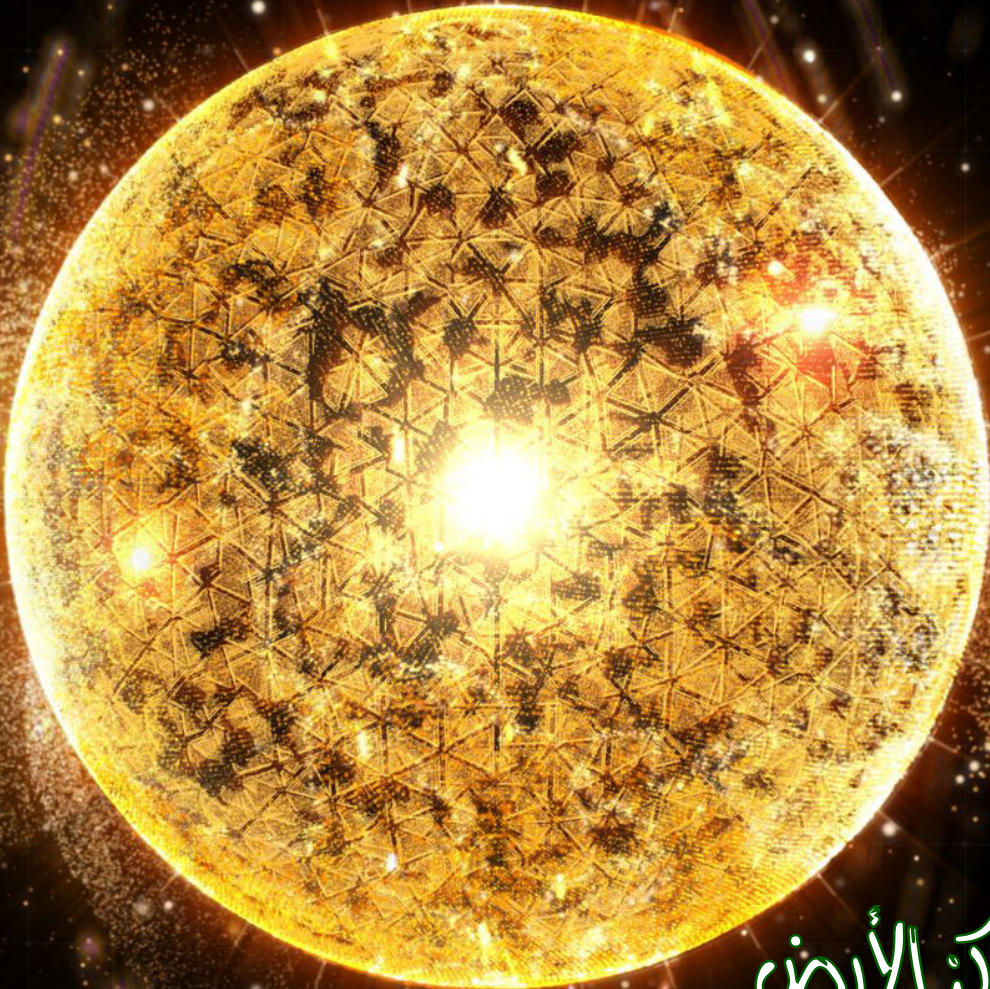


عالم الذرة

الطباعة ثلاثية الأبعاد



عمر مدار الأرض

أصغر من عمر سطحها

هندسة الجسيمات النانوية

لايصال الدواء



AECS

عالم الذرة

AECS

مجلة دورية تصدر عن هيئة الطاقة الذرية السورية. وتهدف إلى الإسهام في نشر المعرفة العلمية باللغة العربية في الميدانين الذري والنووي وفي كل ما يتعلق بهما من تطبيقات.

المدير المسؤول

أ. د. إبراهيم عثمان

المدير العام لهيئة الطاقة الذرية السورية

AECS

AECS

رئيس هيئة التحرير

أ. د. ناديا حيدر

أعضاء هيئة التحرير

أ. د. فواز كرد علي

أ. د. محفوظ البشير

أ. د. عادل باكير

أ. د. عبد الحميد الرئيس

أ. د. جمال أصفهاني

أ. د. محمد طلاس

أ. د. محمد بهاء الصوص

أ. د. محمد سوقية

أ. د. إياد غانم

أ. د. عبد الغفار اللافي

أ. د. سامي حداد

AECS

AECS

AECS

AECS

الإخراج الفني

بشار مسعود

راما الكاج

أمل قيروط

التدقيق اللغوي

ريما سنديان - هدى كركوتلي

التنضيد والأرشفة

غضران ناووز - هنادي كنفاني

AECS

AECS

المحتويات



عمر مركز الأرض
أصغر من عمر سطحها

47

54 أخبار علمية

إطلاق خدمة "تشفير طرف إلى طرف"
للمهاجمات المسموعة والمرئية
عبر التطبيق "مسنجر" من شركة فيسبوك

54

أعشاب ضارة ذات رائحة كريهة
يمكن أن تنتج وقوداً حيوياً أنظف للطائرات

55

الشمس الاصطناعية في الصين
تسجل رقماً قياسياً عالمياً جديداً في الاندماج
النووي

57

اكتشاف جديد في الحمض النووي
الريبي يؤدي إلى إنتاج محاصيل بطاطا
وأرز تنمو بزيادة 50 في المئة

60

براءات اختراع مسجلة في سورية
ومعدة من قبل باحثين في الهيئة

62

مقالات



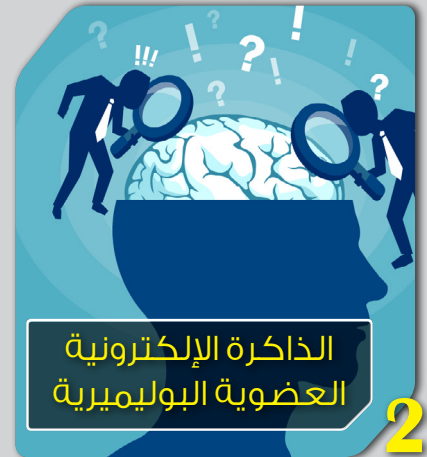
التطورات الحديثة لتطبيقات
البوليمير الحيوي الطبيعي
الكتنوزان في الممارسات
الزراعية

8



الطباعة ثلاثية الأبعاد

23



الذاكرة الإلكترونية
العضوية البوليميرية

29



هندسة الجسيمات النانوية
لإيصال الدواء

40

قواعد النشر في مجلة عالم الذرة

شروط النشر

- ◀ أن يتوجه المقال لأكبر شريحة علمية ولم يسبق نشره أو إرساله للنشر في مجلة أخرى.
- ◀ أن يكتب المقال بمنهجية علمية صحيحة وبلغة سليمة.

شروط الإعداد

- ◀ يفضل أن يكون عنوان المقال مقتضباً ومعبراً عن المضمون.
- ◀ يلي ذلك ملخص، لا يتجاوز مئة وخمسين كلمة، باللغة العربية وملخص باللغة الإنجليزية، على صفتين منفصلتين.
- ◀ يتضمن كل منهما عنوان المقال، واسم مقدم العمل وصفته العلمية، والمؤسسة العلمية التي يعمل بها وعنوان المراسلة باللغتين العربية والأجنبية tapo@aec.org.sy. يتبع كل ملخص الكلمات المفتاحية على الصفحة نفسها.
- ◀ الجدول: يكتب عنوان الجدول فوق الجدول ويعطى رقماً متسلسلاً. تشرح الرموز الواردة في الجدول إذا لم يرد ذلك في متن النص.
- ◀ الأشكال: يكتب عنوان الشكل تحت الشكل ويعطى رقماً متسلسلاً. تشرح الرموز الواردة في الشكل إذا لم يرد ذلك في متن النص. وتوضع الأشكال في ملف منفصل وتوضع التسميات في الشكل باللغة العربية أو توضع تحت الشكل ترجمة باللغة العربية للكلمات في الشكل.
- ◀ يُشار إلى الحواشي، إن وجدت، بإشارات دالة (*، .، x...) في الصفحة ذاتها.
- ◀ المراجع: توضع المراجع إذا كانت موجودة آخر النص وترتب أبجدياً. ويتم إعدادها في قائمة على النحو التالي:

الأوراق العلمية:

- ▶ Lodhi MA, Ye GN, Weeden NF et al. (1994). A simple and efficient method for DNA extraction from grapevine cultivars and Vitis species. Plant Molecular Biology Reporter 12(1): 6-13.

الكتب:

- ▶ Al-Khayri JM, Jain SM, Johnson DV (2015). Date Palm Genetic Resources and Utilization, vol 2. Asia and Europe. Dordrecht: Springer.

فصول في كتب:

- ▶ Haider N (2011). Identification of plant species using traditional and molecular-based methods, pp. 1-62. In: Wild Plants: Identification, Uses and Conservation (ed. Davis RE). Nova Science Publishers, Inc., New York, USA.

أطروحات:

- ▶ Haider N (2003). Development and Use of Universal Primers in Plants. PhD thesis. The University of Reading, Reading, UK.

مراجع الانترنت:

- ▶ Beauchamp FJC (2016). The history and origin of coffee. Available at: www.fjcollao.com/documents/HistoryOfCoffee.pdf (accessed 25 June 2019).

◀ تراعى في كتابة النص على الحاسوب إرشادات التنضيد حول علامات الترقيم والحالات الأخرى الواردة في المجلة والموجودة على موقع مجلة عالم الذرة.

◀ يذكر مرة واحدة في المقال، المقابل الأجنبي للمصطلح العربي.

◀ تستخدم وحدات قياس الجملة الدولية (SI) في القياس.

- ◀ عدم تأطير الأشكال والخطوط البيانية بأي إطار.
- ◀ كتابة الرموز الأجنبية على شكل نص أو إدراج الرموز المعقدة والمعادلات على شكل صورة. وعدم استعمال محرر المعادلات.
- ◀ استخراج وتصدير المنحنيات البيانية على شكل صور بدقة عالية (أكبر من 300dpi).
- ◀ إرفاق الصور والأشكال البيانية المدرجة في النص بصيغة صورة بدقة عالية (أكبر من 300dpi). كملفات منفصلة إضافة لوجودها في سياق النص.
- ◀ اختيار الورق بقياس 29.7×21 سم (A4). واختيار نوع الخط Simplified Arabic وحجم 14 للنص العربي. وخط نوع Times New Roman وحجم 12 للنص الأجنبي. واختيار فراغ مضاعف بين السطور.
- ◀ يجب ألا يتجاوز عدد صفحات المقال 20 صفحة.

شروط الإيداع والتحكيم

- ◀ تقدم نسخة ورقية من مادة النشر منضدة بالحاسوب ومطبوعة على ورق بقياس A4. يرافق ذلك نسخة إلكترونية بصيغة Word. (ويفضل إرسال نسخة إلكترونية إضافية بصيغة pdf).
- ◀ يحق لإدارة المجلة إعادة البحث لتحقيق المنهجية العلمية وشروط النشر.
- ◀ تخضع مادة النشر للتحكيم ولا ترد إلى أصحابها نشرت أم لم تنشر. و تلتزم هيئة التحرير بإشعار معد المقال بنتيجة التحكيم و يعطى الباحث مدة شهر كحد أقصى للأخذ بملاحظات المحكمين أو الرد على ما تطلبه رئاسة التحرير وتسليم المقال بشكله النهائي للنشر.

إرشادات منشودة إلى المشاركين في المجلة

حول علامات الترقيم وبعض الحالات الأخرى عند كتابة النصوص باستخدام الحاسوب

بقلم المرحوم أ.د. زياد القطب

تساعد علامات الترقيم الكاتب على تقسيم كلامه وترتيبه وتوضيح مقصوده، كما تساعد القارئ على فهم ما يقرأ ومعرفة أماكن التوقف وأداء النبرة المناسبة.

غير أن المقصود من استعراض علامات الترقيم هنا هو كيفية توظيفها وتلافي الأخطاء عندما نستخدم الحاسوب في كتابة النصوص، الأمر الذي يواجه المنضد لدى التحكم في مكان الفراغات بين الكلمات وعلامات الترقيم، ولطالما انعكس ذلك سلباً على كادر التنضيد في مكتب الترجمة بالهيئة عند عدم مراعاة الإرشادات المدرجة أدناه.

لذا فإننا نهيب بالعاملين في أقسام الهيئة ودوائرها ومكاتبها المختلفة التقيد بمضمون هذا التعميم تلافياً لكل إشكال قد يواجه كادر التنضيد. وسنورد في طيه مثلاً عن كل واحدة من علامات الترقيم لبيان القاعدة التي ينبغي اتباعها، ذاكرين في هذا السياق الإشكالية التي قد تحصل في حالة عدم التقيد بالقواعد المدونة أدناه. فمثلاً عندما نترك فراغاً بين القوس والكلمة التي تلي قوس البداية أو تسبق قوس النهاية في المثال التالي: "في الواقع قلبت المعالجة بسلفيد الهدروجين الفئران التي تجري عليها تجاربنا من حيوانات ذات دم حار إلى حيوانات ذات دم بارد [3m]"، يتضح الإرباك الذي قد يقع فيه القارئ نتيجة ترك فراغ مفروض من الحاسوب بين الرقم 3 والقوس النهائي دونما قصد من جانب المنضد.

وبهدف تجنب مثل هذه الحالات وتوخيماً من الإخراج المتناسق والموحد فإننا نأمل التقيد بالملاحظات التالية المتعلقة بقواعد كتابة العلامات المدرجة أدناه:

البند الأول

علامات الترقيم: النقطة (.)، الفاصلة (،)، الفاصلة المنقوطة (:)، النقطتان (:)، علامة الاستفهام (?)، علامة التعجب (!)، النقاط المتتالية (...)، علامة الاعتراض (...-)، علامة الاقتباس ("...")، الواصلة الصغيرة (-)، الأقواس ({}، []، ())، الشرطة المائلة (/).

وذلك مع التنبيه إلى ترك فراغ واحد بعد علامة الترقيم وليس قبلها، كما هو مبين أدناه:

النقطة (.): توضع في نهاية الجملة لتدل على تمام المعنى، وفي نهاية الكلام.

- مثال: صدر اليوم العدد الجديد من مجلة عالم الخزة. نأمل أن يحوز هذا العدد رضاء القارئ الكريم.

الفاصلة (،): توضع بين الجمل القصيرة المتعاطفة أو المتصلة المعنى.

- مثال: ولذلك فإن علماء المناعة لديهم اهتمام شديد، ليس فقط باكتشافات ماهية الجزيئات المشتركة في هذه الحوارات، ولكن أيضاً بكيفية تفاعلها لتتمكن من اتخاذ مثل تلك القرارات الحاسمة.

الفاصلة المنقوطة (:): توضع بين الجمل الطويلة المتصلة المعنى، أو بين جملتين تكون إحداهما سبباً في الأخرى.

- مثال: من أهدافنا نشر المعرفة العلمية؛ بمعنى إتاحتها لجميع الراغبين بالمعرفة.

