الباب التاسع

تقييم مخاطر تكنولوجيا النانو

obeikandl.com

obeikandl.com

الباب التاسع

تقييم مخاطر تكنولوجيا النانو

١-مقدمة

تهتم علوم النانو والنانوتكنولوجي بفهم وتطوير المواد علي النطاق الجزيئي والذري. وقد يتساءل البعض عن جدوي التعامل مع المواد علي هذا المستوي متناهي الصغر. والاجابة علي هذا التساؤل تتلخص في أن التحكم في تصنيع المواد النانو يبشر بانتاج مواد لها خواص جديدة تختلف عن نظائرها المتاحة حاليا بالاضافة الي إمكانية تحوير خواص المواد لتلائم الصناعة بصفة عامة ومنها التصنيع الغذائي.

تعلق معظم دول العالم حاليا أهمية كبيرة علي علوم النانو والنانوتكنولوجي ففي اليابان بلغ معدل الإنفاق في هذا المجال ٤٠٠ مليون دولار عام ٢٠٠١ وحوالي ٩٦٠ مليون دولار عام ٢٠٠٤ وفي الولايات المتحدة بلغت ميزانية الإنفاق الحكومي علي بحوث وتطوير النانوتكنولوجي ٧و٣ بليون دولار عن الفترة ٢٠٠٥-٢٠٠٨ وفي أوروبا بلغ الانفاق في هذا المجال ١ بليون يورو تم تمويل معظمها من البرامج القومية والاتحادية.

وبذلك يمكن القول بأن النانوتكنولوجي قد إستحدثت لتبقي وتشكل حاليا الأساس لعديد من المنتجات التجارية. فقد إستخدمت هذه التكنولوجيا علي نطاق واسع في الصناعات الاليكترونية منذ سنوات عدة ومن نماذج المنتجات الجديدة في هذا المجال طلاء السيارات وواقيات الشمس الشفافة والملابس الطاردة للماء

والصبغات والأحذية الرياضية المحسنة والجوارب الخالية من الروائح وكرات التنس ومضارب التنس ذات الجودة العالية.

وبالرغم من الآفاق الواعدة للنانوتكنولوجي فان إستخدامها قد أثار جدلا كبيرا علي كافة المستويات المتخصصة وغير المتخصصة ما بين مؤيد ومعارض لها. ولذلك فمن الضروري التقييم الموضوعي لانعكاسات إستخدام النانوتكنولوجي في صناعة الأغذية علي المدي القريب والبعيد.

ينشأ عن تصغير المواد المصنعة خواص جديدة ونافعة وهنا يثار التساؤل هل توصلت المعرفة لما يؤدي تصغير حجم المواد من تغيرات. فمن الأمور التي تشغل بال الكثيرين أن المعرفة عن خواص حبيبات النانو محدودة جدا خاصة فيما يتعلق بمدي تأثير صغر حجم الحبيبات علي سميتها. ويري البعض ضرورة النظر الي حبيبات النانو ومعاملتها علي أنها مواد جديدة ذات تأثيرات قد تشكل خطرا علي صحة الانسان ومن ثم يجب إختبار مدي سلامتها أو تأثيراتها الضارة. وعلي ذلك فان تطبيق النانوتكنولوجي يتطلب تقييم مدي تأثير الناتج منها خاصة ما قد يؤدي الي تسرب حبيبات النانو في البيئة وتقييم أثر التعرض للمستويات المختلفة من هذه المواد.

وعلي ذلك فمدي إمكانية نفاذ هذه المواد الي الجسم والأماكن التي تخترق منها لتصل الي الجسم ثم مدي التأثير التراكمي لها سوف يحدد مدي الخطر المحتمل من التعرض لها. فالحبيبات الصغيرة لها القدرة علي النفاذ والوصول الي أماكن مختلفة في الجسم قد لا تصلها الأحجام الأكبر من نفس المواد.

