micron components of phytoplankton, and carbon particles. Functions in transport of material at the air–water interphase. There are concerns that organic pollutants present in the SML may be adsorbed to colloids and other nano-scale material in the SML	El Nemr and Abd-Allah (2003) and Obernosterer et al. (2005)

Soil	A complex matrix containing mineral particles, colloids in pore water, and there are concerns about adsorption and binding of pollutants within the matrix	Reid et al. (2000)
Freshwater	Natural freshwater contain very complex colloid material which includes inorganic minerals and organic matter such as humic substances. Concerns exist over the accumulation and transportation of NPs in the colloid fraction	Lead and Wilkinson (2006)
Other natural waters	Nanoparticles were found in many types of natural water including the oceans, surface waters, groundwater, atmospheric water, and even treated drinking water. These include a wide variety of nanoscale mineral particles, and demonstrates the ubiquitous nature of nanoparticles in the natural environment	Wigginton et al. (2007)
Ice cores	Carbon nanotubes, carbon fullerenes and silicon dioxide nanocrystals have been found in 10,000 year old ice cores. The carbon nanoparticles are assumed to be derived from natural combustion processes and deposited into the ice core via atmospheric deposition	Murr et al. (2004)
Historic sediments	Examination of the Cretaceous-Tertiary (K-T) boundary layer at Gubbio, Italy showed iron particles (hematite) and silicates. The average particle size of the hematite was 16–27 nm. There is speculation that meteorite impacts could alter NP formation in sediments at the K-T boundary	Verma et al. (2002)

أما عن مصطلح مواد الـ nanomaterials فهى المواد ذات الخصائص النابعة من مقياس النانو nanoscale وهى مواد تعتمد فى خصائصها على مبادىء علم النانوتكنولوجى فى حين أن مقياس النانو هو المقياس الذى يكون أصغر من واحد على تسعة من الميكرومتر one tenth of a micrometer و من المعروف أن جسيمات النانو nanoparticles (NPs) ليست إختراعاً جديداً للأنسان و لكنها موجودة منذ قديم الأزل فعلى سبيل المثال فقد وجدت NPs فى

glacial ice cores عن عمر يناهز 10000 عاماً كما ذكر ذلك Murr et al. (2004) أما **الجدول رقم (5)** فيوضح بعض الأمثلة على المواد التى تحتوى على جسيمات النانو.

و يلاحظ أن النانومتر nanometer (nm) عبارة عن واحد من البليون أى 10^{-9} من المتر و من الأمثلة على ذلك نجد أن جزىء الـ DNA عبارة عن 2.5 nm wide فى حين جزىء البروتين 50 nm بينما فيروس الإنفلونزا حوالى 100 nm و شعر الإنسان يبلغ سمكاً قدره 10000 nm تقريباً أما عن أهم أنواع الجزيئات أو الحبيبات المتناهية الصغر nanoparticles فهى ثلاثة أنواع:

1 – جزيئات أو حبيبات النانو الطبيعية Natural nanoparticles

2 – جزيئات أو حبيبات النانو العرضية Incidental nanoparticles

3 – جزيئات أو حبيبات النانو المهندسة Engineered nanoparticles

أما عن الحبيبات الطبيعية natural فهى الحبيبات التى كانت موجودة منذ بدء الحياة على سطح الأرض ومازالت تحدث في البيئة (مثل الغبار البركاني والغبار على سطح القمر ومركبات المعادن و معادن الطين و المحاليل الغروية بالتربة.....إلخ). أما عن الجسيمات العرضية incidental فهى الجُسيمات التى نتجت عن النشاط الإنسانى وتكونت نتيجة للنشاط الصناعي للإنسان (مثل عوادم الديزل وإحتراق الفحم والدخان و اللحام ..... إلخ) فى حين الجسيمات المُهندسة أو المصنعة engineered هى جُسيمات يمكن تصنيفها إلى أربعة أنواع:

(1) – جسيمات الكربون: Carbon nanoparticles

و هى المواد المكونة أساساً من الكربون و التى عادة ما تتضمن الفوليرين fullerene و جسيمات الكربون الأنبوبية وحيدة و عديدة الجدران أى:

Single- and multi-walled carbon nanotubes (SWCNT and MWCNT)

(2) – جسيمات المواد المعدنية: Metal nanoparticles

مثل نقاط الـ quantum dots و جُسيمات بعض المعادن مثل الذهب أو الزنك أو الألومونيوم و كذلك جُسيمات أكاسيد بعض المعادن nanoscal مثل TiO_2 و ZnO و Al_2O_3.

(3) – الجسيمات الشجيرية: dendrimers nanoparticles

و التي هى عبارة عن بوليمرات مُتناهية الصغر nano-sized polymers تتكون من وحدات متفرعة قادرة على أداء وظائف كيميائية محددة.

(4) – الجسيمات المركبة: composite nanomaterials

و هى الجُسيمات التي تجمع بين جُسيمات النانو nanoparticles مع جزيئات أخرى nanoparticles أو مع المواد السائبة من نوع أكبر larger bulk-type materials و تتراجد هذه الجسيمات على شكل كروى أو إنبوبى أو قضيبى أو منشورى.

و قد لاقت الجُسيمات المُهندسة إهتماماً واسعاً فى قطاعات إقتصادية عديدة تضمنت الزراعة و الطاقة و النقل و الصناعات الدوائية حيث تزايدت التطبيقات فى هذه القطاعات، كما يلاحظ هذه الأيام أن هناك جدلاً واسعاً حول إستخدام هذه الجسيمات الدقيقة المصنعة و مدى فوائدها و أضرارها على البيئة و أن هناك تقييم دائم و مستمر للتأثيرات العكسية لهذه الجسيمات على النظام البيئى و صحة الإنسان كما ذكر Ruffini and Cremonini (2009) و غيره من العديد من الباحثين.

و تتواجد أهم أنواع جسيمات النانو المهندسة و الشائعة بالبيئة فى الأقسام الخمس التالية:

1- الجسيمات الكربونية carbonaceous nanoparticles

2- جسيمات أكاسيد المعادن metal oxides nanoparticles

3- جسيمات الـ quantum dots nanoparticles

4- جسيمات المعادن صفرية التكافؤ zero-valent metals nanoparticles

5- جسيمات البوليمرات nanopolymers

و تعتبر المجموعة الأولى هى الأكثر شيوعاً و تتكون أساساً من الفوليرينات و أنابيب الكربون النانو fullerenes and nanotubes و يمكن تعريف الكربون النانو الأنبوبى carbon nanotube على أنه يُشبه خلية عسل نحل ملفوفة حول نفسها حيث قطرها عدة نانومترات و طولها يفوق عدة ميكرومترات. أما عن الفوليرين fullerene فهو عبارة عن أى جزىء يتكون بالكامل من الكربون و على الشكل الكروى أو الإنبوبى أو الحلقى و تسمى الفلورين الكروية بالـ buckyballs و هى تماثل الكرات التى يستخدمها إتحاد كرة القدم ، بينما الأشكال الإسطوانية فتسمى بأنابيب الكربون النانو carbon nanotubes or buckytubes و تماثل الفوليرين فى تركيبها الجرافيت.

- هل تمثل منتجات أو حبيبات النانو تهديداً صريحاً للبيئة؟

Do nanoparticles pose an ecotoxicological threat?

تمتلك جسيمات النانو مساحات سطحية هائلة لكل وحدة حجم و التى تؤدى إلى ظهور الخصائص الكهربية لهذه السطوح و قد تجعل هذه الخصائص جسيمات النانو مُفيدة أو ربما تمثل تهديداً للإنسان و البيئة و ذلك تحت ظروف معينة و هناك العديد و العديد من الأبحاث التى تناولت خصائص و مسار جُسيمات النانو بالبيئة و كذلك التأثيرات السامة لها و كذلك كيفية الإستخدام الآمن لهذه الجسيمات منها على سبيل المثال لا الحصر:

Handy et al. (2008), Ruffini and Cremonini (2009), Kahru and Dubourguier (2010), Peralta-Videa et al. (2011), Rico et al. (2011), Dietz and Herth (2011), Mondal et al. (2011), Smita et al. (2012), Batley et al. (2013), Husen and Siddiqi (2014), Arruda et al. (2015), Watson et al. (2015), Bhattacharyya et al. (2015), Bour et al. (2015) and Jorio (2016)

نتيجة أن علم النانوتكنولوجى فى الأصل يعتمد على حجم أو أبعاد الجزيئات فإن هذا العلم يرتبط إرتباطاً وثيقاً بالعديد من العلوم الآخرى منها على سبيل المثال لا الحصر العلوم التالية:

1 – علم السطوح surface science

2 – علم الكيمياء العضوية organic chemistry

3 – علم البيولوجيا الجزيئية molecular biology

4 – علم طبيعة أشباه المُوصلات semiconductor physics

5 – علم الصناعات الدقيقة microfabrication

6 – علم الهندسة الجزيئية molecular engineering

أما عن أهمية هذا العلم فمازال هناك حتى الآن جدال واسع النطاق حول أهمية و جدوى علم النانوتكنولوجى و تطبيقاته المختلفة و منبع الخلاف يكمن فى أن الجزيئات النانومترية تحمل الجانب السلبى قبل الجانب الإيجابى فلا يمكن لأحد أن يُنكر الأضرار و الأخطار risks التى يُمكن لجزيئات النانو أن تُسببها للبيئة من إنسان و تربة و نباتات و مياه و غيرها من هنا بدأت العديد من الحكومات فى وضع القوانين التى تنظم التعامل مع هذه المواد و الجزيئات أو الجسيمات النانو أطلق عليها الـ regulation of nanotechnology و أن هناك مساحات أو مناطق و نِقاط علمية لم يُغطيها البحث العلمى حتى الآن كما هناك نقاط مضيئة لا يمكن أن نغفلها و خاصة فى قطاع الصناعات المُختلفة فهناك العديد من التطبيقات الناجحة مثل:

1 – قطاع الطب على صورة النانو Nanomedicine

2 – قطاع إنتاج الطاقة من المواد الحيوية Biomaterials energy production

3 – قطاع النانو إلكترونات Nanoelectronics

4 – قطاع الإنتاج الإستهلاكى Consumer products

3 – تعريف علم النانوتكنولوجى البيئي و أهميته

Environmental nanotechnology definition and its importance

تُعتبر الدراسات البيئية من أهم الدراسات التى يُركز عليها مُعظم الباحثين فى جميع المجالات البحثية لما لها من تأثير و مردود شامل كما سبق شرحه بالباب الأول و من أهم فروع الدراسات البيئية علم النانوتكنولوجى البيئى حيث يُعرف **علم النانوتكنولوجى البيئى** على أنه "العلم الذى يتناول بالدراسة و التحليل تصميم design و توصيف characterization و إنتاج production و تطبيقات الأشكال application of structures و الأجهزة devices و النظم

systems التى يتم التحكم فيها من خلال الشكل shape و الحجم size عند مستوى النانومتر nanometer scale لعلاج المشاكل البيئية المُختلفة" كما ورد عن Fulekar et al. (2014).

يتعامل علم النانوتكنولوجى البيئى Environmental nanotechnology (**E-Nano**) مع جميع القضايا البيئية و التى يمكن حلها من خلال تكنولوجيا النانو و لعل أهم و أخطر هذه القضايا على الإطلاق التلوث البيئى environmental pollution و مشاكل إنتاج الطاقة energy issues و مشاكل التغيرات المُناخية climate changes و الإحتباس الحرارى أو غيرها حيث يتعاظم أهمية هذا العلم يوماً بعد يوم لإرتباط تطبيقاته بالبيئة إرتباطاً مباشراً و غير مباشر حيث تتنوع القضايا البيئية التى يتعامل معها على النحو التالى:

1 – مشاكل التلوث البيئى و علاجها
2 – مشاكل الطاقة المتجددة و إنتاجها
3 – مشاكل التغيرات المُناخية و الإحتباس الحرارى
4 – مشاكل تحلية مياه البحر و تطويرها
5 – مشاكل ما بعد الحصاد للحاصلات الزراعية و حلولها
6 – مشاكل التنوع البيولوجى و صيانته
7 – مشاكل الإدارة المتكاملة للمُغذيات و إستدامتها
8 – مشاكل صحة الإنسان و كيفية النهوض بها
9 – مشاكل الزراعة الدقيقة و تكثيفها
10 – مشاكل إزالة الملوثات من التربة و المياه و إستدامتها

و نظراً لوجود المزيد من المشاكل البيئية التي يمكن الإستعانة بتكنولوجيا النانو في علاجها برزت أهمية علم النانوتكنولوجي البيئي و المشاكل السابقة سوف نتناولها بشيء من التفصيل لاحقاً في هذا الكتاب و مع ذلك يمكن إستعراض دور هذا العلم في ثلاث قضايا محورية على النحو التالي:

1 – دور علم النانوتكنولوجى البيئى فى الحفاظ على التنوع البيولوجى:

Sustaining Biodiversity

يمكن بالإعتماد على تطبيقات النانوتكنولوجى preservation of biodiversity أى صيانة التنوع البيولوجى حيث يُتوقع حدوث ذلك خلال العشر سنوات القادمة و ذلك من خلال النقاط التالية طبقاً لما ورد عن Fulekar et al. (2014):

1 – إستخدام المُحثات و الأجهزة المُتقدمة Advanced sensors and devices فى مراقبة النظام البيئى كما فى حالة مراقبة و رصد التغيرات فى تركيب التربة و المياه و كذلك مراقبة مستوى المُغذيات او الملوثات بالبيئة nutrient/pollutant loads و كذلك مُتابعة مستوى النشاط الميكروبى الحيوى و كذلك حالة النباتات النامية plant health

2 – إستخدام المُحثات و الأجهزة المُتقدمة أيضاً فى مراقبة و رصد هجرة و تحركات الحيوانات فى البيئات الزراعية terrestrial و البحرية marine ecosystems على حد سواء.

3 – الإستعانة بالحلول البيئية الفعالة المقبولة من حيث تحديات الإستدامة العالمية بما فى ذلك مشاكل و تحديات الطاقة و المياه و البيئة و التغيرات المناخية.

2 – دور علم النانوتكنولوجى البيئى فى تخفيف حدة التغيرات المُناخية:

Mitigating ultimate climate change impact

تعتبر مشكلة التغيرات المُناخية من المشاكل العالمية التى باتت تؤرق جميع دول العالم بلا إستثناء لما لها من دواعى تمس جميع قطاعات الحياة و كما سبق و يمكن النظر إلى قطاع النانوتكنولوجى على أنه أحد أهم الحلول التى يمكن إتباعها لتخفيف حدة التغيرات المُناخية حيث هناك بعض الحلول المُمثلة فى إنتاج بعض المواد التى لها القدرة على إمتصاص غاز ثانى أكسيد الكربون CO_2 sorbents كما فى حالة المركبات التالية:

1 – مركبات أو مواد الـ Nanoscale metal organic frameworks (MOFs)

2 – مركبات أو مواد الـ zeolite imidazole frameworks (ZIFs)

حيث تتمتع هذه المواد بالقدرة العالية على إدمصاص هذا الغاز لما تتمتع به من قدرة عالية على عملية الإدمصاص adsorption capacity و على الإختيارية selectivity و كذلك على الـ reversibility أى يكون التفاعل من الناحيتين و على الرغم من أن الجيل الأول من هذه المركبات كانت وظيفته تنحصر فقط فى مجرد فصل أو عزل غاز CO_2 و لكن سرعان ما تطورت هذه المركبات لخفض تحرر هذا الغاز للهواء الجوى بالصوب الزجاجية و ذلك عن طريق مسك capturing غاز CO_2 و تحويله إلى صورة غير قابلة للتطاير و إنما يدخل فى تركيب الوقود أو المركبات الكيمياوية و بذلك يكون هناك إمكانية مسك غاز CO_2 من خلال تكنولوجيا النانو على النحو التالى:

1 – أن تكنولوجيا النانو Nanoscale sorbents تحتوى على جزيئات ذات وظائف مختارة فى الشكل و الحجم ذات قدرة على مسك ثم تحويل غاز CO_2

2 – أن هذه التكنولوجيا عبارة عن Nanoporous fibers and/or membranes أغشية ذات مسام على المستوى النانو يقوم بعملية حجز الغاز بالإضافة لذلك يتم تحويل هذا الغاز و تخزينه و كذلك حدوث عملية الـ geoengineering و بذلك تعتبر هذه العملية ذات مردود هام جداً كتكنولوجيا للحد من أضرار التغيرات المُناخية حيث إستخدام تكنولوجيا الهندسة الجيولوجية geoengineering و ذلك فى خفض ظاهرة الإحتباس الحرارى عن طريق عملية تطوير ثم نشر deploying لعملية تبريد على نطاق واسع فى طبقة الإستراتوسفير stratosphere.

3 – دور علم النانوتكنولوجى البيئى فى تخفيض حدة الإحتباس الحرارى:
Reducing global warming

مما سبق يتضح لنا أن تكنولوجيا النانو تمتلك القدرة على إنتاج أجهزة من خلالها يكون المخلفات waste أقل و بالتالى إنخفاض معدلات تلوث البيئة كما تساعدنا تكنولوجيا النانو على إنتاج الطاقة من خلال الخلايا الشمسية و بالتالى إنتاج الوقود النظيف clean fuels من الطاقة الشمسية أو من المياه أو من الهواء مما يعنى تقليل الإعتماد على مصادر الطاقة التقليدية من بترول و فحم مما يُقلل من فرص تلوث البيئة بهذه المصادر كما أن بعض الغازات الآخرى المُسئولة عن الإحتباس الحرارى مثل chlorofluorocarbons (CFCs) و التى تستخدم فى عملية الـ foaming plastics و التى تُستبدل أو يتم التحكم فيها و بذلك فإن تكنولوجيا النانو يمكن الإعتماد عليها من خلال أجهزتها التى لها القدرة على الإحتفاظ بغاز ثانى أكسيد الكربون مما يُساعد على الحد من ظاهرة الإحتباس الحرارى و تساعد على إعادة التوازن بين الغازات بكوكب الأرض (Fulekar et al. 2014).