النقطتان (:): توضعان بعد كلمة قال أو ما في معناها وعند الشرح والتفسير دون ترك فراغ قبلها.

- مثال: الهدفان المهمان هما: إنتاج عمل مهم وإيصاله إلى القارئ الكريم.

علامة الاستفهام (?): توضع بعد الجملة الاستفهامية مباشرة دون ترك فراغ قبلها.

- مثال: أين ذهبت المادة المضادة بكاملها؟

علامة التعجب (!): توضع بعد التّعجب أو النداء أو ما يدل على الفرح أو الألم أيضاً دون ترك فراغ قبلها.

- مثال: كيف كان الكون بعد الانفجار العظيم!

النقاط المتتالية (...): تدل على أن الكلام فيه حذف أو أنه لم ينته ويترك فراغ قبلها وبعدها.

- مثال: يرى هولستون وأبادوراي أن في بعض الأماكن، لا تكون الأمة وسيطاً ناجحاً للمواطنة... وأن مشروع المجتمع القومي للمواطنين، خاصة الليبرالي... يبدو، أكثر فأكثر، كأنه استنفد أغراضه وفقد مصداقيته.

- علامة الاعتراض (-...-):** وهي خطآن صغيران توضع بينهما جملة معترضة داخله بين شيئين متلازمين من الجملة كالفعل والفاعل أو الفعل والمفعول به، أو المبتدأ والخبر، أو المتعاطفين.
- مثال: إن المؤتمر الدولي -الجيل الرابع من المفاعلات- مبادرة مهمة.
- علامة الاقتباس ("..."):** وهي قوسان صغيران يوضع بينهما ما ننقله من كلام بنصه دون تغيير.
- مثال: أنجز الباحث مقالاً بعنوان "سوق اليورانيوم ومصادره" وهو في طريقه إلى النشر.
- الواصلة الصغيرة (-):** توضع في أول الجملة وبأول السطر للدلالة على تغير المتكلم اختصاراً لكلمة (قال أو أجب) أو للإشارة إلى بند جديد. ونشير هنا إلى ضرورة وضع فراغ بعدها.
- مثال: - المقدمة.
- وتوضع للوصل بين كلمتين أو للوصل بين رقمين وذلك بدون ترك فراغ قبلها أو بعدها.
- مثال: مركبات عضوية-معنوية.
- وكذلك توضع بين رقمين.
- مثال: انظر المراجع 154-161.
- الأقواس {...} [...] (...):** عند كتابة أي من هذه الأقواس يُترك فراغ قبلها وآخر بعدها وليس بينها وبين ما بداخلها.
- مثال على واحد من هذه الأقواس: يجب أن يشمل مفهوم الإنتاجية كلاً من القيمة (الأسعار) والكفاءة.
- الشَّرْطَةُ المائِلة (/): لا يُترك فراغ قبلها ولا بعدها.
- مثال: نيسان/أبريل.

البند الثاني (حالات أخرى):

- الأرقام:** يجب التقيد بكتابة الأرقام العربية (0, 1, 2, ... 9) وليس الهندية (٠, ١, ٢, ... ٩) وعدم ترك فراغ بين الرقم والفاصلة في حين يترك الفراغ بالضرورة بعد الفاصلة والرقم الذي يليها.
- الأرقام التي نكتبها داخل الأقواس لا يترك فراغ قبل الأول منها ولا بعد الأخير منها (مثال: [1, 4, 7]، أما إذا كانت متتابعة فتكتب على النحو التالي [1-5]).
- الكلمات الأجنبية في النص العربي:** داخل النص العربي لا تبدأ الكلمات الأجنبية بحرف كبير إلا إذا كانت اسم علم أو بلد (مثال: Syria, superconductivity). ولطالما خلقت لنا هذه الإشكالية متاعب جمّة.
- الكلمات المفتاحية:** نضع الفاصلة بين الكلمة المفتاحية والتي تليها، وإذا كانت الكلمات المفتاحية مترجمة إلى الإنكليزية أو الفرنسية فنبدؤها بالحروف الصغيرة إلا إذا كانت الكلمة اسم علم أو بلد عندها نكتب الحرف الأول من الكلمة كبيراً (مثال: Alfred).
- حرفا العطف (و) و (أو):** لا يترك فراغ بعد حرف العطف (و)، مثال: إن التنافسية الاقتصادية هي ضرورة للسوق، وهي أساسية لمنظومات الجيل الرابع، أمّا إذا بدأت الكلمة التالية لحرف العطف (و) بحرف الواو أيضاً فإنه يُفضّل ترك فراغ بين الواو والكلمة التي تليه (مثال: تركت أهلي صباح اليوم وودعتهم في المطار).
- أما في حالة الأسماء، نضع حرف الواو (و) منفصلاً بين اسم المؤلف وبين الاسم الذي يليه (مثال: طريف شرجي و زهير أيوبي و فاطر محمد).
- في حالة (أو)، ينبغي ترك فراغ بعدها (مثال: حُدِّدَت المسائل المتوقع حلّها سواء على المستوى الثقافي أو التنظيمي أو الإداري).
- النسبة المئوية (%):** نجعلها دائماً على يسار الرقم وبدون فراغ بينها وبين الرقم (مثال: 40%).
- الوحدات (ميغاهرتز، سم، كيلوواط، ...):** إذا كانت بالعربية نضعها على يسار الرقم وإذا كانت بالإنكليزية نضعها على يمين الرقم ونترك فراغاً بينها وبين الرقم ونذكر مثلاً: (15 كيلوغراماً (15 kg)).
- أشهر السنة الميلادية:** نكتبها كما يلي دون ترك فراغات بينها وبين الشرطة المائلة:
- كانون الثاني/يناير، شباط/فبراير، آذار/مارس، نيسان/أبريل، أيار/مايو، حزيران/يونيو، تموز/يوليو، آب/أغسطس، أيلول/سبتمبر، تشرين الأول/أكتوبر، تشرين الثاني/نوفمبر، كانون الأول/ديسمبر.

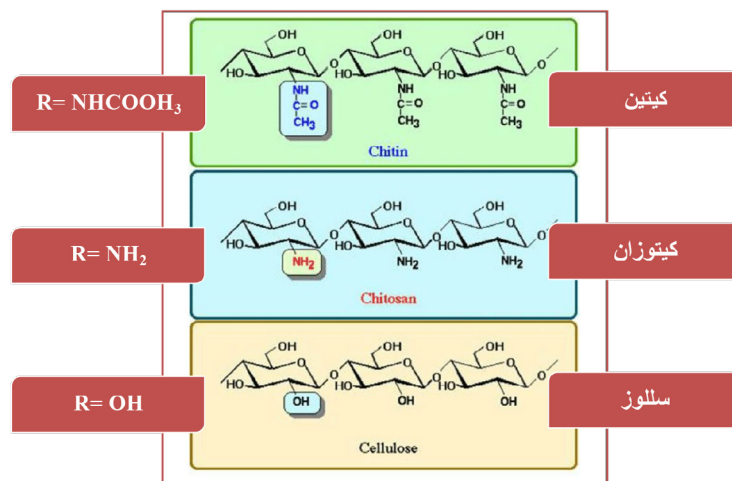
التطورات الحديثة لتطبيقات البوليمير الحيوي الطبيعي الكيتوزان في الممارسات الزراعية

ربما لم تحظ مادة طبيعية، عموماً، بأهمية علمية وتطبيقية مثلما حظي به بوليمير الكيتوزان الذي يتمتع بخصائص ومواصفات جعلته يدخل في مجالات عديدة، تنوعت بين الاستخدامات الطبية والصيدلانية والصناعية والبيئية والزراعية. نسلط في هذه المقالة الضوء على أهم تطبيقات هذا البوليمير الحيوي الطبيعي في المجالات المختلفة مع التركيز على توظيفه في الممارسات الزراعية لدوره المهم في زيادة الإنتاج الزراعي وتنميته وتحسين جودة الغذاء وحفظه.

الكلمات المفتاحية: بوليميرات طبيعية، الكيتوزان، تطبيقات، زراعة، تشجيع.

مقدمة

يعد الكيتوزان (Chitosan (CHT, C₁₁H₁₇O₇N₂) "1,4)-2-Amino-2-desoxy-beta-D-glucan" بوليميراً طبيعياً آمناً قابلاً للتحلل الحيوي وصديقاً للبيئة ورخيص الثمن، يتم الحصول عليه بسهولة من الكيتين المكون الرئيس للهيكل الخارجي لمفصليات الأرجل والقواقع وجدر الخلايا الفطرية، كما أنه يشكل مصدر الكربون المتجدد الثاني بعد المواد اللغوسلوزية. يصنف الكيتين بوصفه ثاني أكثر السكريات المتعددة وفرة في الطبيعة بعد السللوز الموجود في النباتات. يتشابه الكيتين والسللوز بخصائص "كيميائية-حيوية" كتلك الموجودة في الجدر الخلوية للنباتات التي تشمل سلاسل مستقيمة طويلة من السكريات المتعددة ذات شحنة متعادلة كهربائياً. يوفر الكيتين ثباتية ميكانيكية وفيزيائية وبنوية؛ إذ يحتوي في تركيبه على سكريات أمينية ذات سلاسل طويلة مستقيمة تتألف من وحدات (N-أسيتيل غلوكوزامين)، في حين يتألف السللوز من عدة مئات أو آلاف من وحدات الغلوكوز المرتبطة مع بعضها في سلاسل مستقيمة طويلة بواسطة رابطة من النوع بيتا β -linkage (انظر الشكل 1).



الشكل 1. التركيب البنوي لكل من الكيتين والكيتوزان والسللوز.

يستخلص الكيتوزان من الكيتين Chitin، المكون الرئيس لأصداف القواقع البحرية والقشريات كالقريدس وغيرها، بعد خضوعه لبعض العمليات الكيميائية البسيطة مما يعطيه ميزات مختلفة عن الألياف الأخرى في بعض الخصائص.

يمكن الحصول على الكيتوزان بطحن المواد التي تحتوي على الكيتين بعد تنظيفها، ومن ثم إخضاعها إلى عمليات كيميائية بسيطة غير مكلفة، حيث يتم انتزاع الكالسيوم decalcification والبروتينات deproteinization، ومن ثم مجموعة الإستيل deacetylation كما هو مبين في الشكل 2.

يمتلك الكيتوزان، إضافة إلى تكلفة إنتاجه المنخفضة وعدم سميته، خصائص بيولوجية مرغوبة مثل التحلل الحيوي وعدم التسبب بردود فعل تحسسية جعلته يدخل في العديد من الصناعات المختلفة إذ يستعمل في مستحضرات التجميل وفي الصناعات الدوائية والغذائية وفي الطب والبيئة إضافة إلى استعمالاته في تطبيقات زراعية مختلفة (انظر الشكل 3).

التطبيقات الزراعية

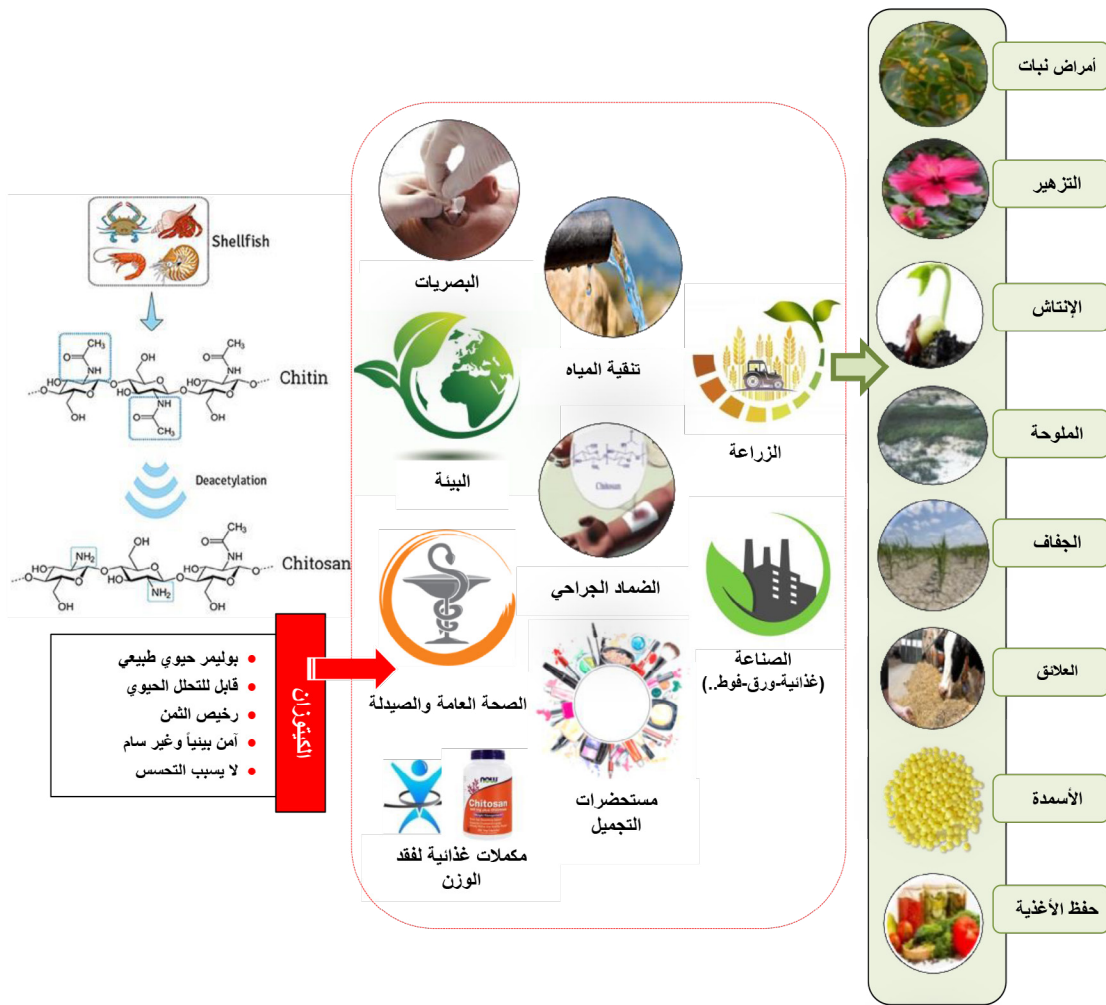
يستخدم الكيتوزان لمكافحة مسببات الأمراض النباتية قبل الحصاد وبعده، حيث يؤدي دوراً مهماً في تنشيط مسارات إشارات الدفاع في النباتات ويعمل مضاداً للفطريات والبكتيريا والفيروسات، كما يساهم في الحفاظ على جودة المنتجات الغذائية ومنع تلفها وإطالة فترة تخزينها. يعد الكيتوزان من محفزات النمو ويعمل على تنشيط تعبير بعض المورثات ذات الصلة بتحمل النباتات لعوامل الإجهادات الحيوية واللاحيوية، ويساهم في تنشيط العديد من العمليات الفيزيولوجية في النبات ويحث على تشكيل المستقبلات الثانوية كالبوليفينولات والفلافونيدات واللجنين والفيتوالكسيناز. يزيد الكيتوزان من تركيز السكريات والبرولين، وينشط العديد من الإنزيمات التي تحفز أنواع مختلفة من الأنشطة الفيزيولوجية للنبات التي تساهم في زيادة معدل إنبات البذور ونمو المجموع الخضري والجذري والشمري وتحسين امتصاص العناصر الغذائية وكفاءة استعمال الماء وعملية الاصطناع الضوئي وغيرها. وفيما يلي أهم استعمالات الكيتوزان في الزراعة:

مكافحة الأمراض النباتية

يتمتع الكيتوزان بنشاط مضاد للآفات النباتية كمسببات الأمراض الفطرية مثل *Alternaria kikuchiana* و *Physalospora piricola* و *Botrytis cinerea* و *Rhizoctonia solani* و *Fusarium oxysporum* و *Fusarium eumartii* و *Colletotrichum spp.* والبكتيرية مثل *Xanthomonas carotovora* كما هو مبين في الجدول 1، إضافة إلى الأمراض الفيروسية والنيماتودا.