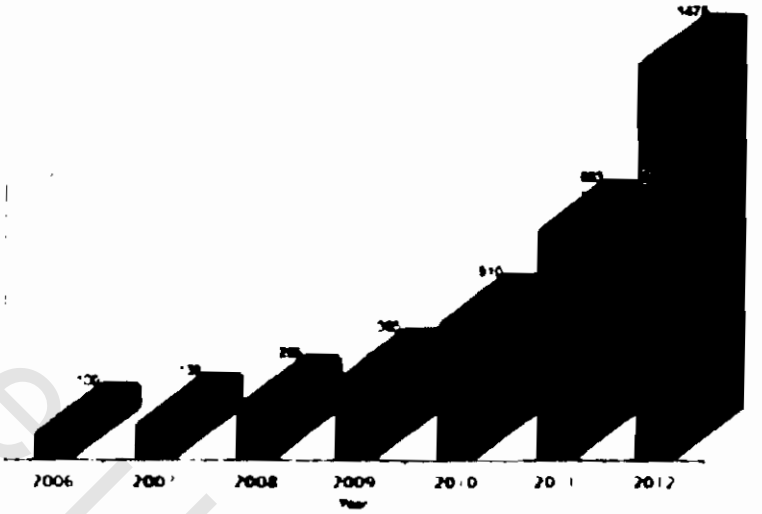
وكأي منتج جديد فان عبء إدارة المخاطر المحتملة له يمثل مسؤلية أساسية للباحثين والتكنولوجين للتأكد من سلامة المنتج المطور بالاضافة الي مسؤلية السياسين والمشرعين لتبني هذا الاتجاه. ويتوقع المستهلك أن أي

تطورات في تركيب الغذاء أو مواد التعبئة المستخدم فيها النـــانوتكنولوجي قـــد خضعت لاختبارات السمية المناسبة وأن نتائج هذه الاختبارات كانت متاحة قبل الموافقة علي طرحها كمنتجات مأمونة الاستخدام. وعلي ذلك فالاتجاه الحذر في إدخال منتجات النانوتكنولوجي في تركيب الغذاء أو إنتاجه أو تصنيعه له أهميـــة كبيرة ويجب إجراء تحليل موضوعي للمخاطر/المنافع بالاضافة الي توصـــيف طرق جديدة مناسبة للتحكم في تداول هذه المنتجات ووضع تـــشريعات تتنـــاول الأصناف والمستويات المسموح بها من هذه المواد.

٢- تطبيقات النانو تكنولوجي المحتملة والمرتبطة بالغذاء

من المؤكد أن معظم الشركات الكبري للتصنيع الغـــذائي تتبنـــي وتتـــابع البحوث والتطورات ذات الفوائد المحتملة من علوم النانو في الغـــذاء وبعـــض الشركات أكثر تحررا وقبولا لمناقشة أبحاثها في هذ المجال مع الآخرين. ولذلك فمن الصعب تقييم مستوي الاهتمام بالنانوتكنولوجي. فعلي سبيل المثال أقامـــت شركة كرافت أول معمل لبحوث وتطوير النانوتكنولوجي عام ١٩٩٩ ثم كونـــت إتحادها concorsion المسمي نانوتك Nanotek عام ٢٠٠٠ والـــذي يـــضم ١٥ جامعة ومعهد بحثي في مختلف الأماكن في العالم كما عينت جامعة روتجـــورز في نيويورك أول استاذ لعلم نانوتكنولوجي الغذاء، وتتبني كل من شركة يـــونلفر ونستلة بحوثا تقوم علي إمكانية إستخدام النانوتكنولوجي في التصنيع الغذائي.

وقد صدرت دراسة عام ٢٠٠٦ بعنوان الغذاء النـــانو nanofoods تتنـــاول التطورات في إستخدام النانوتكنولوجي في التصنيع الغذائي وأوردت أكثر مـــن ١٨٠ تطبيقا في مختلف مراحل التطوير في هذا المجال وتتنبأ الدراسة بأن قيمة تطبيقات النانوتكنولوجي المباشرة في الغذاء سوف تتجاوز ٤و٢٠ بليـــون دولار عام ٢٠١٠.