4 – إنتاج الجُسيمات أو المواد النانومترية:

Synthesis or production of nanoparticles

كما هو معروف أن علم النانوتكنولوجى nanotechnology يعتمد فى الأصل على إنتاج جزيئات أو جسيمات فى المدى النانومترى تسمى بالـ nanoparticles أو المواد ذات المدى النانومترى أيضاً nanomaterials مع ملاحظة أن هذه الجزيئات particles هى أصغر مادة تحمل نفس سلوك جزيئات النانو nanoparticles و نفس الأبعاد (من 1 حتى 100 نانومتر) حيث تقسم هذه الجزيئات تبعاً لإختلاف أحجامها أو قطرها diameter إلى المجموعات التالية:

1 – الجزيئات النانومترية: *Ultrafine particles or nanoparticles*

هى الحبيبات أو الجزيئات ذات الأبعاد أو الأقطار أو الحجم size التى تتراوح ما بين 1 إلى 100 نانومتر nanometers

2 – الجزيئات الدقيقة: *fine particles*

هى الحبيبات التى يتراوح أحجامها ما بين 100 and 2,500 nanometers

3 – الجزيئات و الحبيبات الخشنة: *coarse particles*

هى الحبيبات التى يتراوح أحجامها ما بين 2,500 and 10,000 nanometers

من المعروف أن طرق تحضير جسيمات النانومترية يكون من خلال الثلاث طرق المتعارف عليها و التي تتمثل في الطرق التالية:

1 – الطرق الكيماوية: chemical methods

و هى الطرق التى تعتمد على إختزال بعض المعادن أو العناصر إلى الصورة النانومترية chemical reduction كما فى حالة عنصر السيلينيوم حيث يتم إستخدام بعض المواد الكيماوية مثل حمض الأسكوربك أو فيتامين سى فى إختزال صور السيلينيوم من السيلينيت إلى السيلينيوم العنصرى أو فى صورة نانومترية.

2 – الطرق الطبيعية: physical methods

و هى الطرق التى يُستخدم فيها بعض الطرق الطبيعية مثل الطحن أو التفريق بالموجات فوق الصوتية و غيرها فى الحصول على مثل هذه الجزيئات.

3 – الطرق البيولوجية: biological methods

و هى الطرق التى يتم فيها تكوين جزيئات النانو بإستخدام بعض الكائنات الحية الدقيقة من بكتريا و فطريات و طحالب أو مستخلصات النبات أو النبات نفسه كما فى حالة عنصر السيلينيوم لتحويل السيلينيت إلى الصورة النانومترية فى وجود هذه الكائنات الحية.

أما عن أهم الطرق التقليدية Traditional methods التى استخدمت فى إنتاج الجزيئات و المواد النانومترية المُهندسة أو المُصنعة فتتمثل فى الطرق التالية:

Synthesis of Engineered and Manufactured Nanomaterials (Peralta-Videa et al. 2016):

1- Metal Reduction (e.g., Ag, Au and Cu)

2- Top down: divided into:

(a)- Combustion (e.g., CeO_2, TiO_2, ZnO, Fe_2O_3, Fe_3O_4, FeO(OH))

(b)- Chemical & Vapor deposition (e.g, Ag, Au, Cu, CeO_2, TiO_2, ZnO, Fe_2O_3, Fe_3O_4, FeO(OH))

3- Bottom up: divided into:

(a)- Hydrothermal/Solvothermal (e.g., CeO_2, TiO_2, ZnO, Fe_2O_3, Fe_3O_4, FeO(OH))

(b)- Sol-gel (e.g., CeO_2, TiO_2, ZnO, Fe_2O_3, Fe_3O_4, FeO(OH))

(c)- Sonochemical (e.g., CeO_2, TiO_2, ZnO, Fe_2O_3, Fe_3O_4, FeO(OH))

و قد أثبتت الدراسات أن النباتات تعتبر أفضل و أمن مصنع طبيعى لإنتاج جسيمات النانو حيث أشار Sharma et al. (2007) إلى أن جسيمات الذهب و التى على الصورة النانومترية gold nanoparticles (Au NPs) قد تكونت بالفعل داخل بادرات نباتات البرسيم الحجازى alfalfa و السيسبان sesbania و لمعرفة كيفية تشجيع هذه النباتات على إنتاج هذه الجسيمات

يُفضل الرجوع إلى المرجع، كما قد أثبتت و أكدت الدراسات التى تمت بإستخدام الأشعة السينية Microscopic and X-ray absorption على تكوين ثم نمو جسيمات النانو داخل النباتات. ليس الذهب فقط بل هناك دراسات أيضاً أكدت نفس الحقيقة السابقة عن الفضة، بينما فى حالة النحاس فقد ثبت أن نباتات و فطريات الميكوريزا كانت لديها قدرة عالية على تقليل سُمية النحاس بالأراضى الملوثة به (Manceau et al. 2008) بل أن الأمر وصل إلى حد تكوين سبيكة gold–silver–copper بإستخدام بعض النباتات كما قد أشار Haverkamp et al. (2007) هذا و قد فتح ذلك مجالاً كبيراً لإستخدام النباتات فى إنتاج جُسيمات معادن النانو المُختلطة من تكوينات خاصة mixed metal nanoparticles.

ـ ميكانيكية تكوين جُسيمات النانو:

Mechanism of nanoparticles production

بصفة عامة هناك إتجاهان approaches يمكن الإستعانة بهما للحصول على جزيئات النانو يتمثلان فى البدء بجزيئات صغيرة يتم تكبيرها bottom to up للوصول للمدى الغروى أو العكس top to bottom هما:

1 – طريقة الحُبيبات من الأصغر للأكبر: bottom to up approach

حيث يتم تحويل الذرات atoms or molecules إلى نويات nuclei تنمو إلى جُسيمات فى المدى النانومترى nanoparticles و ذلك من خلال الطرق الكيمياوية أو البيولوجية.

2 – طريقة الحبيبات من الأكبر للأصغر: top to bottom approach

حيث يتم تكسير الجزيئات الكبيرة فى الحجم bulk إلى جزيئات أصغر fine particles عن طريق إختزال الحجم بإستخدام بعض الطرق الطبيعية مثل الطحن grinding أو الهرس بالهون milling أو التكسير بالحرارة /بالليزر sputtering and thermal/laser ablation كما فى الشكل رقم (15) حيث يستخدم النانو فضة كمثال.

أما عن ميكانيكية تكوين هذه الجُسيمات سواء كانت عملية التكوين ببيئة خارج النبات ثم يتم نقلها إلى النبات أو أن النباتات نفسها هى التى كونت هذه الجسيمات عن طريق إختزال أملاح المعادن بالنباتات الأمر الذى يتطلب مزيداً من التوضيح و التفسير فى آن واحد كما رصد لنا ذلك Gardea-Torresdey et al. (2005) و هناك العديد من الدراسات التى إهتمت بدراسة تخليق و إنتاج جُسيمات النانو بإستخدام مُستخلص الأوراق كما فى حالة دراسات كلاً من الباحثين Song and Kim (2008) و من أنسجة النباتات المُختلفة الميتة كما فى حالة دراسات الـ Parsons et al. (2010) و بالطبع مقارنة بالطرق الكيمياوية لتخليق جسيمات النانو فإن الطرق الحيوية السابقة و هى إستخدام النباتات فى إنتاج جسيمات النانو تعتبر و بكل تأكيد طرقاً أفضل و آمنة لإنتاج جُسيمات النانو المحددة الحجم و الشكل المطلوب.