الشكل 2. الخطوات العامة المتبعة في تحضير الكيتوزان.

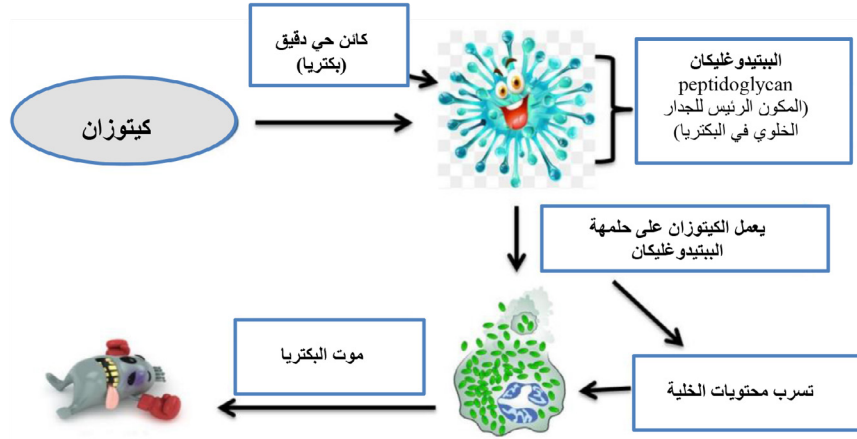


الشكل 3. التطبيقات المختلفة للكيتوزان.

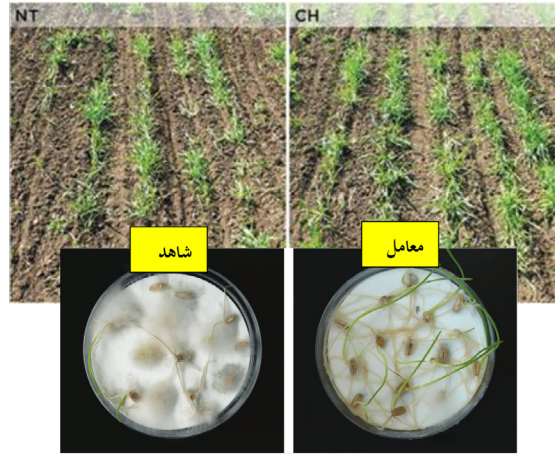
الجدول 1. تأثير الكيتوزان في مكافحة بعض المسببات المرضية لعدد من المحاصيل.

المسبب المرضي	التركيز وطريقة المعاملة	النبات
<i>Phytophthora infestans, Alternaria solani</i>	0.4% (غمم البذور ورش الثمار)	البندورة
<i>Fusarium graminearum</i>	0.1-0.5% (رش بالرذاذ)	القمح
<i>Fusarium solani, Rhizoctonia solani</i>	0.025-0.2% (غمم البذور ورش ورقي)	الفاصولياء
<i>Colletotrichum spp.</i>	0.05-0.1% (رش ورقي)	الخيار
<i>Exobasidium vexans</i>	0.01% (رش ورقي)	الشاي
<i>Heterodera glycines</i>	0.5% (للترية)	فول الصويا
<i>Meloidogyne spp.</i>	0.01% (الري)	البندورة
<i>Fusarium sambucinum</i>	0.5% نقع قبل الزراعة أو 0.1% رش ورقي + المعاملة بـ $CaCl_2$ (1%)	البطاطا

يؤدي الكيتوزان دوراً مهماً في كسر رابطة الببتيدوغليكان peptidoglycan المكون الرئيس للجدر الخلوية للبكتريا، مما يتسبب في انحلالية الخلية، ومن ثم موت العامل الممرض كما في الشكل 4. ويبين الشكل 5 أن معاملة النباتات بالكيتوزان مخبرياً وحقلياً تؤدي إلى خفض معدل إصابتها بالمرمضات النباتية.



الشكل 4. يعمل الكيتوزان على كسر رابطة الببتيدوغليكان (المكون الرئيس للجدار الخلوية للبكتريا)، مما يتسبب في انحلالية الخلية، وبالتالي موت العامل الممرض.



الشكل 5. تؤدي المعاملة بالكيتوزان مخبرياً وحقلياً إلى خفض إصابة القمح بفطر الفوزاريوم *F. graminearum* المسبب لمرض عضن الجذور.

تأمين جودة المنتجات الغذائية

يسهم الكيتوزان في الحفاظ على جودة المنتجات الغذائية ومنع تلفها وإطالة فترة تخزينها والحفاظ على نضارتها. وبيّنت إحدى الدراسات أن غمر أو تغطية ثمار بعض أنواع الفاكهة بالكيتوزان (1-1.5%) يمنع نمو العديد من مسببات المرضية التي تصيبها أثناء فترة التخزين من خلال ارتباط الكيتوزان الذي يحمل شحنات موجبة مع الشحنات السالبة للأغشية الخلوية للميكروبات مما يسبب في تثبيط عملها. إضافة إلى ذلك يعمل الكيتوزان كحاجز يفيد في التقليل من فقد الماء، ويمنع التبادل الغازي ويقلل من فقد العناصر الغذائية، كما يحافظ على جودة الثمار أثناء التخزين بالتبريد من خلال زيادة مستويات حمض الصفصاف والإنزيمات المضادة للأكسدة. ومن ناحية أخرى، بين فريق من الباحثين أهمية المخلفات الحيوانية والنباتية كمصدر للكيتين الذي يشكل المادة الأولية للكيتوزان في إنتاج أغلفة حيوية يمكن استخدامها في تغليف اللحوم الطازجة أو المعدة للتبريد أو التجميد بهدف إطالة مدة حفظها.



الشكل 6. تأثير معاملة ثمار البندورة بالكيتوزان بعد تخزينها بدرجة حرارة 28 م° لمدة 15 يوماً.

تحفيز نمو النباتات

يعد الكيتوزان أداة واحدة لتحفيز أنواع مختلفة من العمليات الفيزيولوجية في النباتات التي تسهم في زيادة معدل إنبات البذور ونمو المجموع الورقي والجذري والثماري وتحسين امتصاص العناصر الغذائية وكفاءة استعمال الماء في تحسين الإنتاجية كماً ونوعاً. ويبين الجدول 2 استجابة بعض المحاصيل الزراعية للكيتوزان في بعض معايير النمو.

الجدول 2. استجابة بعض المحاصيل الزراعية للكيتوزان.

التأثير	النبات
تحسين نسبة إنبات البذور ونمو النبات	الأرضي شوكي
يحسن من محتوى المواد الفينولية (معاملة البذور 0.3-0.5%)	الشعير
زيادة المساحة الورقية وارتفاع النبات	الفلفل الحار
تحفيز النمو الخضري ووجود ثمار الخيار	الخيار
زيادة طول النبات والمساحة الورقية	البن
إنبات متماثل وتحسين نمو النبات	البروكولي الصيني
زيادة نشاط مضادات الأكسدة ومحتوى الفينولات، تحسن إنتاجية المحصول المزروع ضمن ظروف الري الناقص ومن كفاءة استعمال الماء (80 مغ كيتوزان/لتر)	البادنجان
زيادة عدد حبات العنب وتحسين التجذير	العنب
ارتفاع النبات وعدد الأوراق وإنتاج الثمار	البامياء
زيادة الوزن الرطب للدرنات والإنتاج عموماً	البطاطا
زيادة نشاط مضادات الأكسدة والإنزيمات ذات الصلة بدفاع النبات	الدراق
تحسين كفاءة امتصاص المغذيات وتقليل الإجهاد بعنصر الكاديوم	الفجل
زيادة الإنتاج الثمري وإطالة فترة الحفظ (رش ورقي 0.05-0.025%)	الفريز
تحسين الإنتاج ونوعية الثمار ومحتوى الكلوروفيل (100 مغ/لتر)	البندورة
زيادة محتوى الفينولات حتى 9%	الشاي
زيادة الوزن الحيوي للنباتات البافعة، وتحفيز النمو الأولي للساق والجذور وزيادة عرض المسام	البطيخ
تحسين العديد من المؤشرات الفيزيولوجية (اليخضور، الكربوهيدرات، الأزوت والفسفور والبوتاسيوم) والتشريحية (زيادة في سُمك الأوراق)، زيادة في الناقلية المسامية ونشاط التثبيت الضوئي الصافي لثاني أكسيد الكربون CO ₂ تحت الإجهاد المائي إضافة إلى تقليل النتج لتوفير الماء	اللوبياء
تحسين نمو النبات وإنتاجيته إضافة إلى زيادة تراكيز الأزوت والفسفور والبوتاسيوم والكربون وكذلك نسبة البروتينات والسكريات في النباتات المزروعة ضمن ظروف الإجهاد المائي	الفاصولياء
زيادة محتوى النباتات من القلويدات بنسبة 34% والإنتاج البذري بمعدل 125% ومحتوى التريغونيلين Trigonelline بنسبة 18%، إضافة إلى زيادة في محتوى النباتات من الكلوروفيل ونشاط إنزيم نترات ريدكتاز وغير ذلك.	الحلبة
تحفيز النمو النباتي (الوزن الحيوي، الكلوروفيل والإنتاج)، ويعزز النظام المناعي للنبات تجاه المسببات المرضية (رش ورقي وثمري 0.3-0.5%)	الفليفلة
تحسين نمو النبات كماً ونوعاً، معاملة البذور ورش ورقي (0.16-0.04%)	الذرة
زيادة المساحة الورقية والوزن الرطب ومعدل التمثيل الضوئي والناقلية المسامية	الخس
زيادة معدل التمثيل الضوئي والناقلية المسامية وتركيز ثنائي أكسيد الكربون بين الخلايا Ci والوزن الجاف للجذور في ظروف الإجهاد المائي (50 مغ/لتر)	اللفت الزيتي
تحسين ثباتية الغشاء الخلوي ونشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة في الفراس المعرضة إلى إجهاد مائي (100 مغ/لتر)،	التفاح
زيادة في نسبة إنبات البذور وتحسين نمو النبات	الحمص

زيادة تحمل النباتات للإجهادات اللاحيوية

يبين الجدول 3 تأثير الكيتوزان في عدد من المحاصيل الزراعية المعرضة لإجهادات لاهيوية (جفاف- ملوحة- معادن ثقيلة) إضافة إلى معدل وطريقة الإضافة والتأثير.

الجدول 3. تأثير الكيتوزان في عدد من المحاصيل الزراعية المعرضة لإجهادات لاهيوية (جفاف- ملوحة- معادن ثقيلة).

معدل وطريقة الإضافة والتأثير	نوع الإجهاد	الاسم العربي والشائع والعلمي	
1 مغ/لتر، مراكمة المستقلبات التي تسهم في التحمل للجفاف	إجهاد مائي (جفاف)	White clover (<i>Trifolium repens</i>)	البرسيم
رش ورقي (200-400 ميكرو لتر/لتر)، يزيد من المادة الجافة للنبات وإنتاج الزيت العطري		Thyme (<i>Thymus daenensis</i> Celak)	الزعتر
رش ورقي (0.2-0.4 غ/لتر)، يزيد من نمو النباتات		Sweet basil (<i>Ocimum ciliatum</i> and <i>Ocimum basilicum</i>)	الريحان
رش ورقي (1 غ كيتوزان/لتر +0.1% حجم/حجم من حمض اللبني)، مضاد للنتح ويوفر 26-42% من الماء ويحث على إغلاق الثغور		Pepper (<i>Capsicum sp.</i>)	الفليفلة
رش ورقي (100 مغ/لتر)، يخفف من تأثير الجفاف في الدرنات الفتية		Potato (<i>Solanum tuberosum</i> var. Favourite)	البطاطا
معاملة البذور (0.05-0.4%)، يخفف من النشاط الإنزيمي ويحفز النمو ويزيد من التحمل لجهد الأكسدة		Safflower (<i>Carthamus tinctorius</i> L.)	العصفر
رش ورقي (100 مغ/لتر)، يحسن من ثباتية أغشية الأوراق، ويزيد من نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة		Apple (<i>Malus sieversii</i>)	التفاح
رش ورقي (250 مغ/لتر)، يزيد من النمو		Cowpea (<i>Vigna unguiculata</i> L. Walp)	اللوبياء
رش ورقي (200 مغ/لتر)، يزيد من النمو		Common bean (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	الفاصولياء
معاملة البذور، يزيد من محتوى الكلوروفيل والنمو والإنزيمات المضادة للأكسدة		Wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.)	القمح الطري
رش ورقي، يزيد من امتصاص العناصر الغذائية ومحتوى الكلوروفيل وزيادة لتحمل للجفاف		Coffee (<i>Coffea canephora</i> var Robusta)	البن
رش ورقي (100 مغ/لتر)، تعزيز نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة وتراكم السكريات وتحسين كفاءة استعمال الماء		Bentgrass (<i>Agrostis stolonifera</i>)	عشبة المرح
معاملة البذور (40 مغ/لتر)، يزيد من إنتاج الماء الأكسجيني ويحفز من التحمل للجفاف		Rice (<i>Oriza sativa</i> L.)	الرز
يحفز من النمو في الظروف المالحة		<i>Petunia x atkinsiana</i> D. don	بيتونيا هجين
إضافة 0.06% من الأوليفو كيتوزان إلى المحلول المغذي، يحسن من تحمل الملوحة	Wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.)	القمح الطري	
معاملة البذور 0.2% كيتوزان، يزيد من نمو المجموع الخضري والجذور والتحمل للملوحة	Isabgol (<i>Plantago ovate</i> Forsk)	عشبة الأسباغول	
معاملة البذور 0.2%، يزيد من نمو الأوراق وطول الجذور	Ajowan (<i>Carum copticum</i>)	شمر	
رش ورقي، يحسن من النمو	Maize (<i>Zea mays</i>)	الذرة	
معاملة البذور (0.25%)، يزيد من نسبة إنبات البذور	Sunflower (<i>Helianthus annuus</i>)/Safflower (<i>Carthamus tinctorius</i>)	دوار الشمس والعصفر	
معاملة البذور (1 غ/لتر)، يحسن من محتوى الماء في الأوراق والتمثيل الضوئي ويخفف من التأثير السلبي للملوحة	Fenugreek (<i>Trigonella foenum-graecum</i> L.)	الحلبة	
رش ورقي (50-100 مغ/لتر)، يخفف من محتوى الأوراق من الكادميوم بنحو 40% من خلال تعزيز نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة	Edible rape (<i>Brassica rapa</i> L.)	اللفت	

رفع كفاءة استعمال الأسمدة

- تُحمل الأسمدة على بوليمير الكيتوزان مما يساعد في إطلاقها ببطء في الترب التي لا تسمح مسامها بالاحتفاظ بالسماذ. يحمل بوليمير الكيتوزان شحنات موجبة ترتبط كيميائياً بالمغذيات النباتية؛ مما يسهم في التقليل من فقدان الأسمدة المغطاة به، وهذا يساعد على بقاء تحرر العنصر الغذائي وبالتالي تحسين كفاءة استعماله وزيادة إتاحتها للنبات خلال مراحل النمو، ومن ثم تحسين الغلة. كما يستخدم الكيتوزان النانوي Chitosan nanoparticles كوسيط ناقل للمبيدات وللعناصر الغذائية المختلفة، بما فيها الأزوت والفسفور والبوتاسيوم وغيرها، مما يفيد في تعزيز الاستفادة منها.