شكل ١-٩: عدد المنتجات الغذائية الحالية والمتوقعة والمعتمدة علي النانوتكنولوجي (Cientifica, 2006)

ويوضح شكل (١-٩) عدد المنتجات الغذائية الحالية والمتوقعة حتي عام ٢٠١٢ والمعتمدة علي النانوتكنولوجي والذي يظهر زيادة عدد المنتجات عام ٢٠١٢ عشرة أضعاف المنتجة عام ٢٠٠٦. كذلك أشار التقرير الي مشاركة أكثر من ٢٠٠ شركة علي مستوي العالم في هذا المجال وأن الولايات المتحدة واليابان والصين أكثر دول العالم مشاركة في هذا المجال كما أن عدد براءات الاختراع الخاصة بتطبيقات النانوتكنولوجي في مجال الغذاء في تزايد سريع.

تعمل معظم الطرق التقليدية للتصنيع أو طهي الطعام من خلال تحوير التركيب البنائي (النانو) الطبيعي في الغذاء أو إستحداث تراكيب نانو جديدة فيه من خلال عمليات تم تقييمها وإختبارها. وعلي ذلك فان علوم النانو للمواد الغذائية سوف تقود الي فهم أفضل لتلك العمليات التصنيعية وإختيار أفضل للمواد الخام وتحسين طرق تصنيع مواد الطعام. وبالإضافة الي التطبيقات المباشرة للنانوتكنولوجي في مجال التصنيع الغذائي فهناك العديد من التطبيقات

غير المباشرة للنانوتكنولوجي فيها من خلال التطورات في نانوتكنولوجي علوم المواد وصناعة الاليكترونيات علي سبيل المثال. وإذا كان التنبؤ بالاتجاهات المستقبلية يفتقر عادة الي دقة التوقعات الا أنه من الضروري اجراءها حتي يمكن الاعداد الجيد لاستيعاب هذه التطورات. ومن المستحسن عرض التطبيقات الجديدة المباشرة وغير المباشرة للنانوتكنولوجي في تصنيع الغذاء وتعبئته وتداوله لاعطاء صورة أوضح عند تقييم مخاطر تطبيقها.

٢-١ تطبيقات الاليكترونيات والكومبيوتر

تطورت الاليكترونيات والكومبيوتر بدرجة كبيرة فاقت كل التوقعات في مدي قصير. وتستخدم صناعة الاليكترونيات النانوتكنولوجي علي نطاق واسع ومن المنتظر حدوث تقدم في مجال تصغير حجم كروت الكومبيوتر computer chips وتحسين تخزين المعلومات. وفي المدي البعيد فان التطورات في مجال الكومبيوتر مثل quantum computing سوف توفر تطبيقات جديدة تفوق التصورات وإمكانيات الكومبيوتر التقليدي. وحتي بدون هذه التطورات الجذرية فهناك تطورات محتملة ملحوظة في مجال الكومبيوتر. وسوف يتيح ذلك تحليلا أفضل لكم أكبر من البيانات في مجالات كثيرة تخدم مجال الغذاء مثل الجينوم والبروتاميك protamics والميتابولوميك metabolomics سوف تقود حتما الي تحسينات في سلامة الغذاء والتأكد من سلامته. وسوف تتيح التطورات المتوقعة في الحاسبات الشخصية والاتصالات للأفراد الاطلاع علي مزيد من المعلومات عن المصدر والتاريخ والتخزين للأغذية وخواصها الغذائية ومدي ملاءمتها للتركيب الوراثي للفرد والنمط المعيشي. وقد تتيح هذه المعلومات الفرصة للأفراد إختيارا أكثر تحديدا للأغذية الأكثر سلامة وقيمة غذائية والتي تناسب بدرجة أفضل تراكيبهم الوراثية والنمط المعيشي لهم.