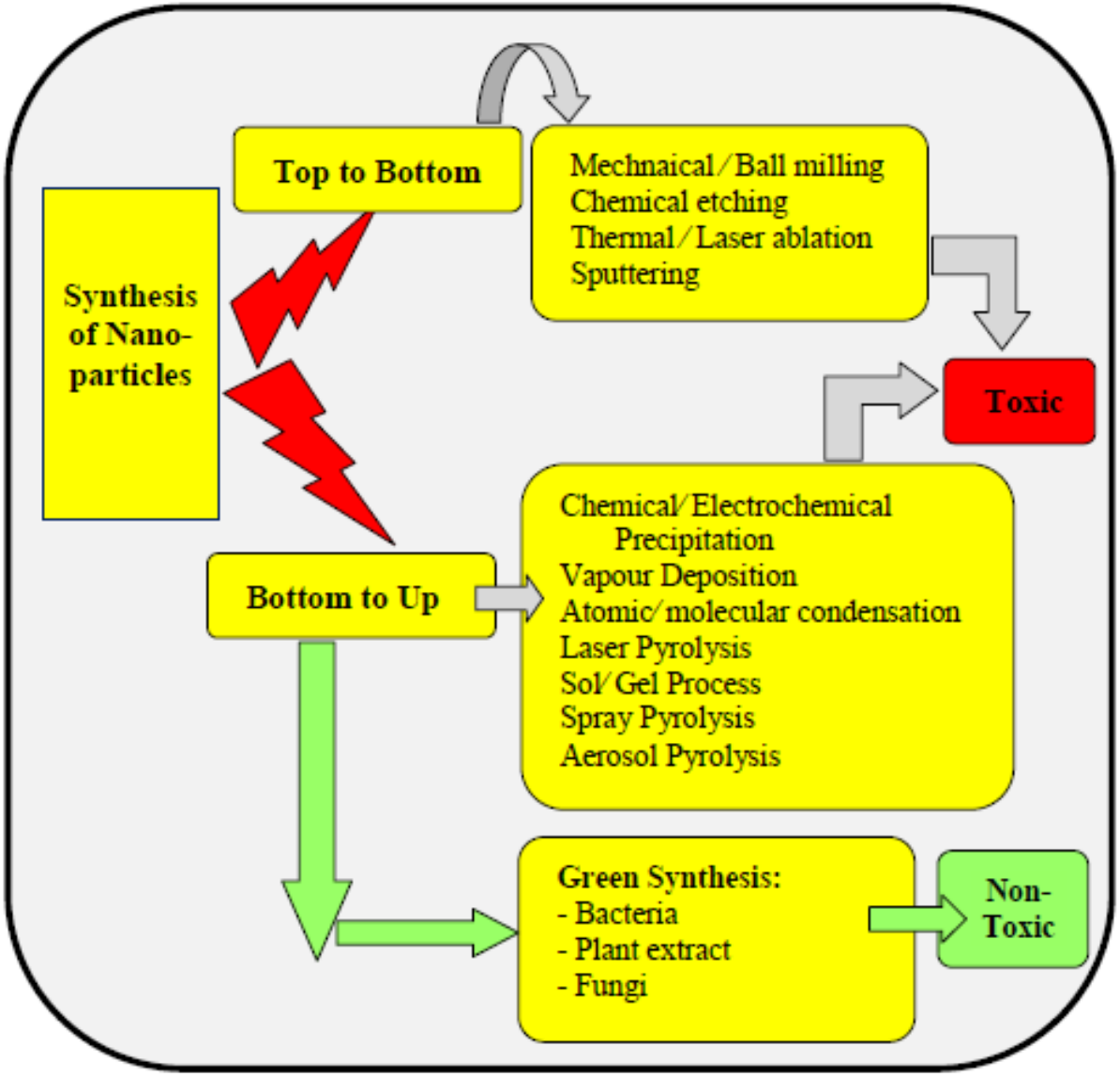

Fig. 15: Different approaches of synthesis of silver nanoparticles (from **Ahmed et al. 2016**)

- إنتاج جزيئات النانو عن طريق النباتات:

Green synthesis of nanoparticles

و قد رصدت الدراسات أن هناك أكثر من **622** شركة من **32 دولة** تنتج **1814 منتجاً** إستهلاكياً يحمل علامة النانو مما يدل على السرعة الرهيب التى تتوغل بها منتجات النانو على مستوى العالم (Peralta-Videa et al. 2016).

يُلاحظ أن عملية إنتاج جزيئات النانو synthesis of nanoparticles و الحفاظ على ثباتها stabilization يعتبر تحدياً كبيراً لمجتمع العلم و العلماء و خاصة العاملين فى مجالات

علوم و هندسة المواد materials sciences and engineering حيث يمكن التحكم فى حجم و أشكال الجزيئات التى يمكن الحصول عليها من خلال العديد من الطرق الطبيعية و الكيمياوية أو البيولوجية حيث يلاحظ أن الطرق البيولوجية بإستخدام النباتات فيما يسمى **بالإنتاج الأخضر** green synthesis و التى لاقت نجاحاً غير عادى لدرجة أننا بالعرض على قواعد البيانات العالمية نجد أن معدل تكرار "**إنتاج جزيئات النانو** nanoparticles synthesis" زاد على **134 ألف** مرة بينما كان مُعدل تكرار الـ "green nanoparticles sysnthesis" أكبر من **37 ألف** مرة حيث تمتاز هذه الطرق بأنها إقتصادية economic و فعالة effective و صديقة للبيئة eco-friendly فمن خلال هذه الطرق أمكن الحصول على كل ما يلى كما ورد عن الدراسة Alvarez et al. (2016) كما **فى الشكل رقم (16):**

1 – جزيئات الـ bimetallic

2 – أشباه الموصلات semiconductor

3 – جزيئات أكاسيد العناصر oxide nanoparticles

و هناك العديد من العناصر التى يمكن إنتاجها "أخضراً" أى عن طرق النباتات مثل:

1 – الذهب: gold

كما فى حالة الدراسات التالية (كما يمكن الرجوع **لجدول رقم 6**):

Alvarez et al. (2016); Ahmed et al. (2016); Paul et al. (2016)

2 – الفضة: silver

كما فى حالة الدراسات التالية (كما يمكن الرجوع **لجدول رقم 7**):

Ahmed et al. (2016); Mashwani et al. (2016); Martínez-Cabanas et al. (2016); Moldovan et al. (2016); Ravichandran et al. (2016); Sánchez et al. (2016); Thatoi et al. (2016)

3 – الحديد: iron

كما فى الدراسات التالية:

Ali et al. (2016); Al-Ruqeishi et al. (2016); Devatha et al. (2016); Es'haghi et al. (2016); Martínez-Cabanas et al. (2016); Su et al. (2016); Wei et al. (2016)

3 – النحاس: copper

كما فى الدراسات التالية:

Nasrollahzadeh and Sajadi (2015); Ghidan et al. (2016); Kumar and Upadhyay (2016)

4 – الزنك: zinc

كما فى الدراسات التالية:

Abdul Salam et al. (2014); Geetha et al. (2016); Nasab et al. (2016); Singh et al. (2016); Thatoi et al. (2016); Çolak and Karaköse (2017)

و يمكن رصد أهم الدراسات التى أجريت على "الإنتاج الأخضر" لجزيئات النانو فضة silver nanoparticles و الذهب (Au) من خلال الطحالب كما فى **الجدول رقم (6) و (7)**:

Table 6: Algae mediated synthesis of gold nanoparticles (from **Sharma et al. 2016**) comparing with the biogenic synthesis of gold nanoparticles using plant extracts (from **Peralta-Videa et al. 2016**)

Plant extract or algae	Size (nm)	Morphology	Citation
Species of Algae			
Brown, *Sargassum muticum*	5.42	Spherical	Namvar et al. (2015)
Brown, *Ecklonia cava*	30	Spherical and triangular	Venkatesan et al. (2014)
Brown, *Padina gymnospora*	53–67	Spherical	Singh et al. (2013)
Brown, *Fucus vesiculosus*	Varied	Spherical	Mata et al. (2009)
Tetraselmis kochinensis	5–35	Spherical and triangular	Senapati et al. (2012)
Chlorella vulgaris	2–10	Spatial array of self assembled Structures	Annamalai and Nallamuthu, (2015)

Plant extract used			
Cymbopogon citratuss	50–1800	Triangular nanoplatelets	Shankar et al. (2004)
Menta piperita	Up to 150	Spherical	Ali et al. (2011)
Cinnamomum zeylanicum	25	Spherical	Smitha et al. (2009)
Musa paradisiaca Peel	300	Not available	Bankar et al. (2010)
Maduca longifolia	7–3000	Platelets	Fayaz et al. (2011)
Scutellaria barbata	20–35	Sphere and triangle	Wang et al. (2009)
Sesbania drummondii	6–20	Spherical	Sharma et al. (2007)
Breynia rhamnoides	5–60	Spherical	Gangula et al. (2011)
Sapindus Mukorossi fruit pericarp	9–19	Spherical, triangular and decahedral	Reddy et al. (2013)
Acalypha indica	20–30	Spherical	Krishnaraj et al. (2014)

كما يمكن ايضاً تناول الدراسات التى تمت على إنتاج جُسيمات أو جزيئات النحاس Cu-nanoparticles و أكسيد الزنك Zn oxide nanoparticles على الصورة النانومترية أى من خلال إستخدام بعض مستخلاصات النباتات كما فى **الجدول رقم (8) و (9)** بينما **الجدول رقم (10)** يمثل إنتاج الحديد على صورة nano zerovalent iron (nZVI) من خلال طرق الإنتاج المُختلفة و عيوب و مميزات كل طريقة بشىء من التفصيل.