- يستخدم الكيتوزان في التسميد الحيوي biofertilizer، ويعزز من فعالية الأحياء الدقيقة المنشطة للنمو PGPR، ويعزز امتصاص المغذيات، ويحسن من نمو النباتات ويرفع من تحملها للإجهادات اللاحيوية وله القدرة في الحد من الإصابات الفيروسية النباتية بالتآزر معها.

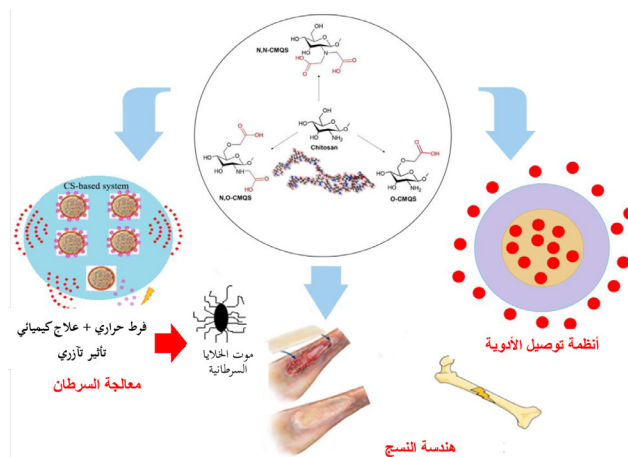
تحسين الإنتاج الحيواني

يضاف الكيتوزان إلى خلطات الأعلاف الحيوانية كمادة بديلة عن المضادات الحيوية لتعزيز الاستفادة من العناصر الغذائية وتحسين نسبة تحويل المواد الغذائية وهضمها، وبالتالي تحسين الأداء الإنتاجي للحيوانات الزراعية. كما يمكن اعتبار الكيتوزان عاملاً طبيعياً واعداً للتخفيف من غاز الميثان المعوي لدى المجترات بهدف تقليل الأثر البيئي لغازات الدفيئة GHGs الناشئة من أنظمة الإنتاج الحيواني.

التطبيقات الأخرى للكيتوزان

الطب والصناعات الدوائية

يستخدم بوليمير الكيتوزان كمادة حيوية في صناعة أدوية بطريقة تجعلها تصل إلى الهدف من دون إحداث أي أضرار جانبية، كما أن تحميل الدواء على هذا البوليمير مفيد في إطلاقه ببطء في الموضوع المستهدف drug delivery systems، إضافة إلى استخداماته في هندسة الأنسجة tissue engineering وفي علم الطب التجديدي regenerative medicine وفي المعالجة السرطانية cancer treatment (كما هو مبين في الشكل 7)، كما يستخدم الكيتوزان ومشتقاته في طب العيون، ويدخل في تركيب العدسات اللاصقة، وكذلك في جراحة الفم وطب الأسنان. من ناحية أخرى، يدخل الكيتوزان في صناعة الضماد الطبي حيث يساعد على التئام الجروح، وله خصائص مفيدة للعناية بالبشرة.



الشكل 7. توظيف بوليمير الكيتوزان كمادة حيوية في الطب والصناعات الدوائية.

تغذية الإنسان

تشبه ألياف الكيتوزان في عملها عمل المغنطيس عموماً إذ تحمل شحنات موجبة تعمل على جذب الشحنات السالبة مثل الدهون في بيئة المعدة؛ فعند تناول الوجبات الغذائية التي تحتوي على الدهون يعمل الكيتوزان على جذب وامتصاص الدهون إليه ويعمل على تغليفها، مما يسهم في الحد من امتصاصها داخل جسم الإنسان، وبالتالي يساعد على تخفيف الوزن وخفض مستوى الكوليسترول في الدم.

البيئة وتنقية المياه

يستخدم الكيتوزان لترشيح المياه وتخليصها من المركبات السامة كالرصاص والنحاس والكاميوم عن طريق تشكيل معقدات بين المجموعة الأمينية وأيونات المعادن الثقيلة، كما يعد مادة امتصاص حيوية للنيوكليدات المشعة في المحاليل المائية ضمن البيئة الحمضية. من ناحية أخرى، هناك محاولات تمكن الباحثون خلالها من استعمال الكيتوزان لإنتاج أكياس بلاستيكية قابلة للتحلل الحيوي bio-plastic صديقة للبيئة.

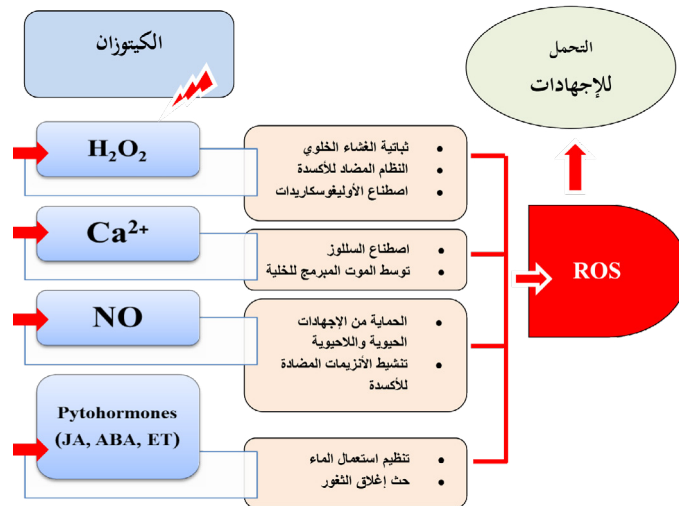
المنتجات الصناعية

يدخل الكيتوزان في عدد من المنتجات الصناعية مثل حفاظات الأطفال والفوط الصحية ومستحضرات التجميل وطلاء الأظافر والمرطبات، إضافة إلى صناعة الورق وغيرها.

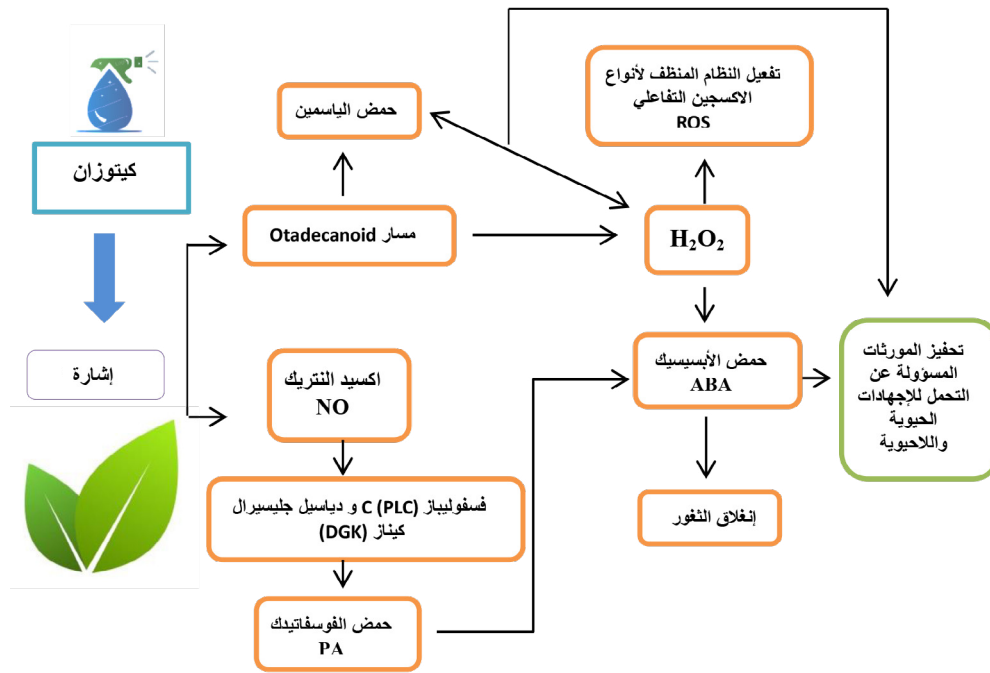
الآليات المحتملة للكيتوزان في تثبيط نمو الأحياء الدقيقة وفي تحفيز نمو النباتات

عرضت إحدى الدراسات بعض الآليات الممكنة لدور الكيتوزان في تثبيط نمو الممرضات النباتية، حيث أشاروا إلى إمكانية أن تكتسب مجموعة NH_2 في الموقع C2 من الكيتوزان بروتوناً لإنتاج NH_3^+ الذي يرتبط بمجموعات الكربوكسيل ($-COO^-$) السالبة المتوضعة على سطح البكتريا أو الفطريات مما يؤدي إلى خلل في مواصفات الأغشية الخلوية الخارجية وانحلالية الخلية وتسرب محتوياتها. إضافة إلى ذلك، يمكن أن يرتبط الكيتوزان بالدنا الميكروبي مما يؤدي إلى تثبيط الرنا المرسال mRNA واصطناع البروتينات. كما أن للكيتوزان القدرة على تخليب chelate بعض أيونات المعادن الضرورية لنمو البكتريا والفطريات، مما يخفض من نموها ويثبط من إنتاج السموم. وتتعلق هذه الآليات عموماً بالعوامل البيئية التي تنمو الأحياء الدقيقة فيها كدرجة الحموضة وغيرها.

كما أشارت التقارير إلى أن الكيتوزان يؤدي دوراً مهماً في تنشيط مسارات إشارات الدفاع defence signaling pathways في النباتات، وتفعيل نسخ transcriptional activation الجينات المشفرة لإنتاج لياز أمونيا فينيل ألانين phenylalanine ammonia lyase ومثبطات الإنزيمات البروتينية protease inhibitors، مما يشير إلى تأثير الكيتوزان في المسارات التي تشتمل على حمض الياسمين jasmine acid. يمتلك حمض الياسمين أنشطة مشابهة للهرمون النباتي حمض الأبسيسيك، الذي يؤدي دوراً رئيسياً في تنظيم استخدام المياه من قبل النباتات؛ حيث تؤدي زيادة مستويات حمض الأبسيسيك إلى إغلاق الثغور وتقليل النتج. وقد أكدت بعض الأبحاث تأثير الكيتوزان في تنظيم تعبير بعض المورثات gene expression regulation المسؤولة عن تحمل النباتات لعوامل الإجهاد الحيوية واللاحيوية في العديد من المحاصيل الزراعية. ويلخص الشكل 8 دور الكيتوزان كإشارة تتوسط تحفيز اصطناع المواد ذات الصلة باستجابة النبات للإجهادات الحيوية واللاحيوية: H_2O_2 فوق أكسيد الهيدروجين، Ca^{+2} أيونات الكالسيوم، NO نيتريك أكسيد، JA جاسمونيت، ET إيثيلين، ABA حمض الأبسيسيك و ROS أنواع الأكسجين التفاعلي. ويوضح الشكل 9 الدور التواسطي للكيتوزان في استجابة العمليات التي تؤدي إلى إغلاق الثغور من خلال الاصطناع الحيوي لحمض الأبسيسيك ABA ضمن الخلية. تؤدي الإشارات التي يحثها الكيتوزان إلى تشكيل H_2O_2 عبر مسارات octadecanoid وحمض النترريك nitric acid. يحث فوق أكسيد الهيدروجين على اصطناع حمض الأبسيسيك ومضادات الأكسدة ROS في حين ينظم أكسيد النيتريك إنتاج حمض الفوسفاتيدك PA عبر الإنزيم فسفوليباز C (PLC) ودياسيل جليسيرال كيناز DGK، وفق المسار PLC/DGK، ويبدأ بالتالي اصطناع ABA الذي يسهم في إغلاق الثغور وتنشيط المورثات المسؤولة عن الإجهادات الحيوية واللاحيوية.

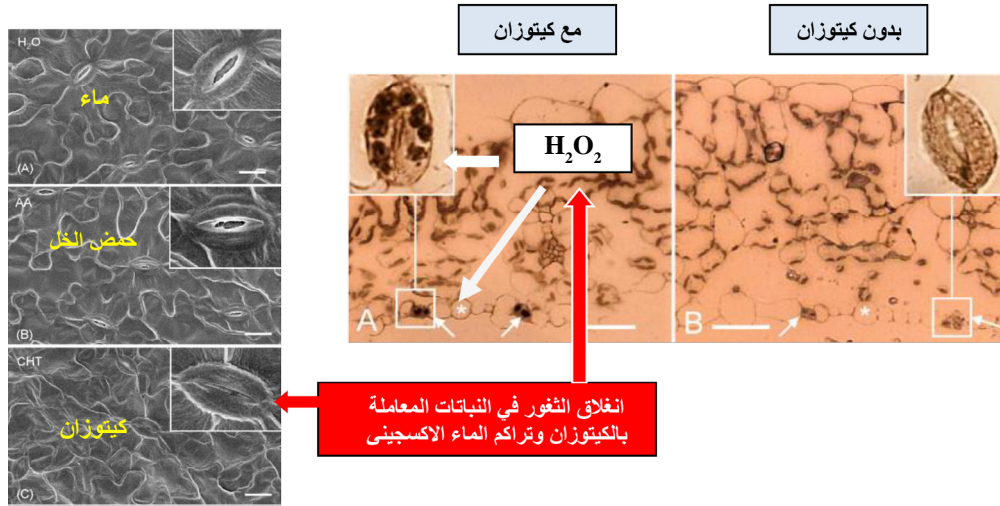


الشكل 8. الإشارات المنقولة بواسطة الكيوتوزان التي تتوسط تحفيز اصطناع المواد ذات الصلة باستجابة النبات للإجهادات الحيوية واللاحيوية.



الشكل 9. دور الكيوتوزان في استجابة النباتات للإجهادات الحيوية واللاحيوية.