وبالرغم من أن النانوتكنولوجي سوف تسهم بدرجة كبيرة في التقدم المتوقع الا أنه لا يتم الاعلان عنه بالتحديد ولذا فان الاهتمام بالمستجدات في المجال لن يتبعه بالضرورة الاهتمام بتأثيراتها المحتملة ولا يوجد في الدراسات الاجتماعية حتي الآن ما يشير الي سلوك الأفراد أو المجتمعات حيال هذه التغيرات.

٢-٢ التصنيع النانو Nano fabrication

من المتوقع أن يؤدي التصنيع النانو الي أنظمة جديدة أكثر كثافة وكفاءة من الموجودة حاليا والي تطوير محسات Sensors أكثر شمولا وتعقيدا. وطرق التصنيع النانو والتي تعتمد علي تجميع التركيبات السطحية والطلاءات والحواجز طبقة بطبقة سوف ينشأ عنها مواد جديدة ذات خواص سطحية مختلفة. وعلي ذلك فهناك محاولات لتصميم أسطح لها القدرة علي تمييز وطرد البكتريا أو أسطح جديدة مقاومة للتلوث أو يمكن تنظيفها بصورة أكثر سهولة. كذلك فمن المنتظر أن يؤدي انتاج مواد جديدة الي تطوير عبوات ومواد تعبئة للأغذية المختلفة والمعلقات المرنة من بوليمرات ينشأ عنها ضوء diode علي مواد التعبئة والعبوات توفر طرقا أفضل لاظهار المعلومات عن المصدر وتواريخ الانتاج والحالة الغذائية للمنتج. ومن المنتظر أن يفضل المستهلك هذه التطورات لفوائدها طالما أن هناك من الدلائل علي عدم تلويث المواد الجديدة للغذاء.

٣- التراكيب النانو في الغذاء Nano structures in foods

قد يزعم كثير من علماء الأغذية أننا نتعامل فعلا مع النانوتكنولوجي. فبروتينات الغذاء لها شكل حبيبي تتراوح أقطارها بين ١٠-١٠٠ نانومتر والذي يماثل حبيبات النانو الحقيقية كما أن كثيرا من السكريات العديدة واللبيدات تمثل

بوليمرات من سلاسل مستقيمة ذات سمك يقل عن ١ نانومتر. كذلك فان تحضير الجيلي والمحافظة علي الحبيبات والمعلقات من الترسب وفي المستحلبات من انفصالها الي طبقتين يعتمد علي تكوين شكل شبكي ذو أبعاد نانو ثلاثية أو ثنائية. وعلي ذلك فان فهم طبيعة التراكيب النانو في الأغذية يتيح إختيارا أفضل للمواد الخام وتحسين جودة الغذاء الناتج من خلال التصنيع. وعلي ذلك ففي غياب معلومات تفصيلية فان إختيار ظروف التصنيع سيظل معتمدا بدرجة كبيرة علي التجربة.

وقد طورت طرق ميكرسكوبية للتعرف علي التراكيب النانو مثل الميكرسكوب ذو الدفع الذري Atomic force microscope مما يتيح للباحثين التعرف علي هذه الأنظمة المعقدة والي فهم أفضل لسلوكها مما يساعد بصورة عملية في التعرف علي التركيب الجزيئي في الغذاء.