Table 7: Green synthesis of silver nanoparticles by different researchers using plant extracts (adapted from **Ahmed et al. 2016**)

Plants	Size (nm)	Plant's part	Shape
Alternanthera dentate	50–100	Leaves	Spherical
Acorus calamus	31.83	Rhizome	Spherical
Boerhaavia diffusa	25	Whole plant	Spherical
Tea extract	20–90	Leaves	Spherical
Tribulus terrestris	16–28	Fruit	Spherical
Cocous nucifera	22	Inflorescence	Spherical
Abutilon indicum	7–17	Leaves	Spherical
Pistacia atlantica	10–50	Seeds	Spherical
Ziziphora tenuior	8–40	Leaves	Spherical
Premna herbacea	10–30	Leaves	Spherical
Calotropis procera	19–45	Plant	Spherical
Centella asiatica	30–50	Leaves	Spherical

Centella asiatica	30–50	Leaves	Spherical
Vitex negundo	5 & 10–30	Leaves	Spherical & fcc
Melia dubia	35	Leaves	Spherical
Thevetia peruviana	10–30	Latex	Spherical
Eclipta prostrate	35–60	Leaves	Triangle, pentagon, hexagon
Nelumbo nucifera	25–80	Leaves	Spherical, triangular
Acalypha indica	20–30	Leaves	Spherical
Allium sativum	4–22	Leaves	Spherical
Aloe vera	50–350	Leaves	Spherical, triangular
Citrus sinensis	10–35	Peel	Spherical
Memecylon edule	20–50	Leaves	Triangle, circle, hexagon
Nelumbo nucifera	25–80	Leaves	Spherical, triangular
Datura metel	16–40	Leaves	Quasilinear superstructures

جدير بالذكر أن هناك مجموعة من الكتب التى نُشرت هذا العام (2016م) أو ما قبله و قد تناولت الجزيئات أو المواد النانومترية nanoparticles or nanomaterials أو الإنتاج الأخضر green synthesis لهذه الجزيئات عن طريق النباتات و منها على سبيل المثال لا الحصر ما يلى:

- Books for Nanoparticles

Mar Viana (2016). Indoor and Outdoor Nanoparticles: Determinants of Release and Exposure Scenarios

Elena Mikhailovna Egorova et al. (2016). Biological Effects of Metal Nanoparticles

Nianjun Yang et al. (2016). Carbon Nanoparticles and Nanostructures

Gibson Peter Neil et al. (2016). Isotopes in nanoparticles : fundamentals and applications

Levy Jean-Claude (2016). Magnetic structures of 2D and 3D nanoparticles : properties and applications

Heinz Mehlhorn (2016). Nanoparticles in the Fight Against Parasites

Mohamed A. Barakat and Rajeev Kumar (2016). Photocatalytic Activity Enhancement of Titanium Dioxide Nanoparticles: Degradation of Pollutants in Wastewater

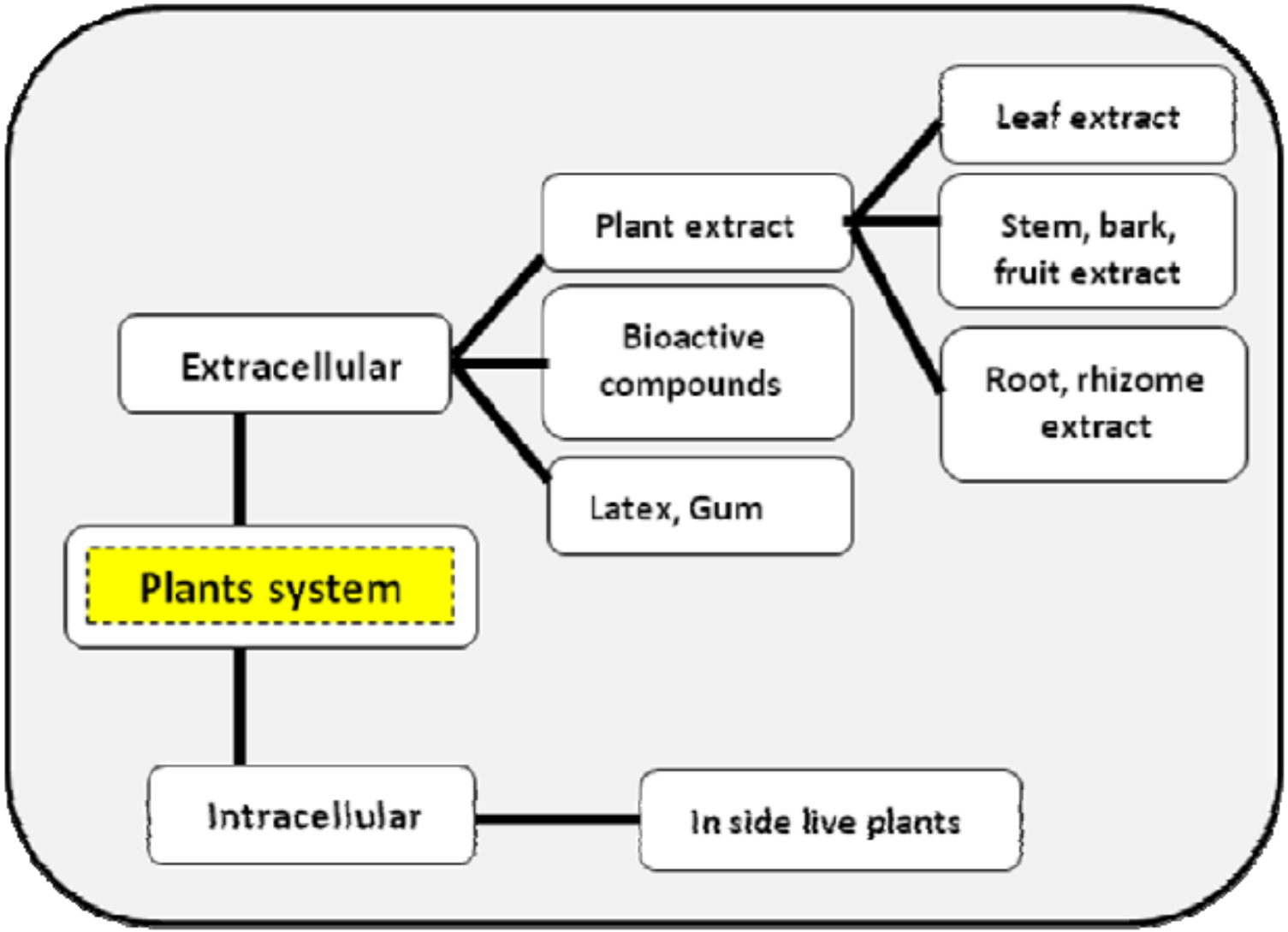

Fig. 16: Different methods of synthesis of metal nanoparticles using plant system (adapted from **Yadav and Rai 2015**)

- Books for green synthesis:

M. Rai and C. Posten (2013). Green biosynthesis of nanoparticles: mechanisms and applications

Rafael Luque and Rajender S Varma (2012). Sustainable preparation of metal nanoparticles : methods and applications

Table 8: The biogenic synthesis of Cu-based nanoparticles using plant extracts (adapted from **Peralta-Videa et al. 2016**)

Plant extract or algae	Size (nm)	Morphology	Citation
Copper material precursor: copper sulfate pentahydrate			
Magnolia kobus leaf extract	50–250	Spherical	Lee et al. (2013)
Lawsonia inermis	20–60	Spherical	Cheirmadurai et al. (2014)
Citrus grandis Peel extract	22–27	Spherical	Sinha and Ahmaruzzaman (2015)
Syzygium aromaticum extract	40–45	Spherical	Subhankari and Nayak (2013)
Cymbopogon citratus grass extract	2.9	Spherical	Brumbaugh et al. (2014)
Copper material precursor: copper sulfate			
Eucalyptus sp. leaf extract	28–48	Particle-like	Kulkarni et al. (2015)
Phyllanthus Embilica (Gooseberry) extract	15–30	Flake	Caroling et al. (2015)
Gymnema sylvestre leaf extract	65–184	Spherical	Heera et al. (2015)

Table 9: The biogenic synthesis of zinc oxide nanoparticles using plant extracts (adapted from **Peralta-Videa et al. 2016**)

Plant extract or algae	Size (nm)	Morphology	Citation
Zinc material precursor: Zinc nitrate			
potato (*Solanum tuberosum*) extract	20	Hexagonal wurtzite	Buazar et al. (2015)
Eichhornia crassipes leaf extract	28–36	Crystalline	Vanathi et al. (2014)
Solanum nigrum leaf extract	20–30	Hexagonal wurtzite	Ramesh et al. (2015)
Lycopersicon esculentum fruit extract	60–70	Nanocomposite	Sutradhar and Saha (2015)
Ruta graveolens stem extract	28	Hexagonal wurtzite	Lingaraju et al. (2015)
Zinc material precursor: Zinc nitrate hexahydrate			
Plectranthus amboinicus leaf extract	50–180	Hexagonal wurtzite	Fu and Fu (2015)
Azadirachta indica leaf extract	40	Hexagonal wurtzite	Elumalai and Velmurugan (2015)
Moringa oleifera leaf extract	16–20	Hexagonal wurtzite	Elumalai et al. (2015)
Vitex negundo L. flower extract	10–130	Hexagonal wurtzite	Ambika and Sundrarajan (2015)