بيّن فريق من الباحثين باستعمال المجهر الإلكتروني الماسح حصول انغلاق جزئي للثغور نتيجة معاملة أوراق نباتات الفاصولياء بالكيوتوزان مقارنة بالشاهد المعامل بالماء H_2O أو بحمض الخل AA، كما هو مبين في الشكل 10. وهذا بدوره يشير إلى انخفاض الناقلية المسامية نتيجة المعاملة بالكيوتوزان. كما بيّن المقطع العرضي للأوراق المعاملة بالكيوتوزان CHT تشكل الماء الأكسجيني H_2O_2 في الخلايا الحارسة وفي خلايا البشرة للجدار الخلوي، وهذا يقود إلى تعزيز إنزيمات الدفاع في النباتات واصطناع المركبات الثانوية كالبوليفينولات واللغنين والفلافونيدات والفيتوالاكسين في عديد من الأنواع النباتية المعاملة بالكيوتوزان. كما أن هناك زيادة في تركيز غاز ثنائي أكسيد الكربون الداخلي Ci في النباتات المعاملة بالكيوتوزان، مما يشير إلى انخفاض في فعالية عملية الكرسلة. واستنتج الباحثون أهمية الكيوتوزان في تنظيم عمل الثغور خاصة في المناطق التي تتعرض لظروف جافة.



الشكل 10. صور مجهرية لأوراق نبات الفاصولياء المعامل بالكيتوزان.

ويخلص الجدول 4 بعض الدراسات الحديثة التي تناولت أهمية الكيتوزان في تنظيم تعبير بعض المورثات التي تسهم في تنشيط مسارات إشارات الدفاع والمسؤولة عن بعض العوامل الفيزيولوجية والحيوية لدى أنواع نباتية مختلفة. الجدول 4. دور الكيتوزان في تنظيم التعبير الجيني عند بعض الأنواع النباتية.

الوظيفة	المورثات	اسم النبات	
حث مقاومة مرض العفن الرمادي الذي يسببه الفطر <i>Botrytis cinerea</i>	<i>PAD3</i>	<i>Arabidopsis thaliana</i>	الأرابيدوبسيس
الحفاظ على نضارة النبات وتعزيز النظام الدفاعي تجاه عوامل الإجهاد القادمة	<i>cat1, pal, pr1</i>	<i>Capsicum annuum</i>	الفليفلة
التنظيم المناسب لعملية التمثيل الغذائي للنبات والخصائص الفسيولوجية في النبات	<i>DoWRKY1</i>	<i>Dendrobium officinale</i>	الدينديروبيوم
زيادة تحمل مرض تعفن الجذوم الذي يسببه الفطر <i>Fusarium oxysporum</i>	<i>GLU, PAL</i>	<i>Zingiber officinale</i>	الزنجبيل
حث نشاط الإنزيمات لتخفيف حدة الإصابة بالأنثراكنوز Anthraxnose	<i>POD</i>	<i>Mangifera indica</i>	المانجا
تحسين المقاومة تجاه العفن البني	<i>POD, GLU</i>	<i>Prunus persica</i>	الدراق
تثبيط عملية التحلل الذي يسببه فطر البنسيليوم <i>Penicillium digitatum</i>	<i>CHI, PAL</i>	<i>Citrus unshiu</i>	برتقال ساتسوما
تقليل نمو الجدار الخلوي وزيادة المقاومة تجاه الإجهادات الحيوية	<i>Cellulose synthase</i>	<i>Citrus × sinensis</i>	البرتقال الحلو
اصطناع الفلافونويد وتطور الثمار ونضجها	<i>Fra a1, Fra a3, Fra a4</i>	<i>Fragaria × ananassa</i>	الفريز
تحسين الأنشطة المضادة للأكسدة وزيادة إنتاج فينيل بروبانويد	<i>PAL</i>	<i>Scrophularia striata</i> Boiss	السكروفولاريا
زيادة المقاومة ضد العفن الرمادي عن طريق تفعيل إشارة بروتين الكيناز المنشط بالميتوجين MAPK	<i>MPK3, MPK6, PR1a1</i>	<i>Solanum lycopersicum</i>	البندورة

بيّن الباحثون في إحدى الدراسات أن رش نباتات اللوبياء *Vigna unguiculata* بالكيوتوزان بمعدل 250 مغ/لتر (3 رشات: 40 و50 و60 يوماً بعد الزراعة) قد ساهم في تحسين العديد من المؤشرات الفيزيولوجية (اليخضور والكاربوهيدرات والأزوت والفسفور والبوتاسيوم) والتشريحية (زيادة في سُمك الأوراق) مما أدى إلى تحسين النمو وإنتاجية البذور عند النباتات المعرضة وغير المعرضة للإجهاد المائي (30 و60 و70% من السعة الحقلية). أما عند استخدام المعدل 125 أو 500 مغ/لتر مقارنة مع المعدل السابق (250 مغ/لتر)، فقد ظهرت بعض التأثيرات السلبية عند النباتات المجهدة مائياً. واستنتج الباحثون أن دور الكيوتوزان في التخفيف من التأثير الضار للإجهاد المائي في النبات قد يكون ناتجاً عن زيادة في الناقلية المسامية ونشاط التثبيت الضوئي الصافي لغاز ثنائي أكسيد الكربون CO₂ تحت الإجهاد المائي، ودور ذلك في تقليل النتج لتوفير الماء. كما أشاروا إلى أن أوراق النباتات المجهدة مائياً والمعاملة بالكيوتوزان ذات سُمك أكبر من النباتات المجهدة غير المعالجة، حيث يمكن أن يعزّز سُمك الطبقة العليا للبشرة، عموماً، قدرة النبات على البقاء والنمو في ظل ظروف الإجهاد المائي، من خلال تحسين العلاقات المائية وتوفير حماية أعلى للأنسجة الداخلية، وبالتالي زيادة الغلة. كما ذكر الباحثان أهمية الكيوتوزان في زيادة محتوى النبات من الفسفور.

وعلى غرار نبات اللوبياء، فإن رش أوراق نبات الفاصولياء *Phaseolus vulgaris* بالكيوتوزان بمعدل 200 مغ/لتر (3 رشات 40 و50 و60 يوماً بعد الزراعة) قد أدى أيضاً إلى تحسين نمو النبات وإنتاجيته، إضافة إلى زيادة تراكيز الأزوت والفسفور والبوتاسيوم والكاربون وتحسين محتوى البروتينات والسكريات في النباتات المزروعة ضمن ظروف الإجهاد المائي (40 و60 و80% من السعة الحقلية).

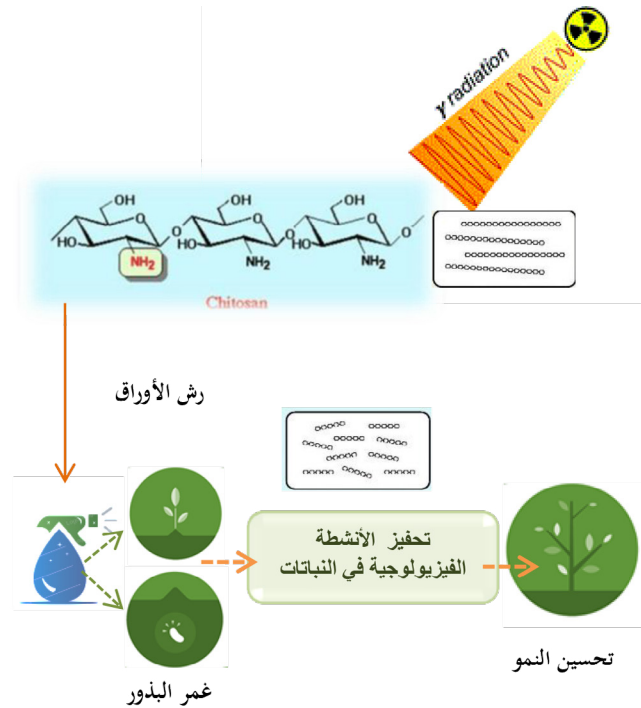
أما عند نبات البرسيم *Trifolium repens*، فقد تبين أن معاملة النباتات بالكيوتوزان (1 مغ/لتر) أدى إلى تحسين تحملها للجفاف، وترافق ذلك مع تراكم أكبر للسكريات والكحوليات السكرية والأحماض الأمينية والعضوية وغيرها من المستقلبات (أسكورات، الجلوتاثيون، الفلافونويد، بوتريسين، سبيرميدين)، حيث ترتبط هذه المركبات بالتكيف التناضحي والدفاع المضاد للأكسدة واستقلاب الطاقة تحت ظروف الإجهاد وتحفيز عديد من الجينات المتعلقة باستقلاب الأحماض الأمينية والكاربوهيدرات وإنتاج الطاقة وتحويلها واستقلاب الجلوتاثيون وأسكورات والفلافونويدات استجابةً لإجهاد الجفاف.

أما فيما يتعلق بتأثير الكيوتوزان في أداء البكتريا التعايشية المثبتة للأزوت الجوي، فقد أوضحت إحدى الدراسات أن إضافة الكيوتوزان إلى التربة (0.10%) قد حسّن من تشكل العقد الجذرية لنبات فول الصويا وكفاءة تثبيت الأزوت الجوي المقيسة بطريقة إرجاع الأستيلين ARA في مرحلة متأخرة من النمو، أما في المراحل الأولى فكان التأثير سلبياً. وقد عزا الباحثون أن التأثير السلبي ربما يعود إلى أن الكيوتوزان يحوي 5.9% أزوت، فعند إضافته إلى التربة فإنه سوف يتحلل بفعل الأحياء الدقيقة ويتحرر الأزوت على شكل نترات الذي سيؤدي إلى تثبيط تشكل العقد الجذرية وتثبيت الأزوت الجوي في المرحلة الأولى من النمو. ويمكن أن يكون تأثير الرش الورقي بالكيوتوزان في كفاءة تثبيت الأزوت الجوي مختلفاً عن تأثير إضافته إلى التربة حيث سيكون بتماس مع الريزوبيا في التربة، وبالتالي يمكن أن يعمل على كسر رابطة الببتيدوغليكان peptidoglycan (المكوّن الرئيس للجدر الخلوية للبكتريا)، مما يتسبب في انحلالية الخلية، وبالتالي تضرر البكتريا، وذلك على غرار تأثيره في العوامل الممرضة.

أما فيما يتعلق بدور الكيوتوزان في التسميد الحيوي للنباتات، فقد بين فريق من الباحثين أهمية التأثير المشترك للكيوتوزان (0.5 غ/لتر) والأحياء الدقيقة المنشطة للنمو PGPR في زيادة نسبة إنبات بذور الذرة وفي نمو النباتات وامتصاص العناصر الغذائية. ومن خلال دراسة تأثير الكيوتوزان في نباتات البندورة المعاملة بالفطريات الجذرية AMF، ومقارنة طريقة الرش الورقي بطريقة الإضافة إلى التربة، تبين أن الرش الورقي زاد من نمو النباتات وحفّز على الإزهار، لكنه خفض من نمو الميكوريزا، وقد أعزى ذلك إلى دور الكيوتوزان في تحفيز إشارات تسهم في تنشيط مورثات الدفاع تجاه نمو الميكوريزا. أما عند إضافة الكيوتوزان إلى التربة فلم يلاحظ أي تأثير له، لا في نمو النبات ولا في الميكوريزا، وقد انحصر تأثيره الإيجابي في نمو الفطريات الجذرية في الترب الفقيرة بالعناصر الغذائية. استنتج باحثي هذه الدراسة أهمية التسميد الحيوي الثلاثي (كيوتوزان + كومبوست + فطريات جذرية) في زيادة نمو نباتات البندورة المزروعة في تربة قليلة الخصوبة. وفي دراسة أخرى، جرى تأكيد أهمية استعمال الكيوتوزان والبكتريا المنشطة للنمو مثل *Bacillus thuringiensis* في تعزيز نمو نباتات الفليفلة المعرضة لإجهاد ملحي وتحسين إنتاجيتها.

تأثير الكيتوزان المعامل بأشعة غاما في نمو النبات

تؤدي المعاملة بأشعة غاما إلى انحلال degradation السكريات المتعددة polysaccharides من خلال تحطيم الروابط الجليكوسيدية بين السكريات. وعند معاملة النباتات بالسكريات المتعددة، سواءً عن طريق الرش الورقي أو معاملة البذور، فإنها تحفز أنواعاً مختلفة من الأنشطة الفيزيولوجية في النباتات؛ كزيادة معدل الإنبات ونمو المجموع الورقي والجذري وزيادة التزهير وزيادة النشاط المضاد للميكروبات وتحسين تحمل النباتات للإجهادات المختلفة كما هو مبين في الشكل 11. يمكن استخدام العديد من التقنيات التي تؤدي إلى انحلال الكيتوزان إلى جزيئات ذات أوزان جزيئية منخفضة؛ كالمعاملة الكيميائية والإنزيمية وبالأشعة. ومع ذلك، فإن التشعيع بواسطة أشعة غاما أو الأشعة السينية هو آلية فعالة ومفضلة لتحطيم البوليمير من منظور تكنولوجيا المعالجة الصديقة للبيئة. ويوضح الجدول 5 تأثير الكيتوزان المشع في بعض الأنواع النباتية.



الشكل 11. يؤدي التشعيع إلى تحطيم الروابط الجليكوسيدية، حيث يتحلل الكيتوزان إلى وحدات ذات وزن جزيئي أقل، قابل للذوبان في الماء، وذو خصائص مختلفة عن الكيتوزان غير المشع.

وبالنسبة لأهمية استخدام الكيتوزان المشع في تحفيز نمو النباتات وتنشيط العمليات الفيزيولوجية وتحسين أداء العديد من المحاصيل الزراعية المعرضة للإجهادات الحيوية واللاحيوية نوضح ما يلي (الجدول 5):

1. يتمتع الكيتوزان المشع بمواصفات مضادة تجاه العديد من الفطريات الممرضة للنباتات مثل: *Phytophthora cactomm*, *Fusarium oxysporum*, *Aspergillus awamori*, *Exobasidhim vexcms*, *Septoha chrysajithemum*, *Gibberella fujilairoi*, *Septobasidhim theae*, & *Colletotrichum sp*. واستنتج أحد الباحثين أن الكيتوزان المشع بالجرعة 5 إلى 10 كيلوغرام وبتراكيز 4-5% هو إجراء فعال للحد من نمو طيف واسع من بكتريا موجبة وسالبة غرام.

2. معاملة بعض نباتات أزهار الزينة *in vitro* بالكيتوزان المشع بأشعة غاما بالجرعة 100 كيلوغرام، عزّز من نشاط إنزيم الكيتيناز phytoalexin enzyme: chitinase فيها بنسب تراوحت بين 42 و197%، وزيادة في أوزانها الرطبة. وتبيّن أن التأثير المحفز للكيتوزان في نمو النبات يكون أكبر عند تعريضه لأشعة غاما (50-300 كيلوغرام)، مقارنة بالكيتوزان غير المشع. كما أثبتت أهمية الرش الورقي (بعد 7 و14 و21 و30 يوماً من الإنبات) بالكيتوزان المشع (200 كيلوغرام) وبمعدل 100 جزء بالمليون في

تحسين نمو نبات التيلأ *H. cannabinus*؛ حيث أدى انحلال الكيتوزان عند جرعة إشعاع معينة إلى تحسين خصائصه كمحفز لنمو النبات.