وكمثال لفهم قدرة علوم النانو علي تطوير التراكيب الغذائية كيفية التحكم وتحسين جودة الرغوة والمستحلبات. فعندما تتكون رغوة (كما في حالة المنتجات المخفوقة) أو مستحلب (مثل القشدة أو الصوص أو المارجرين أو الزبد) فاننا نكون فقاعات غازية أو قطرات من الزيت/الدهن في وسط مائي وهذا ينشأ عنه أسطح إلتقاء (هواء/ماء) أو (زيت/ماء) والجزيئات الموجودة علي أسطح الالتقاء هذه تحدد مدي ثبات هذه الأنظمة. وتمثل هذه التراكيب ذات السمك الجزيئي نماذج لتراكيب نانو ثنائية الأبعاد. ووجود كل من البروتينات والجزيئات الصغيرة (المستحلبات) يمثل مصدرا لعدم الثبات في معظم الأغذية ويؤدي عدم الثبات الي إنهيار الرغوة أو المستحلب وإنفصال كل من طبقتي الزيت والماء ووجود أي من البروتين أو المستحلبات بمفردها علي سطح الالتقاء يثبت النظام ولكن بميكانيكيات مختلفة. وفي وجودهما معا فان كلا من

البروتين والمواد المستحلبة يتصارعان للتحكم في أسطح الالتقاء وعادة ما تفوز المواد المستحلبة في هذا المجال فهي ذات فعالية سطحية أقوي من البروتينات. لذلك فمن المنتظر أن تحتل أسطح الالتقاء بدلا من البروتينات غير أنه عمليا يصعب علي المواد ذات النشاط السطحي أن تحل محل البروتينات.

وتبين لنا علوم النانو ممثلة في الميكرسكوب ذو الدفع الذري سبب ذلك اذ يبين لنا أن البروتينات تشكل عند أسطح الالتقاء نظام شبكي، ولكي تحل المستحلبات محل البروتينات لابد من هدم هذا النظام. ولكي تحقق المستحلبات ذلك تحاول من خلال نقاط الضعف في النظام الشبكي حيث ترتبط البروتينات ببعضها البعض بروابط ضعيفة ويمكن إزالة البروتينات من هذا الجزء من الشبكة بسهولة وبذلك تجد المستحلبات موضع قدم علي أسطح الالتقاء وتنفذ معظم جزيئات المستحلبات من هذه الثغرة موسعة المساحة التي تحتلها وضاغطة علي شبكة البروتين حتي تنكسر وبذلك يمكن أن تحل محل البروتين تماما. وتنطبق هذه النظرية علي كل الأنظمة الغذائية المثبتة بالبروتينات. ومن خلال الفهم السابق يمكن وضع استراتيجيات لتحسين ثبات الشبكة البروتينية (مثل إضافة اللبيدات التي لها القدرة علي الارتباط بالجزيئات الصغيرة المستخدمة كمستحلبات) والتي يمكن تطبيقها في كثير من العمليات التصنيعية مثل الخبيز أو التخمير أو في الصناعات اللبنية.

٤- الصعوبات التي تواجه تقييم مخاطر تواجد حبيبات النانو في الغذاء

بالرغم من الأهمية البالغة لتقييم المخاطر من تواجد حبيبات النانو في الغذاء الا أن هناك العديد من الصعوبات التي تواجه تحقيق هذا الهدف بكفاءة في الوقت الحاضر. وفيما يلي إستعراض لهذه الصعوبات.

٤-١ صعوبة التعرف علي وتقييم خواص حبيبات النانو في الغذاء

يمثل ادخال الأنظمة النانو المحملة بالمكونات الغذائية الحيوية وحبيبات نانو المواد الحيوية أحد اتجاهات التطبيقات الواعدة في إنتاج الأغذية الوظيفية. ومن الواضح أن الخواص الوظيفية لحبيبات النانو (مثل متوسط حجم الحبيبات وتوزيع أحجام الحبيبات وإحتمالات التجمع والشحنة السطحية) يمكن أن تتغير في مختلف الأنظمة البيولوجية تبعا لمكونات النظام وظروف الديناميكية الحرارية Thermodynamic conditions وهذا يعني من الناحية العملية أن خواص حبيبات النانو قد تتغير بالمعاملات الصناعية للغذاء المضافة اليه.