Table 10: Summary of reported methods for the synthesis of nano zerovalent iron (nZVI) (adapted from **Stefaniuk et al. 2016**)

Method	Short description (diameter in nm)	Pros	Cons
Top down			
Lithography Grinding	Break down bulk iron materials (not available)	Inexpensive method	Limited control over particle size distribution and morphology
Precision milling method	The rotary chamber with steel beads (10–50 nm)	Elimination of toxic reagents, short processing time, low energy consumption	
Bottom up			
Chemical reduction	Reduction of the iron salts using reducing agent (1–100 nm)	Simple and easy to use in any laboratory	The use of toxic reducing agent
Carbothermal reduction	Fe^{2+} are reduced to nZVI at elevated temperatures with the use of thermal energy in the presence of	Spherical iron particles, cheap reducing agent –H_2, CO_2, CO	Not well known

	gaseous reducing agents (20–150)		
Ultrasound method	Application of ultrasound waves and reducing agent (10 nm)	The creation of small nanoparticles	The use of toxic reducing agent
Electro-chemical method	Reduction of the iron salt in the presence of the electrodes and electrical (1–20)	Inexpensive method	Tendency to form nZVI clusters
Green synthesis	Biosynthesis of nanoparticles using plant extracts (20–120)	Replacing toxic reducing agent	Irregular shape

5 – تطبيقات النانوتكنولوجى فى مجال الزراعة:

Nanotechnology applications for agriculture

من المعروف أن قطاع الزراعة شهد تغيرات رهيبة على مُستوى الإنتاج العالمى حيث أصبح من خلال إستخدام التكنولوجيا الحديثة من السهل تكثيف الزراعات على مستوى المزرعة و تطوير نظم الرى الحديثة و إتباع النظم الحديثة لما بعد الحصاد مع إمكانية إستخدام أصناف أو سلالات المحاصيل المُختلفة و المُحسنة عالية الإنتاج و على الرغم من هذا التطور الرهيب إلا أنه مازال هناك مشاكل بالدول النامية تتعلق بالفقر و عدم كفاية الغذاء food insecurity لذلك ظهرت أهمية علم النانوتكنولوجى كأحد أهم الحلول المقترحة لزيادة الإنتاج الزراعى العالمى حيث يُلاحظ أن عدد مُنتجات النانو زاد على **800** مُنتج بالأسواق العالمية و الذى يتوقع أن يتضاعف خلال الأيام القادمة حيث تمثل منتجات النانو ما يزيد على **15%** بالأسواق العالمية ممثلة فى عبوات الحفظ و التخزين للمنتجات الزراعية و الأسمدة و المبيدات النانو و غيرها **(Husen and Siddiqi 2014)**.

و تعتبر الزراعة واحدة من أهم المحطات التى توقف عندها علم النانوتكنولوجى بل توغل فيها لنحصد مجموعة من التطبيقات الهامة فى حياتنا على الرغم من أن تطبيقات النانوتكنولوجى فى قطاعات الطب و العقاقير و الأدوية و قطاع الصناعة ذات الأثر الأكبر لما لهذه القطاعات من سرعة رهيبة لدورة رأس المال و الإستثمارات مقارنة بقطاع الزراعة الذى مازال – على الرغم من التطور المذهل للنانوتكنولوجى به – يَحبُو أى صغير مقارنة بقطاعات الطب و الصناعة كما سبق. أما عن إستخدامات و تطبيقات النانوتكنولوجى فى الزراعة فهى مُهمة تتضمن كيف يمكن إنتاج كميات أكثر من الغذاء و بتكاليف أقل مع معدلات إستهلاك الطاقة المنخفضة و المُخلفات الأقل ما يمكن و مع ذلك مازالت هناك العديد من الأسئلة التى تتعلق بمخاطر إستخدام جزيئات النانو فى إنتاج الغذاء غير مُجاب عنها حتى الآن حيث رصدت العديد من المقالات العلمية حالات السُمية التى تسببها هذه الجُزيئات النانومترية المُصنعة للعديد من النباتات، من هنا كان هناك حاجة لدراسة المخاطر التى قد تنتج عن تعرض النظم الزراعية لمثل

هذه الجزيئات النانومترية و كذلك محاولة فهم حالة التوازن بين مدى التوسع فى إستخدام مُختلف تطبيقات النانوتكنولوجى فى الزراعة و إنتاج الغذاء و بين الآثار الناتجة عن هذا الإستخدام فى محاولة لسد الفجوة بينهما (Servin and White 2016). و **الجدول رقم (11)** يوضح أهم إستخدامات جزيئات النانو المُصنعة بالقطاع الزراعى.

على صعيد الدراسات التى تناولت العلاقة بين علم النانوتكنولوجى و تطبيقاته فى قطاع الزراعة، فقد تزايدت تزايداً كبيراً فى الآونة الأخيرة لدرجة أن عدد الدراسات التى نُشرت حول دراسة تأثير الجزيئات النانومترية المُصنعة engineered nanoparticles على صحة و أمن البيئة environmental health and safety زاد على **90 ألف** مقالة منها ما يزيد على **50 ألف** من هذه المقالات نشرت خلال **الأربع** سنوات الأخيرة (من عام 2013 حتى 2016م) كما ورد بموقع الـ ScienceDirect (يوم الحصر 21 أكتوبر 2016م) و يمكن رصد أهم هذه الدراسات من خلال المجموعة التالية:

Shrivastava and Dash (2012); Husen and Siddiqi (2014); Ngô and Van de Voorde (2014); Özer et al. (2014); Brandelli (2015); Ditta et al. (2015); Mastronardi et al. (2015); Rai et al. (2015); Huang et al. (2015); Belal and El-Ramady (2016); Chhipa and Joshi (2016); Chowdhury et al. (2016); Dasgupta et al. (2016); Dwivedi et al. (2016); Dubey and

و قد صدرت مجموعة رائعة من الكتب و خاصة عن دار النشر سبرنجر رصدت فيها بعض تطبيقات النانوتكنولوجى فى الزراعة و الغذاء أهمها:

الكتاب الأول يحمل عنوان:

Advances in Applied Nanotechnology for Agriculture

Bosoon Park and Michael Appell (2014)

و الكتاب الثانى تحت عنوان:

Nanotechnologies in Food and Agriculture

و ذلك لمجموعة من الباحثين الهنود عام **Rai et al. (2015)**

بينما الكتاب الثالث فهو عبارة عن مجموعة كتب ضمن سلسلة كتب تحمل عنوان:

Nanoscience in Food and Agriculture

حيث ظهر العدد الأول و الثانى عام 2016م و من المتوقع أن يظهر العدد الثالث و الرابع خلال أيام مع مستهل عام 2017م و قد مَن الله علينا بعدد (2) فصل بهذه الكتب تحت عنوان:

1- Plant nano-nutrition: perspectives and challenges

2- Nanoremediation: towards sustainable crop production

و هذه السلسلة هى عبارة عن سلسلة داخل سلسلة كتب آخرى تسمى:

Sustainable Agriculture Reviews

للمبدع الفرنسى Eric Lichtfouse صاحب دوريتان من أشهر الدوريات العالمية هما:

Environmental Chemistry Letters (**IF: 2.918** for 2015/2016)

Agronomy for Sustainable Development (**IF: 4.141** for 2015/2016)

أما عن أهم تطبيقات النانوتكنولوجى فى الزراعة فتنحصر فى الزراعة الدقيقة من خلال الـ nanosensors أو المواد الكيماوية النانومترية الزراعية nanoagrochemicals و الممثلة فى مبيدات النانو nanopesticides و أسمدة النانو nanofertilizers كما أن أهم هذه التطبيقات ما يستخدم فى صناعة و تعبئة و تغليف و تداول و غير ذلك للمواد الغذائية و عموماً هناك مجموعة من التحديات بالزراعة لـ **Ngô and Van de Voorde (2014)** أهمها:

1 – أن تكون الزراعة مُستدامة و صحية sustainable and healthy farming

2 – أن يتم المحافظة على خصوبة التربة و زيادتها increased soil fertility

3 – أن يكون هناك مُراقبة و رصد للمبيدات بالمزرعة monitoring pesticides

4 – أن يكون هناك بإستمرار تنقية للمياه water purification

5 – أن تراعى الزراعات الدقيقة Precision farming

6 – الإستخدام الأمثل للمواد الـ nano agrochemicals

7 – الإستفادة من جزيئات النانو و علم النانو فى مجال هندسة المحاصيل وراثياً nano for genetic engineering