3. في النباتات الطبية، دُرِس تأثير الكيتوزان في منتجات الاستقلاب الثانوية لنبات الحلبة باستخدام عدة تراكيز من الكيتوزان (0 و40 و80 و120 مغ/لتر) بعد تشعيها بأشعة غاما (250 كيلوغرام)، حيث يتحلل الكيتوزان إلى وحدات ذات وزن جزيئي أقل قابلة للذوبان في الماء ولها خصائص بيولوجية وكيميائية وفيزيائية تختلف عن الكيتوزان العادي غير المشع. وبيّن الباحثون أن استعمال التركيز 40 مغ/لتر إضافة إلى الفسفور قد رفع من محتوى النباتات من القلويدات بنسبة 34% والإنتاج البذري بمعدل 125% ومحتوى التريغونيلين بنسبة 18%، إضافة إلى زيادة في محتوى النباتات من الكلوروفيل ونشاط إنزيمات تمثيل الأزوت مثل النترات ريدكتاز والغلوتامين سنتيتاز والبروتياز وزيادة امتصاص الأزوت في الأوراق مما أدى إلى تحسين نمو النبات وتطوره.

الجدول 5. تأثير الكيتوزان المشع في تعزيز نمو بعض الأنواع النباتية.

التأثير	الجرعة الإشعاعية	معدل الكيتوزان	اسم النبات	
زيادة في الوزن الرطب وطوال النبات والجذور	200 Gy	40-250 ppm	<i>Hibiscus cannabinus</i>	التيلأ (جلجل)
زيادة الإنتاج 10-17%	21 Gy	4% (w/v)	<i>Glycine max</i>	فول الصويا
- زيادة في الوزن الرطب بنسبة 20-68% - تعزيز نشاط إنزيم الكيتيناز بمعدل 42-197%	50-200 kGy	30-100 mg/l	<i>Chrysanthemum morifolium</i> <i>Eustoma grandiflorum</i> <i>Limonium latifolium</i> <i>Fragaria ananassa</i>	الأقحوان (زهرة الغريب) وزهرة الأستوما وخزامى البحر والفريز
- زيادة محتوى النباتات من القلويدات بنسبة 34% والإنتاج البذري بمعدل 125% ومحتوى Trigonelline بنسبة 18% - زيادة في محتوى النباتات من الكلوروفيل ونشاط إنزيمات تمثيل الأزوت	250 kGy	40-120 mg/l	<i>Trigonella foenumgraecum</i>	الحلبة
زيادة الإنتاجية	200-400 kGy	10 ppm	<i>Brassica alboglabra</i>	البروكولي الصيني
زيادة الإنتاجية 11% وخفض الإصابات بالآفات بمعدل 67%	10 kGy	5%	<i>Capsicum frutescens</i>	الفليفلة الشجيرية
زيادة الإنتاجية بنحو 4 أضعاف مقارنة بالشاهد	20 kGy	100 ppm	<i>Abelmoschus esculentus</i>	البامياء
زيادة في طول النبات وحجم الثمار	100 kGy	20-100 ppm	<i>Zea mays</i>	الذرة
تحسين النمو والكلوروفيل والكاروتينات والبرولين والسكريات المرجعة	100 kGy	50-75 mg/l	<i>Solanum tuberosum</i>	البطاطا
زيادة المساحة الورقية والأوزان الرطبة والجافة للأوراق والجذور	50-300 kGy	0.001-1 g/dm ³	<i>Salix viminalis</i>	صفصاف السلالين
تحسين تحمل النبات للإجهاد المائي من خلال تأثيره في عملية التمثيل الضوئي وتركيز غاز CO ₂ الداخلي Ci والناقلية المسامية وكفاءة استعمال الماء والكلوروفيل a و b وغيرها	100 kGy	50-200 ppm	<i>Saccharum spp.</i>	قصب السكر

4. درس تأثير الكيتوزان المعامل بأشعة غاما في أداء بعض الأنواع النباتية كفول الصويا والقمح والشعير المعرضة لجهد المعادن الثقيلة كالفاناديوم، وتبين أن استعمال الكيتوزان المشمع بجرعة 100 كيلوغرام يحد فعلاً لتحفيز نمو النباتات وزيادة إنتاجيتها وحمايتها من الضرر التي تسببه المعادن الثقيلة. قد يؤثر تشجيع الكيتوزان بأشعة غاما في عملية الربط التبادلي للبوليمير التي قد تؤثر في الخصائص البيولوجية لخلايا النبات. وبما أن الكيتوزان يحتوي على النتروجين $C_{11}H_{17}O_7N_2$ فإنه عندما يذوب في الماء يبقى في التربة لفترة، ومن ثم يتحلل وفقاً لنوع التربة ونشاط الأحياء الدقيقة. قد يكون السبب المحتمل لدور الكيتوزان في زيادة تركيز الأزوت في الأوراق ناجماً عن تحسين نشاط إرجاع النترات من خلال الإنزيم نترات ريدكتاز. كما أشير إلى أن الزيادة في معدل تثبيت ثاني أكسيد الكربون في النباتات المعالجة بالكيتوزان المشمع قد تكون ناتجة عن الزيادة في نشاط إنزيم كربوأنهيدراز carbonic anhydrase الذي يؤدي بالنتيجة إلى زيادة الوزن الرطب والجاف للنباتات المعالجة.
5. رش نباتات *Hibiscus esculentus* L. كل 7 أيام بالكيتوزان المعامل بأشعة غاما (20 كيلوغرام) بمعدل 100 ppm أدى إلى زيادة في عدد الثمار ووزنها، بمعدل وصل إلى 4 مرات، مقارنة بالشاهد. كما حسن الكيتوزان من نشاط الإنزيمات التي تتوسط عملية تمثيل الأزوت (نترات ريدكتاز، غلوتامين سنتيناز، بروتياز) وحسن من انتقال الأزوت ضمن النبات مما عزز من نموه وتطوره.
6. في البروكولي الصيني، إن إضافة 10 أجزاء في المليون من الكيتوزان المشمع بجرعتي 200 و400 كيلوغرام إلى المحلول المغذي (زراعة مائية) يحدّ محفزاً لنمو النبات حيث زاد إنتاج البذور معنوياً مقارنة بالشاهد. وقد أكدت هذه النتائج أهمية اتباع أساليب الزراعة الحديثة الصديقة للبيئة مع التقليل من الاعتماد على الأسمدة الكيماوية والمبيدات في زيادة الإنتاجية الزراعية بمدة أقصر.
7. في نبات الفليفلة، إن معاملة الكيتوزان بأشعة غاما (10 كيلوغرام) إضافة إلى الماء الأكسجيني (1%) يحفز النمو النباتي (الوزن الحيوي والكوروفيل والإنتاج)، ويعزز النظام المناعي للنبات تجاه مسببات المرضية.
8. رش أوراق فول الصويا بالأوليغو كيتوزان المعامل بأشعة غاما زاد من الإنتاجية بنسب تراوحت من 10 إلى 17%.
9. معاملة نبات البطاطا بالكيتوزان المشمع بجرعة 100 كيلوغرام، وبتراكيز 50-75 مغ/لتر زاد من نمو النباتات ومحتوى الكلوروفيل والكاروتينات والبرولين والسكريات المرجعة.
10. معاملة الكيتوزان بأشعة غاما له تأثير واضح في نمو نبات الفول حيث يمكن استخدامه في الحقول الزراعية كمحفز للنمو.
11. الكيتوزان المشمع (100 كيلوغرام) وبتراكيز 20 و50 و100 جزء في المليون هو إجراء فعال لتعزيز نمو نباتات الذرة، مقارنة مع الشاهد غير المعامل بالكيتوزان.
12. معاملة نبات قصب السكر Sugarcane بالكيتوزان المشمع 100 كيلوغرام، بتراكيز 50 و100 و200 جزء بالمليون، أدى إلى تحسين تحمله للإجهاد المائي من خلال تأثيره في بعض العمليات الفيزيولوجية كالتمثيل الضوئي وتركيز غاز CO_2 الداخلي Ci والناقلية المسامية وكفاءة استعمال الماء والكلوروفيل a و b وغيرها.

الاستنتاجات

ربما لم تحظ مادة طبيعية بأهمية علمية تطبيقية مثلما حظي به بوليمير الكيتوزان الذي يتمتع بخصائص ومواصفات جعلته يدخل في مجالات عديدة، تنوعت بين الاستخدامات الطبية والصيدلانية والزراعية والصناعية والبيئية، وقد انعكس ذلك في الأعداد المتصاعدة من المنشورات العلمية المفهوسة في قواعد البيانات العالمية مثل "Scopus" على مر السنوات الماضية حول استخدامات الكيتوزان ومشتقاته في المجالات المختلفة. كما يشير العدد الكبير من المقالات العلمية التي نشرت في السنوات الأخيرة حول الكيتوزان إلى أهمية استخدامه في الممارسات الزراعية لزيادة الإنتاج الزراعي وتنميته وتحسين جودة الغذاء وحفظه خاصة في ظل التغير المناخي وتأثيره في إنتاجية المحاصيل الزراعية وانحسار رقعة المساحات الزراعية.

يعد الكيتوزان أداة واعدة لتحفيز أنواع مختلفة من العمليات الفيزيولوجية في النباتات التي تسهم في زيادة معدل إنبات البذور ونمو المجموع الورقي والجذري والشمري، وتحسين امتصاص المغذيات وكفاءة استعمال الماء إضافة إلى تحفيز تعبير بعض المورثات ذات الصلة بتحمل النباتات لعوامل الإجهادات الحيوية واللاحوية في العديد من المحاصيل الزراعية. ويمكن زيادة التأثير التحفيزي للكيتوزان من خلال معالته بأشعة غاما التي تعمل على تحطيم الروابط الجليكوسيدية، حيث يتحلل إلى وحدات ذات وزن جزيئي أقل وتتمتع بخصائص مفيدة تتفوق على الكيتوزان غير المشع.

المراجع

- Chakraborty M, Islam T (2020). Chitosan Biopolymer on Plant Growth. <https://encyclopedia.pub/4453>.
- Chawla SP, Kanatt SR, Sharma AK (2014). Chitosan. In: Polysaccharides (eds Ramawat K, Mérillon JM), Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-03751-6_13-1.
- de Sousa Víctor R, Marcelo da Cunha Santos A, Viana de Sousa B, de Araújo Neves G, Navarro de Lima Santana L, Rodrigues Menezes R (2020). A Review on chitosan's uses as biomaterial: Tissue engineering, drug delivery systems and cancer treatment. Materials 4995. <https://doi.org/10.3390/ma13214995>.
- Hidangmayum A, Dwivedi P, Katiyar D, Hemantaranjan A (2019). Application of chitosan on plant responses with special reference to abiotic stress. Physiol Mol Biol Plants 25: 313–326. <https://doi.org/10.1007/s12298-018-0633-1>.
- Iriti M, Picchi V, Rossoni M, Gomarasca S, Ludwig N, Gargano M, Faoro F (2009). Chitosan antitranspirant activity is due to abscisic acid-dependent stomatal closure. Environ Exp Bot 66: 493-500.
- Malerba M, Cerana R (2018). Recent advances of chitosan applications in plants. Polymers (Basel) 10(2): 118.
- Orzali L, Corsi B, Forni C, Riccioni L (2017). Chitosan in agriculture: A new challenge for managing plant disease, pp. 17-38. In: Biological Activities and Application of Marine Polysaccharides, chapter 2 (ed Shalaby EA), IntechOpen. <http://dx.doi.org/10.5772/66840>.
- Sharif R, Mujtaba M, Ur Rahman M, Shalmani A, Ahmad H, Anwar T, Tianchan D, Wang X (2018). The multifunctional role of chitosan in horticultural crops. A Review. Molecules 23(4): 872.
- Zeng L, Sun H, Zhang J, Chen S (2017). Using chitosan combined treatment with citric acid as edible coatings to delay postharvest ripening process and maintain tomato (*Solanum lycopersicon* Mill) quality. J Food Nutr Res 5(3): 144-150.



الطباعة ثلاثية الأبعاد

يطلق مصطلح الطباعة ثلاثية الأبعاد 3D printing أو التصنيع التجميعي additive manufacturing على عملية صنع الأشياء ثلاثية الأبعاد عن طريق إضافة طبقات فوق بعضها حتى الحصول على جسم حقيقي ملموس. تختلف هذه الطريقة بشكل كلي عن طرائق التصنيع التقليدية التي تتضمن عمليات الطرق أو الصب. تظهر تطبيقات الطباعة ثلاثية الأبعاد يوماً، ومع استمرار انتشار هذه التقنية على نطاق أوسع وأعمق عبر القطاعات الصناعية والطبية والعسكرية، فإن هذه التقنية مهية للتوسع الكبير في مختلف مجالات الحياة. نهدف في هذه المقالة إلى تقديم نظرة عامة حول الطباعة ثلاثية الأبعاد من حيث ماهيتها التقنيات والعمليات والمواد وتاريخها ومجالات التطبيق والفوائد.

الكلمات المفتاحية: الطباعة ثلاثية الأبعاد، البلاستيك، الأطراف الاصطناعية، الأجهزة الطبية.

مقدمة

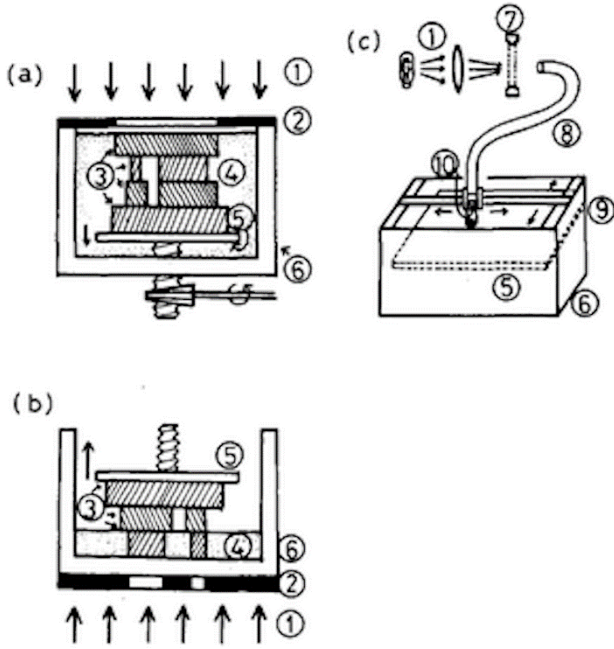
يعود الحديث عن إنتاج كائنات ثلاثية الأبعاد من خلال الطبقات المضافة إلى السبعينيات من القرن الماضي، حيث تم منح أول براءة اختراع للطباعة ثلاثية الأبعاد في عام 1981 إلى الياباني هيديو كوداما Hideo Kodama؛ حيث اخترع كوداما جهازاً يستخدم الأشعة فوق البنفسجية لتقوية البوليميرات الضوئية (انظر الشكل 1). وقد كانت الفكرة تتمحور حول أن هذه التكنولوجيا ستكون مفيدة في إنشاء النماذج الأولية في الصناعة. بعد ثلاث سنوات فقط، وفي عام 1984، تقدم فريق من المخترعين الفرنسيين بقيادة آلان لو ميهات Alain Le Mehaute بطلب للحصول على براءة الاختراع الأولى لطريقة الطباعة الحجرية stereolithography، والتي لا تزال مستخدمة على نطاق واسع حتى يومنا هذا. إن الطباعة الحجرية تشبه إلى حد كبير طريقة كوداما، حيث تعتمد على الأشعة فوق البنفسجية لتقوية البوليميرات الضوئية، إلا أن هذا الطلب لم يتكامل بالموافقة والسبب المزعوم هو الافتقار إلى منظور تجاري لبراءة الاختراع.