وبالرغم من وجود طرق تحليلية عديدة لتمييز حبيبات النانو الا أنه لا توجد حتي الآن طرق لتمييز والكشف عن تواجد حبيبات النانو في الأغذية. لذلك فان استحداث طرق مناسبة للكشف عن وتمييز حبيبات النانو في الأغذية يعتبر خطوة أساسية في دراسات التعرف علي مخاطر تواجد حبيبات النانو في الأغذية. ومن الهام أن تكون هذه الطرق ميسرة للاستخدام الروتيني وهو ما يمثل تحديا كبيرا للباحثين. وقد يكون من الملائم مرحليا اجراء تقييم مبدئي لتواجد حبيبات النانو in vitro علي أن تجري لاحقا دراسات معملية موسعة للعينات المشتبه فيها.

٤-٢ صعوبة تحديد وحدة قياس السمية Dose matrics

فحتي الآن لا يوجد إتفاق علي جرعة محددة من حبيبات النانو التي يمكن أن توصف السمية المحتملة. فاتخاذ الوزن كوحدة للقياس يبدو غير كافٍ لتقييم المخاطر ومن ناحية أخري فان حجم الحبيبات لا يمكن اتخاذه أساسا لوحدة قياس السمية كذلك فان الحجم الكلي لمسطح الحبيبات قد يدخل في الاعتبار. أيضا يجب الأخذ في الاعتبار التوزيع النسبي لأحجام الحبيبات في العينة وعدد الحبيبات من كل حجم. بمعني آخر أنه لا يوجد اتفاق حاليا حول وحدة قياس

سمية حبيبات النانو. لذلك من الأفضل تقييم كل حالة علي حدة وأن يتم التقييم علي أساس وحدات قياس مختلفة وهو ما أوصت به دراسات متعددة في هذا المجال من ضرورة تقييم وتمييز مخاطر حبيبات النانو من عدة زوايا لتعطي صورة متكاملة ما أمكن. ومن الأهمية حاليا الاتفاق علي وحدة قياس السمية عند تقييم مخاطر حبيبات النانو.

٤-٣ تقييم تعرض المستهلك لحبيبات النانو المهندسة

عرفت منظمتي الفاو/الصحة العالمية تقييم التعرض Exposure assessment بأنه التقييم الوصفي/الكمي للمأخوذ من العوامل البيولوجية أو الكيماوية أو الطبيعية عن طريق الغذاء بالإضافة الي التعرض لها من مصادر أخري إن وجدت. ومن الطبيعي الا يختلف تقييم التعرض لحبيبات النانو المهندسة عن تقييم التعرض للمركبات التقليدية غير أن هناك بعض الأمور التي يجب أن تؤخذ في الاعتبار عند تقييم التعرض لحبيبات النانو في الغذاء منها:

١-٣ الكشف عن حبيبات النانو المهندسة في الغذاء. فكما سبق أن ذكرنا فان الطرق التحليلية المتاحة تجعل الكشف عن تواجد حبيبات النانو في الغذاء علي درجة عالية من الصعوبة. ويجب أن يوجه إهتمام خاص لأنظمة التوصيل النانو المحملة بالمكونات الغذائية الفعالة اذ يجب تقدير المواد المحملة والموجودة منها علي صورة حرة في الغذاء عند تقييم الاتاحة الحيوية لها. وتواجد حبيبات النانو في الغذاء قد يزيد من الاتاحة الحيوية لمكونات أخري قد تكون ضارة، فعلي سبيل المثال فقد تساعد حبيبات النانو التي تحمل أسطحا شحنة علي زيادة الإتاحة الحيوية لبعض السموم وهو ما يعني الأخذ في الاعتبار التأثيرات غير المباشرة لحبيبات النانو عند تقييم التعرض لها.

٣-٢ بيانات الاستهلاك consumption data. فحاليا توجد عدة طرق للحصول علي بيانات الاستهلاك وهي كافية في الوقت الحاضر لتقييم المخاطر بصفة عامة غير أن هذه الطرق تفتقر الي وجود بنود خاصة بالأسئلة عن الأغذية المحتوية علي حبيبات نانو وهو ما يجب ادخاله في أساليب الحصول علي بيانات الاستهلاك.