و سوف نتناول بعض تطبيقات النانوتكنولوجى فى الزراعة بشىء من التفصيل فى الأجزاء القادمة و التى تتضمن النقاط التالية:

(1) – تطبيقات النانوتكنولوجى فى مجال علوم النبات Phytonanotechnology
(2) – تطبيقات النانوتكنولوجى فى مجال المُعالجة النباتية المُستدامة
(3) – تطبيقات النانوتكنولوجى فى مجال إزالة المُلوثات من التربة و المياه
(4) – تطبيقات النانوتكنولوجى فى مجال تحلية المياه Desalination
(5) – تطبيقات النانوتكنولوجى فى مجال الزراعات الدقيقة و إنتاج الـ Nanosensors
(6) – تطبيقات النانوتكنولوجى فى مجالات الصحة Nanotechnology for health
(7) – تطبيقات النانوتكنولوجى فى مجالات الطاقة Nanotechnology for energy
(8) – التطبيقات في مجال ما بعد الحصاد Nanotechnology for postharvest
(9) – تطبيقات النانوتكنولوجى فى مجال الأسمدة nanofertilizers
(10) - تطبيقات النانوتكنولوجى فى مجال المُبيدات nanopesticides
(11) – تطبيقات النانوتكنولوجى فى حفظ و تغليف وتداول و تخزين الغذاء
(12) – تطبيقات النانوتكنولوجى فى مجال مكافحة أمراض النبات
(13) – تطبيقات النانوتكنولوجى فى إعادة تدوير المخلفات الزراعية waste recycling

(14) – تطبيقات النانوتكنولوجى فى مجال تحسين الإنتاج الحيوانى

Table 11: Main applications of **ENPs** or engineered and manufactured nanomaterials (adapted from **Peralta-Videa et al. 2016)**

Engineered ENPs	**Uses**
Gold ENPs	Bioimaging, gene delivery and detection, drug delivery, immune assays, and electrochemical sensing of toxic chemicals. Catalytic in chemical reactions such as the oxidation of CO to CO_2 etc.
Silver ENPs	Antimicrobial/antibacterial activities. Diagnosis and therapeutic. Catalysis of several organic reactions. Surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS) combined with membrane electrophoresis for cancer determination
Copper based ENPs	Optical, thermal, electrical properties, catalytic applications, and antibacterial properties. Catalysis for the formation of carbon–carbon bonds from C(aryl)–C(aryl/alkynyl) C(aryl)–N, C(aryl)–O, C(aryl)–S and C(aryl)–Se. Reduction of aromatic nitrocompounds in the presence of $NaBH_4$

Zinc oxide ENPs	Used in UV lasers, field effect transitions, photodetectors, gas sensors, solar cells, piezoelectric generators, and photocatalysts. Antimicrobial activity in food packaging. Added to textiles as UV-absorbing agents as well as antimicrobial agents. Used in personal care products. Used as antibacterial agent against *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* etc.
Titanium dioxide ENPs	Photovoltaic and photochemical applications. Photocatalytic degradation of organic acids, inorganic ions such as nitrate, nitrite, ammonia, and sulfate. Destruction of dyes in solution by absorption and oxidation Additive to medical and food products. Personal care products
Cerium dioxide ENPs	Catalysis, fuel cells, microelectronics, luminescence, ceramic applications, sunscreens for UV absorbers, oxygen storage, H_2S removal, and hybrid solar cells. Abrasives for grinding and polishing applications. Effective photocatalysis in degradation of organic compounds. Effective as an electrocatalytic oxidizing agent for the oxidation of ethanol Antibacterial effects
Iron-based ENPs	Reduction of subsurface contaminants such as PCBs and chlorinated solvents. Removal of dyes, removal of heavy metals

(1) – تطبيقات النانوتكنولوجى فى مجال علوم النبات:

Phytonanotechnology

يعتبر النبات من أهم المنابع التى توغل فيها علم النانوتكنولوجى بل و ظهرت العديد من التطبيقات التى كان محورها النبات و لذلك ظهر علم يُسمى ***Phytonanotechnology*** حيث يهتم هذا العلم بدراسة تطبيقات علوم النانوتكنولوجى على النبات و على إنتاج النبات كما ورد فى التعريف التالى:

"***Phytonanotechnology*** *is the application of nanotechnology in the plant sciences and plant production systems*", Wang et al. (2016).

على صعيد قواعد البيانات العالمية هناك إهتمام متزايد بدراسات النانوتكنولوجى على النبات من جميع النواحى بداية من التأثير على الإنبات و النمو حتى وصولاً للتأثير على الإنتاج أو المحصول بل ما بعد الحصاد كذلك من الأمور الهامة التى يهتم بها الباحثين و التى وصل معدل تكرارها إلى ما يزيد على **30 ألف** مرة مُعظمها بالخمس سنوات الأخيرة و عموماً يمكن رصد أهم دراسات النانوتكنولوجى التى تتم على النباتات فيما يلى:

1 – دراسات على إنبات/نمو البادرات Germination, growth and development

2 – دراسات على دور جزيئات النانو بالنبات Role of nanoparticles in plants

3 – دراسات على إستخدام النباتات فى إنتاج جزيئات و مواد النانومترية Phytosynthesis of nanoparticles and metal nanoparticles

4 – دراسات على إمتصاص، حركية، إنتقال، تحولات، تراكم و سمية جزيئات النانو بالنبات Uptake, translocation, accumulation, biotransformation and phyto-toxicity of nanoparticles in plants

5 – دراسات على التفاعل بين جزيئات النانو و النبات على المستوى الجزيئى

Molecular mechanism of plant–nanoparticle interactions

6 – دراسات على تحسين إنتاجية المحاصيل عن طريق النانوتكنولوجى

Nanotechnology for crop improvement

7- دراسات على دور جزيئات النانو فى نقل المواد الوراثية بالنبات

Role of nanoparticles for delivery of genetic material

8 – دراسات على دور علوم النانوتكنولوجى فى إمداد النبات بالمغذيات

Agri-nanotechniques for plant availability of nutrients

9 – إستخدام جزيئات النانو فى مجال وقاية النبات و مكافحة أمراض النبات

Utilization of nanoparticles for plant protection

10 – دراسات على التفاعل بين جزيئات النانو و كلاً من التربة و النبات بمنطقة إنتشار الجذور Nanotechnology in soil-plant system and rhizospheric environment

11 – دراسات على سُمية المواد النانومترية للنباتات كما **فى الجدول رقم (12).**

Toxicity of nanomaterials to plants (Nanotoxicology in plants)

12 – دراسات على سلوك النباتات المُعدلة وراثياً و حالات الإجهاد غير الحيوى فى ظل النانوتكنولوجى Abiotic stress tolerant transgenic plants and nanotechnology

13 – دراسات على تأثير و أضرار جزيئات النانو على البيئة الزراعية و صحة الإنسان و غيرها من الموضوعات ذات الصلة بالنبات

Nanoparticle hazard to human health and agri-environment

14 – دراسات على فسيولوجيا physiology التفاعل بين جزيئات النانو و النبات و التى تتمثل فى الدراسات التالية:

1- Seed germination, growth parameters, and development

2- Biochemical parameters (e.g., plant enzymatic activities, nutrients transport and uptake, net photosynthetes, transpiration and water conductance, etc.)

3- Photosynthesis process (such as the photosynthetic efficiency, photochemical fluorescence, and quantum yield in plants based on their inherent light interaction capabilities)

4- Plant nutritional parameters

5- Molecular parameters (e.g., nanotoxicoproteomics)

Table 12: Phytotoxicity of important engineered nanoparticles (NPs) on some major food and agricultural crops (adapted from **Nair 2016; Shalaby et al. 2016**)

Crops	Effects on plants	References
***Gold nanoparticles* (AuNPs)**		
Mustard greens	Improved germination rate at 25 ppm AuNPs and improved total growth profile at 10 ppm AuNPs	Arora et al. (2012)
Arabidopsis	Reduced root length	Taylor et al. (2014)
***Silver nanoparticles* (AgNPs)**		
Cucumber	Reduced germination	Barrena et al. (2009)
Barley, Ryegrass	Reduction in germination and shoot length with small-sized particles	El-Temsah and Joner (2010)
Bean, corn, mung bean, sorghum	Improved growth parameters at low concentration and inhibitory effects at high concentration	Salama (2012), Namasivayam and Chitrakala (2011)
Mung bean, Sorghum	Reduced seedling growth	Lee et al. (2012)
Lettuce, Barley	Reduced root length for lettuce, Increased root elongation for barley at low concentration AgNPs and reduced root length at higher concentration AgNPs	Gruyer et al. (2014)
***Zinc oxide nanoparticles* (ZnO NPs)**		
Ryegrass (*Lolium*	Reduced biomass, shrank root tips, epidermis and root cap broken, highly vacuolated and	Lin and Xing (2008)

perenne)	collapsed cortical cells (up to 1 000 mg kg^{-1} in Hoagland solution)	
Peanut	Improved germination and seedling vigor at 1000 ppm and inhibitory effects at 2000 ppm	Prasad et al. (2012)
Cabbage	Dose-dependent inhibition of germination in aqueous suspension (1 000 mg kg^{-1})	Pokhrel and Dubey (2013)
Tomato, Alfalfa	Reduced germination	de la Rosa et al. (2013)
Cucumber	No negative impact on whole-plant life cycle	Zhao et al. (2013)
Cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.)	Improved shoot-root growth, chlorophyll content, total soluble leaf protein content, rhizospheric microbial population and P nutrient-mobilizing enzymes including phytase, acid and alkaline phosphatase (foliar up 10 mg kg^{-1})	Raliya and Tarafdar (2013)
Green peas	Increased root elongation	Mukherjee et al. (2014)
Soybean	Reduced growth	Yoon et al. (2014)