بعد ثلاثة أسابيع فقط من تقديم الفريق الفرنسي طلب براءة الاختراع، تقدم الأمريكي تشاك هال Chuck Hull بطلب للحصول على براءة اختراعه لآلة الطباعة الحجرية، وتمت الموافقة عليه. في عام 1986 أطلق هال آله للطباعة الحجرية المجسمة والتي لا تزال واحدة من أكثر تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد شيوعاً في يومنا هذا، في حين أن كوداما كان قد اخترع هذا النظام بالفعل قبل أن يأتي هال بآله ويصوغ المصطلح. والجدير بالذكر أن كوداما قدم مساهمة مهمة وفريدة أخرى في تاريخ الطباعة ثلاثية الأبعاد، ألا وهي تطوير تنسيق ملفات STL؛ وهي الملفات الرقمية التي يمكن للطابعات ثلاثية الأبعاد قراءتها، والتي لا تزال مستخدمة على نطاق واسع حتى اليوم. لقد سمح تطوير تنسيق ملفات STL بالتخاطب بين الحاسب والآلة حيث يتم تصميم نموذج ثلاثي الأبعاد على الحاسب وإعادة إنتاجه تلقائياً بواسطة طابعة ثلاثية الأبعاد.

طوال التسعينيات وأوائل القرن الحادي والعشرين، استمر التطور في تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد من خلال تقديم مجموعة من التقنيات الجديدة، وكانت هذه التقنيات تركز بالكامل على التطبيقات الصناعية لإنتاج النماذج الأولية، وبالوقت نفسه كان يتم إجراء البحث والتطوير من قبل الشركات التكنولوجية العملاقة لتطوير تطبيقات التصنيع المباشر. وأدى ذلك إلى ظهور مصطلحات جديدة، مثل الأدوات السريعة rapid tools والصب السريع والتصنيع السريع rapid manufacturing.

في وقتنا الحالي يوجد ثلاث شركات عملاقة فقط استحوذت بشكل شبه كامل على سوق الطباعة ثلاثية الأبعاد وهي: Stratasys Ltd. و (SSYS) و Proto Labs Inc. (PRLB) و 3D Systems Corp. (DDD). وترتكز هذه الشركات جهودها على الطباعة ثلاثية الأبعاد الدقيقة للأنظمة باهظة الثمن، أو الإنتاج الجزئي للأجزاء المعقدة ذات التصميم الهندسي العالي كتلك المستخدمة في المحطات الفضائية.

كيف تعمل الطابعات ثلاثية الأبعاد؟



تعد الطباعة ثلاثية الأبعاد جزءاً من عائلة التصنيع المضاف وتستخدم طرقاً مماثلة للطباعة التقليدية للنافثة للحبر وإن كانت هي ثلاثية الأبعاد. يتطلب الأمر مزيجاً متوافقاً ومتكاملاً من: برامج حاسوبية للتصميم ومواد مناسبة للتصنيع وأدوات دقيقة للغاية لإنشاء الكائن ثلاثي الأبعاد بدءاً من نقطة الصفر. وفيما يلي بعض الخطوات الرئيسية التي تتبعها الطابعات ثلاثية الأبعاد لصنع هذه النماذج كما هو مبين في الشكل 2.

برامج النمذجة ثلاثية الأبعاد

إن الخطوة الأولى في أي عملية طباعة ثلاثية الأبعاد هي النمذجة ثلاثية الأبعاد؛ أي إنشاء توأمة رقمي للكائن المراد تصنيعه. وهنا يأتي دور برنامج CAD؛ حيث يتم رسم الكائن في برنامج تصميم ثلاثي الأبعاد لتزويد الطابعة بأدق التفاصيل حول كافة أبعاد هذا الكائن في الفراغ. تسمح النمذجة للطابعات بتوظيف إمكاناتها للوصول إلى أدق التفاصيل في المنتج النهائي ليكون مطابقاً للواقع. إن قدرة برنامج النمذجة ثلاثية الأبعاد على السماح بالتصميمات الدقيقة للغاية هو سبب الترحيب الكبير بالطباعة ثلاثية الأبعاد باعتبارها مغيراً حقيقياً للتقنية في العديد من الصناعات. تعد برامج النمذجة مهمة بشكل خاص للصناعات الدقيقة مثل الصناعات الطبية وصناعة الفضاء؛ فعلى

الشكل 1. مخطط الطابعات ثلاثية الأبعاد التي قدمها كوداما.
(a) تتحرك لوحة التصميم إلى الارتفاع السائل،
(b) تتحرك لوحة التصميم بعيداً عن الارتفاع السائل،
(c) خطوط المسح باستخدام الألياف الضوئية.

1: الأشعة فوق البنفسجية، 2: قناع، 3: طبقات متصلبة، 4: بوليمير
سائل مقو للصور، 5: لوحة متحركة، 6: وعاء، 7: مصراع، 8: ألياف
بصرية، 9: راسمة ثنائية البعد، و10: عدسة بصرية.

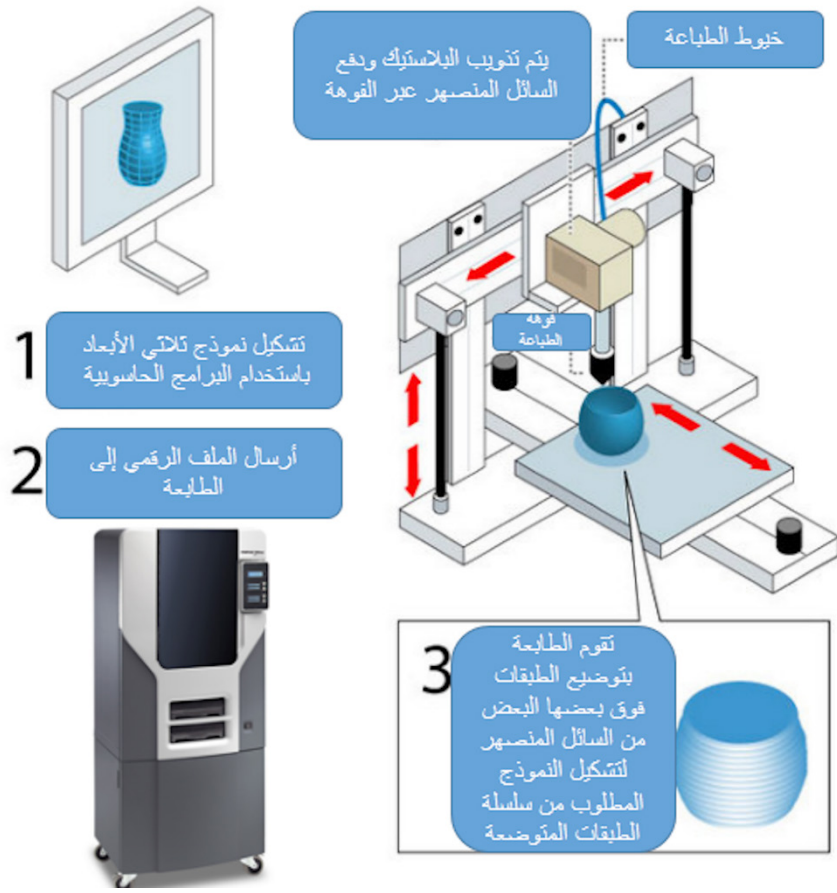
سبيل المثال، في مجال التعويضات السنية تستخدم المختبرات هذه البرامج لتصميم تقويم الأسنان الذي يناسب المريض بشكل خاص ودقيق، حيث يختلف التصميم من مريض إلى آخر، كما أنه أمر حيوي للغاية لصناعة الفضاء، حيث يستخدمون البرنامج لتصميم بعض الأجزاء الأكثر تعقيداً في السفن الفضائية والتي يصعب إنتاجها بالطرق التقليدية.

تشرح النموذج

يتم تقسيم النموذج الرقمي بعد إنشائه إلى طبقات ثنائية الأبعاد؛ نظراً لأن الطابعات ثلاثية الأبعاد لا يمكنها تصور مفهوم الأبعاد الثلاثة. يأخذ برنامج التقسيم عمليات مسح لكل طبقة من النموذج ويخبر الطابعة بكيفية التحرك من أجل إعادة إنشاء تلك الطبقة، كما يخبرها أيضاً بمكان الملء والفراغ في النموذج. إضافة إلى ذلك يزودها بشبكات وأعمدة داخلية تساعد في عملية تشكيل الكائن وتقويته من أجل منع انهياره، كما هي الحال تماماً في عملية البناء حيث يساعد الهيكل المعدني في الأعمدة على منع انهيار البناء، وبمجرد تقسيم النموذج يتم إرسال الأوامر إلى الطابعة ثلاثية الأبعاد للبدء بعملية الطباعة الفعلية.

عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد

بعد اكتمال نمذجة كائن ثلاثي الأبعاد وتقطيعه إلى شرائح، تتولى الطابعة ثلاثية الأبعاد المسؤولية في عملية الطباعة. تعمل الطابعة بشكل عام مثل الطابعة التقليدية للنافثة للحبر، حيث تتحرك الفوهة ذهاباً وإياباً أثناء توزيع مادة الطباعة لتشكل طبقة معينة، ثم يتم الانتظار حتى تجف هذه الطبقة ليتم إضافة المستوى التالي. تضيف الطابعة مئات أو آلاف الطبقات ثنائية الأبعاد فوق بعضها لصنع كائن ثلاثي الأبعاد مطابق للتصميم المطلوب.

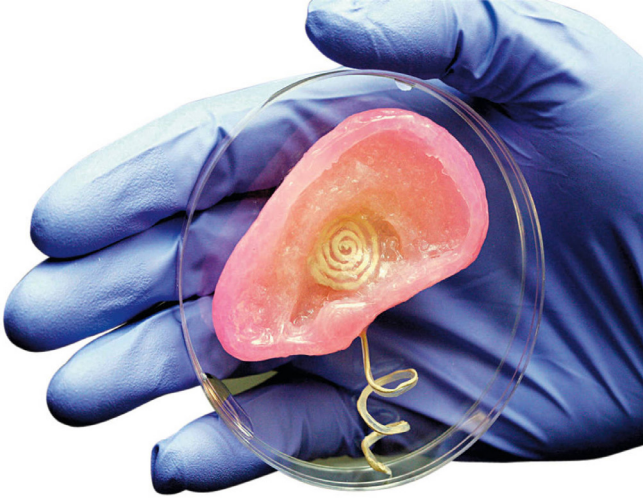


الشكل 2. آلية بناء المجسم ثلاثي الأبعاد بدءاً من النموذج الرقمي.

ما هي المواد المستخدمة في الطباعة ثلاثية الأبعاد؟

هناك مجموعة كبيرة ومتنوعة من المواد التي تستخدمها الطابعة لإعادة تشكيل كائن وتختلف هذه المواد تبعاً لطبيعة الكائن وتطبيقاته وحجمه. وفيما يلي نذكر بعض الأمثلة:

- أكريلونيتريل بوتادين ستايرين ABS: وهي عبارة عن مادة بلاستيكية يسهل تشكيلها وصعبة الكسر، وهي المادة نفسها التي تستخدمها شركة LEGO الدانماركية في تصنيع ألعابها.
- خيوط ألياف الكربون: تُستخدم ألياف الكربون لإنشاء الكائنات التي تتطلب أن تكون قوية للغاية، ولكنها أيضاً خفيفة الوزن، كتلك المستخدمة في الطائرات أو سيارات السباق.
- الشعيرات الموصلة: هذه المواد يمكن استخدامها لطباعة الدارات الكهربائية دون الحاجة إلى أسلاك، حيث تستخدم في التكنولوجيا القابلة للارتداء، إلا أنها لا تزال في المرحلة التجريبية.
- الشعيرات المرنة: تنتج الشعيرات المرنة مطبوعات قابلة للانحناء ولكنها مقاومة للصدمات، حيث يمكن استخدام هذه المواد لطباعة ساعات المعصم وأغطية الهاتف المحمول.
- الخيوط المعدنية: تتكون هذه المواد من معادن مطحونة نانوية وغراء من البوليمير يمكن أن تأتي من الفولاذ والبرونز والنحاس من أجل الحصول على الشكل والمظهر الحقيقيين لجسم معدني.



● **الخيوط الخشبية:** تحتوي هذه الخيوط على مسحوق خشب مطحون بشكل ناعم جداً وممزوج بغراء من البولييمير. تُستخدم لطباعة الأشياء ذات المظهر الخشبي، ويمكن أن يتم التحكم باللون النهائي للمنتج حسب درجة حرارة الطباعة، ويمكن أن تكون هذه التقنية مفيدة للغاية في إعادة تدوير المنتجات الخشبية التالفة حيث يتم طحنها وإعادة طباعتها.

تستغرق عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد بضع ساعات للحصول على مطبوعات بسيطة مثل صندوق أو كرة، وأسابيع لمشاريع مفصلة أكبر مثل منزل بالحجم الكامل.

أنواع الطباعات ثلاثية الأبعاد

نمت على مر السنين صناعة الطباعة ثلاثية الأبعاد بشكل كبير؛ مما أدى إلى إنشاء تقنيات جديدة ولغة جديدة لوصف عمليات التصنيع المختلفة. للمساعدة في تبسيط هذه اللغة، أصدرت المنظمة الدولية للمعايير في عام 2012 مصطلحات قياسية صنفت تقنيات التصنيع المضافة إلى سبع فئات واسعة. فيما يلي ملخصات سريعة لأهم الآليات المتبعة في الطباعة ثلاثية الأبعاد:

● **نفت المواد:** مثل طباعة سطح المكتب النافثة للحبر التقليدية تماماً، إذ تترسب المواد المتدفقة من خلال رأس الطباعة لإنتاج الهيكل المطلوب. تستخدم هذه العملية عادةً مادة بلاستيكية تتطلب ضوءاً لتصلبها (فوتوبوليمير) ولكن يمكنها أيضاً طباعة الشمع والمواد الأخرى، كما يمكن دمج مواد متعددة مع بعضها من خلال استخدام فوهات متعددة إضافية، إن هذا النوع من الطباعات لا يزال باهظ الثمن وبطيئاً نسبياً.