٣-٣ تقييم التعرض. تتم الخطوة الأخيرة في تقييم التعرض بالتكامل بين بيانات الاستهلاك وكمية حبيبات النانو الموجودة في الغذاء وفي النهاية تتم مقارنة تعرض المستهلك ببيانات السمية القياسية للمكون (المأخوذ اليومي المتحمل علي سبيل المثال tolerable daily intake) أو الي القيم التغذوية القياسية (الجرعة اليومية الموصي بها Recommended daily intake) وكلا نوعي القيم القياسية غير متاحة في حالة حبيبات النانو.

٤-٤ الحركية السمية Toxicokinetics

تشير النتائج المتاحة حاليا الي أن حجم الحبيبات يؤثر في الإمتصاص والتمثيل الغذائي وتوزيع وإفراز حبيبات النانو في الجسم الا أن المعلومات عن كل هذه النواحي مازالت قاصرة بدرجة كبيرة كما أنه لا توجد معلومات كافية عن العلاقة بين الخواص الكيموطبيعية لحبيبات النانو وسلوكها في الجسم.

٤-١ الامتصاص المعوي Gastrointestinal absorption

سبق أن تعرضنا في الباب الثالث الي الامتصاص المعوي لحبيبات النانو من زاوية الاتاحة الحيوية أما بالنسبة لقيم المخاطر فمن الهام التعرف علي الحواجز الطبيعية التي تعيق امتصاص حبيبات النانو من القناة الهضمية. أول هذه الحواجز هو طبقة المخاط المبطنة لجدران الأمعاء وهناك من الدلائل ما

يشير الي أن نفاذية حبيبات النانو خلال هذه الطبقة يزيد مع صغر حجم الحبيبات وأن الحبيبات التي تحمل شحنة سالبة أسرع في الانتقال الي الأسطح العلوية للخلايا الطلائية. تمثل الخلايا الطلائية لجدران الأمعاء ثاني الحواجز الطبيعية في القناة الهضمية. وهناك من الدلائل علي أن بعض البوليمرات الخاصة لها القدرة عل زيادة نفاذية المكونات في المسارات بين الخلايا والتي تعتبر مانعا طبيعيا محكما ضد تسرب المكونات عن طريقها. ومن ثم يجب أن يؤخذ في الاعتبار إحتمال تسرب حبيبات النانو الي الدم من خلال هذا المسار. ويمثل الانتقال عبر الخلايا أحد المسارات الطبيعية لامتصاص المكونات من القناة الهضمية ويؤثر حجم حبيبات النانو وخواصها السطحية في الانتقال عبر هذا المسار.

٢-٤ التوزيع والتمثيل الغذائي والافراز

اذا مرت حبيبات النانو من جدران القناة الهضمية لتصل الي الدم فانها قد تتفاعل مع مكوناته المختلفة تبعا لتركيبها وخواصها السطحية. وقد يؤثر هذا التفاعل علي توزيع حبيبات النانو في الجسم بدرجة كبيرة. فعلي سبيل المثال فان حبيبات النانو ذات الاسطح غير القطبية تمر الي الكبد والطحال لتستقر فيهما. وقد وجد أن حبيبات النانو الصغيرة جدا لها توزيع متنوع بدرجة كبيرة في الجسم بعكس الحبيبات الكبيرة ذات التوزيع المحدود. وهناك ضرورة ملحة لتقييم مخاطر مرور بعض حبيبات النانو من الحواجز الطبيعية في الجسم مثل الحواجز الخلوية وحاجز الدم/المخ والمشيمة وحاجز الدم/اللبن. فهناك من الدلائل علي أن الأغشية الخلوية قد لا تمثل عائقا لمرور حبيبات النانو فقد أمكن تمييز بعضها داخل كرات الدم الحمراء. ونفاذية حاجز الدم/المخ محدودة جدا وتقتصر علي الجزيئات التي اما أن تكون محبة للدهون أو ذات الوزن الجزيئي

الصغير (أقل من ٥٠٠ دالتون) الا أنه توجد أدلة علي نفاذية بعض حبيبات النانو لهذا الحاجز أما نفاذية حبيبات النانو للمشيمة أو حاجز الدم/اللبن فلا توجد معلومات كافية عنهما.