***Silicon oxide nanoparticles* (SiO_2 NPs)**		
Maize	Enhanced plant dry weight and levels of organic compounds such as proteins, chlorophyll and phenols (up to 15 kg ha^{-1})	Suriyaprabha et al. (2012a, b)
Rice	Improved seed germination and seedling growth	Adhikari et al. (2013)
Lupin and wheat	No signs of toxicity were observed and did not affect seed germination and did not show phytotoxicity (2000 mg L^{-1})	Hussain et al. (2013)
Tomato	Improved seed germination (up to 8 g L^{-1})	Siddiqui and Al-Whaibi (2014)
***Cerium oxide nanoparticles* (CeO_2 NPs)**		
Tomato	Promoted plant growth and fruit maturity at low concentrations	Wang et al. (2012a, b)
Arabidopsis	Reduced chlorophyll at higher concentration	Ma et al. (2013)
Cucumber	No negative impact on whole-plant life cycle	Zhao et al. (2013)
***Cupper oxide nanoparticles* (CuO NPs)**		
Maize	No inhibition on seed germination	Wang et al. (2012a, b)

كما لا يمكن أن ننسى عرض أهم الكتب التى نُشرت مؤخراً و تناولت علاقة النانوتكنولوجى بالنبات و خاصة تلك التى نشرتها دار النشر الرائعة سبرنجر و أهمها:

الكتاب الأول يتمثل فى علوم النبات و علم النانوتكنولوجى و الذى صدر عام 2015م:

Manzer H. Siddiqui, Mohamed H. Al-Whaibi and Firoz Mohammad (2015). Nanotechnology and Plant Sciences: Nanoparticles and Their Impact on Plants

الكتاب الثانى يتمثل فى أساسيات و بعض النواحى العملية الخاصة بعلم نانوتكنولوجيا النبات و الذى نشر عام 2016م

Chittaranjan Kole, D. Sakthi Kumar and Mariya V. Khodakovskaya (2016). Plant Nanotechnology: Principles and Practices

بالطبع هناك العديد من الكتب التى تناولت هذه العلاقة الوطيدة بين علوم النبات و علم النانوتكنولوجى و سوف يُنشر مُستقبلاً المزيد من هذه الكتب لأنه مازال هناك العديد من النقاط البحثية الهامة التى تحتاج لمزيد من جهد الباحثين و قد ظهرت دراسات النانو على النباتات لتتناول إمتصاص، حركية، إنتقال ثم تراكم هذه الجزيئات النانومترية أو المواد النانومترية بالنباتات و كانت معظم الدراسات فى البداية تستخدم مواد نانو مُستمدة أو التى لها علاقة مع بالمعادن و الكربون metal-based and carbon-based و ذلك على نطاق واسع من النباتات حيث إتضح من بعض هذه الدراسات دور هذه المواد و الجزيئات النانومترية فى تحسين إنتاجية بعض المحاصيل و ذلك من خلال تشجيع إنبات و نمو البذور و البادرات كما فى حالة العديد من المحاصيل مثل الأرز، الذرة، القمح، البرسيم الحجازى، فول الصويا، الكانولا، الطماطم، الفجل، العدس، السبانخ، البصل، القرع العسلى و الخيار بينما كان التأثير تشجيع عمليات الأيض للأزوت، محتوى الكلوروفيل و العديد من نشاط الإنزيميات الأمر الذى أدى إلى تحسين معدلات عملية البناء الضوئى كما فى حالة نباتات الذرة، فول الصويا، الفول السودانى، الطماطم و السبانخ.

كما هناك العديد من الدراسات التى أثبتت دور هذه المواد و الجزيئات النانومترية فى تحسين إنتاجية بعض المحاصيل، زيادة المادة الجافة، زيادة محتوى بعض النباتات من نواتج الأيض الثانوية و ذلك من خلال المُعاملة المُباشرة بهذه المواد النانومترية كما فى حالة محاصيل الأرز و فول الصويا. جدير بالذكر أن مواد النانو أثبتت فاعلية كبيرة كمواد هامة فى نقل الجينات لبعض النباتات كإستراتيجية آمنة و مقبولة فى دراسات الهندسة الوراثية. ثم كان إدخال مجال النانو فى علوم النبات من خلال مجال ما يسمى بالـ Plantnanomics. قطعاً لا يمكن ان ننسى دور علم النانوتكنولوجى فى توفير السماد الآمن nanofertilizers بالإضافة إلى وقاية النبات من الآفات بإستخدام مبيدات النانو nanopesticides هذا بالإضافة إلى إمكانية إتباع برنامج مقاومة أمراض النبات بإستخدام بعض محثات النانو nanosensors و كذلك بعض الأدلة ذات الأصل النانو nano-based diagnostic kits و بالطبع ليست الصورة وردية على طول الخط نتيجة إستخدام مواد و جزيئات النانو بل هناك المشاكل و الأخطار العديدة و التى سوف نناقشها بشىء من التفاصيل لاحقاً (**Kole et al. 2016**).

أما عن أهم **تطبيقات النانوتكنولوجى على النباتات** فهى عديدة يمكن إجمالها فى النقاط التالية و التى ترتبط إرتباطاً شديداً بالنباتات (المحاصيل) المُختلفة و هى فى مُجملها تُمثل تطبيقات النانو فى الزراعة حيث يمكن القول لا زراعة بدون نباتات:

1 – إستخدام جزيئات النانو فى مقاومة بعض الأمراض الفطرية و البكترية مثل جزيئات النانو فضة Ag NPs (Nair et al. 2010) و كذلك إستخدام جزيئات النانو سيلكا الذى يقوم بتجريح جسم الحشرات فتفقد مائها فتجف فتموت الحشرات و ليست مبيدات النانو الحشرية فقط هى التى تستخدم جزيئات النانو فى مقاومة أمراض النباتات بل هناك بعض تركيبات النانو أى الـ nano-formulations أو nano-encapsulated agrochemicals و التى تمتاز بتحرر مادتها الفعالة active ingredients بكفاءة مع تحسين ذوبان و ثبات هذه المواد الفعالة ثم فى النهاية تحسين نشاط هذه التركيبات النانو مما يُقلل من أى آثار سمية للبيئة ecotoxicity كما تستخدم مبيدات النانو فى مقاومة الحشائش nanocapsule herbicide و التى ذات قدرة عالية على تقليل أى سُمية للنباتات المنزرعة phytotoxicity من هذه المبيدات النانومترية.

2 – إستخدام جزيئات النانو فى تغذية النباتات nano-nutrition من خلال أسمدة أو مُغذيات النانو nanofertilizers و هى مواد أو أسمدة بطيئة التحرر أو الإنطلاق للمواد الفعالة حيث ضمان تحرر العنصر من السماد النانو لمدة طويلة قد تصل لـ 30 يوماً مما يعنى زيادة كفاءة إستخدام هذه الأسمدة من 40 ، 30 ، 20 % فى حالة الأزوت و البوتاسيوم و الفوسفور فى حالة أسمدة العناصر السابقة فى صورتها العادية حيث ترتفع هذه الكفاءة لتتضاعف تقريباً فى حالة صورتها النانومترية ليس هذا فحسب بل بذلك تقلل أسمدة النانو تلوث البيئة بدرجة كبيرة كما هناك بعض تركيبات أسمدة النانو مثل الهيدروجيل hydrogel nanocomposites و هى أسمدة بطيئة الذوبان slow-release fertilizer من هنا كان هناك ضرورة لدراسة إمتصاص ثم حركية ثم إنتقال و تراكم جزيئات النانو بأجزاء النبات المُختلفة ثم تأثيرها على إنتاجية المحاصيل المُختلفة (**Banerjee and Kole 2016**).

3 – إستخدام بعض جزيئات النانو كمُحسّات nanosensors في مجال الزراعات الدقيقة حيث هناك عظيم الفائدة من رصد و تتبع حالة نمو النباتات و مدى حاجتها للتسميد من عدمه أو غير ذلك من المهام في نطاق الزراعات الدقيقة.

و هناك العديد من هذه التطبيقات التي سوف تتضح فيما بعد خلال هذا الفصل من الكتاب.