٤-٣ أهمية الحركية لتقييم مخاطر حبيبات النانو

بالرغم من وجود بعض النتائج عن حركية حبيبات النانو بعد تناولها عن طريق الفم الا أن هذه المعلومات تفتقر الي الدراسات الأساسية حول إمتصاص وتوزيع وتمثيل وافراز حبيبات النانو وذلك لمعرفة العوامل الدافعة وميكانيكيات هذه العمليات وهي معلومات أساسية لتقييم المخاطر والارشاد عن الأنسجة المستهدفة والتي قد تعمل حبيبات النانو فيها كسموم.

٤-٥ سمية حبيبات النانو

أشارت نتائج عديد من الدراسات أن سمية حبيبات النانو قد تختلف عن المواد الكيماوية التقليدية المماثلة لها. وبالرغم من أهمية هذه المعلومات الا أنه يجب أن يؤخذ في الاعتبار أنها عادة ما تختص بنوع وحجم واحد من حبيبات النانو بالاضافة الي أن حيوانات التجارب تتعرض لتركيزات عالية منها وتحت ظروف غير عادية مما يحد من أهمية النتائج المتحصل عليها في تقييم المخاطر فمن غير المنطقي تطبيق النتائج المأخوذة علي أحد أنواع أو أحجام حبيبات النانو علي أنواع أو أحجام أخري كما أنه لا توجد سوي نتائج محدودة جدا حول ماهية التأثير المتوقع باستخدام نوع واحد من حبيبات النانو.

وبصفة عامة فقد أظهرت النتائج المعملية In vitro أن كثيرا من حبيبات النانو تتسبب في انطلاق مركبات الأكسجين النشطة في الجسم محدثة جهد الأكسدة وما يتبعه من التهابات من تفاعلها مع النظام reticulo-endothelial في

الجسم. ومن ناحية أخري فان الدراسات المحدودة أظهرت إمكانية حدوث السمية الحادة في التركيزات العالية من حبيبات النانووأن ذلك يتوقف علي حجم الحبيبات وتركيبها الكيماوي والتركيب السطحي لها. أما بالنسبة للتعرض لحبيبات النانو لمدة طويلة فقد أشارت النتائج في هذا المجال الي إمكانية حدوث تغيرات داخلية مختلفة في بعض أنظمة الجسم مثل النظام المناعي والالتهابي، القلب والأوعية الدموية وأن التأثير علي النظام الالتهابي يشمل جهد الأكسدة و/أو تنشيط مبدئات الالتهابات proinflamatory (السيتوكينات cytokines) في الرئتين والكبد والقلب والمخ. ومن المحتمل أن تكون لحبيبات النانو سمية جينية أو منشطة للسرطانات غير أنه لا توجد أي بيانات عن هذه التأثيرات المحتملة. ولذلك فان المجال يحتاج الي مزيد من الدراسات حول سمية حبيبات النانو من كافة النواحي. وفي ضوء ما ستسفر عنه هذه الدراسات يجب وضع قيم إسترشادية لسلامة وصحة الانسان مثل الجرعة المقبولة أو المتحملة من الحبيبات Acceptable or tolerable intake.

خلاصة القول فان قصور المعلومات المتاحة عن سمية حبيبات النانو تحد من فعالية تقييم المخاطر لهذه الحبيبات غير أنه من المتوقع أن تشهد السنوات القليلة القادمة مزيدا من المعرفة التي قد تقلل من صعوبات تقييم مخاطر حبيبات النانو حاليا.