● **نفت الغراء:** في هذا النوع من الطباعة يتم لف طبقة رقيقة من المسحوق الذي يمكن أن يكون من البلاستيك أو الزجاج أو المعادن أو الرمل عبر منصة الطباعة، ثم يرش رأس الطباعة محلولاً لاصقاً مشابهاً للغراء لدمج جزيئات المسحوق معاً فقط في الأماكن المحددة في الملف الرقمي. تتكرر العملية حتى ينتهي الكائن من الطباعة، وتتم إزالة المسحوق الزائد الذي دعم الكائن أثناء الطباعة وحفظه لاستخدامه لاحقاً. يستخدم هذا النوع من الطباعة لإنشاء أجزاء كبيرة نسبياً، إلا أنه قد يكون مكلفاً خاصة بالنسبة للأنظمة الكبيرة.

● **انصهار طبقة المسحوق:** يشبه هذا النوع من الطباعة النوع السابق النافث للغراء باستثناء أن طبقات المسحوق يتم دمجها معاً عن طرق الإذابة أو التليد؛ وهي عملية تستخدم الحرارة أو الضغط لتكوين كتلة مرنة من المواد دون صهرها باستخدام الليزر أو الإشعاع الإلكتروني. في حين أن هذا النوع يمكن أن ينتج أجزاء بوليميرية قوية وأجزاء معدنية صلبة للغاية عالية الجودة، فإن خيارات المواد الخام الممكن استخدامها لهذا النوع من التصنيع تكون محدودة.

● **الترسيب الموجه:** يمكن أن يأتي الترسيب الموجه في أشكال عديدة تتبع جميعها عملية أساسية واحدة؛ وهي أن ترسيب مادة المسحوق يتم في طبقات رقيقة ويتم صهرها باستخدام مصدر عالي الطاقة مثل الليزر. تُستخدم أنظمة الترسيب الموجهة بشكل شائع لإصلاح الأجزاء المتآكلة وبناء أجزاء كبيرة جداً، ولكن هذه التقنية غالباً ما تتطلب وجود معالجة لاحقة أكثر شمولاً للأجزاء المرممة.

● **تصفيح الألواح:** تعتمد هذه الطريقة على ربط الصفائح الرقيقة من المواد التي عادةً لا تكون من الورق أو المعادن معاً باستخدام مواد لاصقة أو مصادر حرارة منخفضة الحرارة أو أشكال أخرى من الطاقة لإنتاج كائن ثلاثي الأبعاد. تسمح هذه الطريقة للمصنعين بالطباعة بمواد حساسة للحرارة أو الضوء مثل الورق أو الإلكترونيات، وتستخدم عادةً هذه الطريقة في التكنولوجيا

القابلة للارتداء، كما أنها توفر أقل تكلفة للمواد مقارنة بأي عملية طباعة أخرى، لكن هذه العملية تفتقر إلى الدقة التي يمكن أن توفرها أنواع الطباعة الأخرى.

● البلمرة الضوئية: وهي من أقدم أنواع الطباعة ثلاثية الأبعاد. تستخدم البلمرة الضوئية راتينجاً سائلاً تتم معالجته باستخدام مصابيح خاصة لإنشاء كائن ثلاثي الأبعاد. اعتماداً على نوع الطباعة إما أن تستخدم الليزر أو المصابيح لإحداث تفاعل كيميائي وتقوية طبقات الراتينج الرقيقة. يمكن لهذه العمليات بناء أجزاء دقيقة للغاية بتفاصيل معقدة جداً، لكن خيارات المواد محدودة ويمكن أن تكون الآلات باهظة الثمن.

هناك أيضاً أنواع أخرى من الطباعة ثلاثية الأبعاد اعتماداً على حجم المشروع وتفاصيله ونطاقه. ويختلف كل نوع من الطابعات اختلافاً طفيفاً في كيفية ونوعية المواد المستخدمة لطباعة هذا الكائن.

كم تبلغ تكلفة الطابعات ثلاثية الأبعاد؟

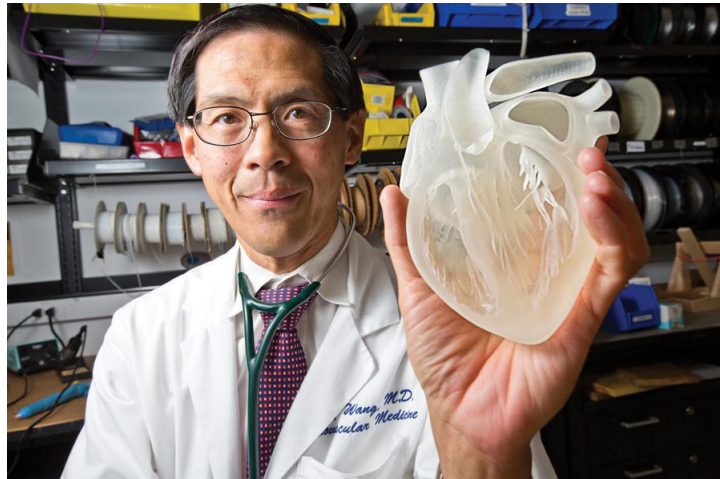
تختلف تكلفة الطابعات ثلاثية الأبعاد تبعاً للحجم والتخصص والاستخدام؛ إذ تكلف أرخص الطابعات ثلاثية الأبعاد حوالي 200 دولار، في حين أن بعض الطابعات ثلاثية الأبعاد الصناعية يمكن أن تكلف ما يصل إلى 100,000 دولار. ومن أجل طباعة بمواصفات جيدة يمكن أن تكلف المستهلك العادي حوالي 650 دولاراً فقط إلا أن هذه الأسعار مرشحة للانخفاض بشكل كبير مع الانتشار الواسع لتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد.

مستقبل الطباعة ثلاثية الأبعاد

كما هو موضح سابقاً فإن الطابعات ثلاثية الأبعاد تتمتع بمرونة عالية، ليس في مجال المواد التي يمكن استخدامها في عملية التصنيع فحسب، بل بما يمكنها طباعته من الأشكال أيضاً. إضافة إلى ذلك فهي دقيقة وسريعة بشكل كبير جداً، مما يجعلها أداة واعدة لمستقبل عمليات التصنيع.

يتم حالياً استخدام العديد من الطابعات ثلاثية الأبعاد من قبل الكثير من الشركات في جميع أنحاء العالم لإنتاج ما يسمى بالنماذج الأولية السريعة، حيث يتم تصنيع هذه النماذج في غضون ساعات قليلة بدلاً من إضاعة شهور من الوقت وربما ملايين الدولارات في البحث والتطوير. وتدعي في الواقع العديد من الشركات أن الطابعات ثلاثية الأبعاد تجعل عملية إنتاج النماذج الأولية أسرع بعشر مرات وأرخص بخمس مرات من عمليات البحث والتطوير التقليدية.

وبناءً على ما سبق يمكن للطابعات ثلاثية الأبعاد أن تؤدي دوراً في كافة مجالات الصناعة مستقبلاً، حيث لا يتم استخدامها لتصنيع النماذج الأولية فحسب، بل يتم تكليفها بطباعة المنتجات النهائية. نذكر على سبيل المثال؛ في مجال الرعاية الصحية، تُستخدم الطابعات ثلاثية الأبعاد لتصنيع الأجزاء لإصلاح مراوح التهوية المكسورة.



وفي مجال الطب، يمكن الآن طباعة الأطراف والأنسجة البشرية مثل الأربطة العظمية والأوتار التي ستستخدم في معالجة المصابين بتلف أو تهلك في هذه الأنسجة أو الأطراف دون الحاجة إلى إجراء العمليات الجراحية أو أخذ أنسجة وأربطة من مناطق أخرى من الجسم.



في مجال التعمير، تستخدم صناعة البناء الطباعة ثلاثية الأبعاد الفريدة لطباعة منازل كاملة حسب رغبة الزبون. وفي مجال التعليم، تستخدم العديد من المدارس والجامعات الطابعات ثلاثية الأبعاد في التعلم العملي من خلال طباعة الهيكل العظمي أو الأعضاء الداخلية للكائنات الحية المدروسة. إن المرونة الهائلة لتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد وقدرتها على التكيف تجعلها لاعباً أساسياً في تطور أي صناعة مستقبلية.

الخاتمة

في نهاية هذا المقال لا بد من التأكيد على أن الطباعة ثلاثية الأبعاد قد أحدثت ثورة في عالم التصنيع، وستتحول بسرعة إلى صناعة كبيرة جداً في العديد من المجالات. هنالك العديد من الفوائد لاستخدامها في كثير من القطاعات مثل الصناعات الفضائية والطبية والسيارات والصناعات الدقيقة الأخرى. ودوماً مع الفوائد تأتي السلبيات أيضاً؛ إذ يؤدي استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد إلى الإضرار بالبيئة نتيجة المواد التي تستخدمها في عمليات التصنيع، لذلك يجب العمل على تحسين هذه التكنولوجيا دون الإضرار بالبيئة، كما يوجد مخاوف أمنية من استخدام هذه التكنولوجيا في عمليات التزييف.

المراجع

- 7 things you should know about 3D printing. Available at: <https://library.educause.edu/resources/2012/7/7-things-you-should-know-about-3d-printing> (accessed 4 July 2021).
- Could 3D printing change the world? Available at: <https://www.atlanticcouncil.org/in-depth-research-reports/report/could-3d-printing-change-the-world/> (accessed 5 July 2021).
- Hensleigh RM, Cui H, Oakdale JS et al. (2018). Additive manufacturing of complex micro-architected graphene aerogels. *Materials Horizons* 5: 1035-1041.
- The 9 different types of 3D printers. Available at: <https://3dinsider.com/3d-printer-types/> (accessed 4 July 2021).
- The fine print. Available at: <https://unews.utah.edu/the-fine-print/> (accessed 4 July 2021).



الذاكرة الإلكترونية العضوية البوليميرية

يعد اكتشاف كيفية تخزين المعلومات بشكل أرقام وحروف عموماً واحداً من أهم خطوات التطور الاجتماعي في تاريخ البشرية لأنها سمحت بنقل المعلومات من جيل إلى جيل. وقد تلقت أجهزة الذاكرة العضوية/البوليميرية اهتماماً بحثياً واسعاً مؤخراً نظراً لمزاياها من المرونة الهيكلية وقابلية المعالجة والوزن الخفيف وعمليات التصنيع البسيطة مقارنةً بتلك المستعملة في تقنية السليكون غير العضوي. يمكن أن يكون لهذه الأجهزة تطبيقات محتملة في المكونات الإلكترونية المرنة والمنتجات القابلة للارتداء. يوجد ثلاثة أنواع من أجهزة الذاكرة العضوية/البوليميرية، بما في ذلك أجهزة من نوع المقاوم والمكثف والترانزستور. سنتحدث في هذه المقالة عن الذاكرة العضوية/البوليميرية من حيث الأنواع والتطبيقات والمواد المستعملة في تصنيعها.

مقدمة

يزداد تعقيد أجهزة تخزين البيانات مع تقدم أداء الأدوات الرقمية لتكنولوجيا المعلومات. تُنفذ أجهزة الذاكرة التقليدية على الدوائر المتكاملة القائمة على أشباه الموصلات، مثل الترانزستورات والمكثفات. ولتحقيق كثافة أكبر في تخزين البيانات ووصول أسرع للمعلومات يُحرّم المزيد من المكونات في شريحة واحدة. فقد انخفض حجم الترانزستورات من 130 نانومتراً في عام 2000 إلى 32 نانومتراً في الوقت الحاضر. تصبح أجهزة أشباه الموصلات القائمة على السليكون أقل استقراراً عند أقل من 22 نانومتراً، مما يخفض من موثوقية تخزين وقراءة البتات الفردية من المعلومات بشكل كبير بسبب المشكلات الشديدة للتقاطع "cross-talk". إضافة إلى ذلك، فإن استهلاك الطاقة وتوليد الحرارة غير المرغوب فيهما يمثلان أيضاً مصدر قلق متزايد، وتقل دقة معالجة وحدات الذاكرة في المقابل؛ ولذلك لن تلبى تقنيات الذاكرة الحالية متطلبات تخزين المعلومات في المستقبل القريب.

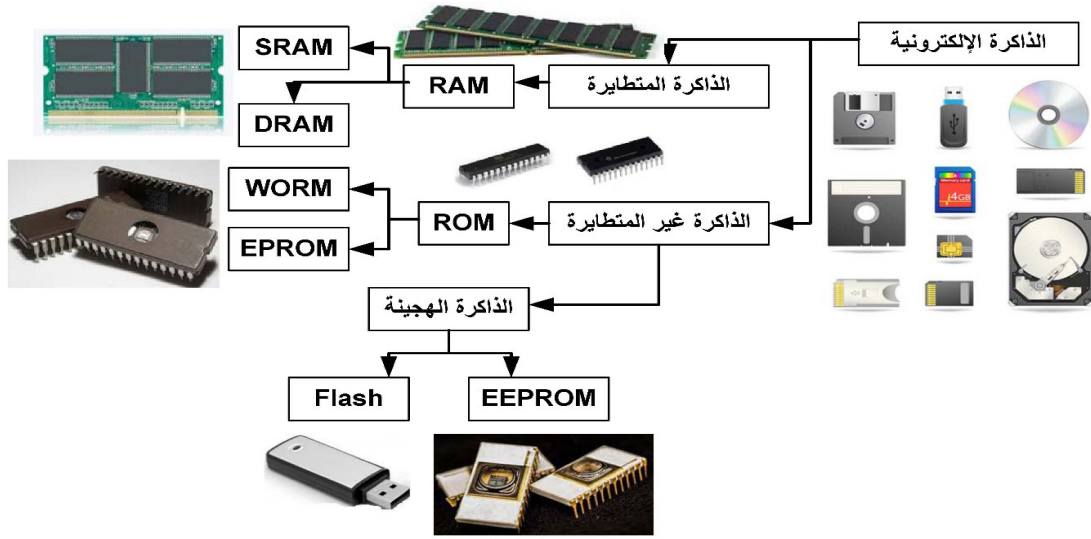
فيما يتعلق بالطموح للتقنيات الجديدة في تخزين البيانات، ظهرت ذاكرة الوصول العشوائي الفيروكهربائي FeRAM وذاكرة الوصول العشوائي المقاومة للمغناطيسية MRAM وذاكرة تغيير الطور PCM والذاكرة العضوية/البوليميرية على مسرح صناعة تكنولوجيا المعلومات. بدلاً من تخزين المعلومات واسترجاعها عن طريق ترميز 0 و1 كمقدار الشحنة المخزنة في أجهزة الذاكرة الحالية القائمة على السليكون، فإن التقنيات الجديدة تعتمد على الثبات الكهربائي الناشئ عن تغيرات في بعض الخصائص الجوهرية للمواد؛ مثل المغناطيسية والقطبية والطور والتشكيل والتوصيل استجابةً للمجال الكهربائي المطبق. تشمل مزايا الذاكرة الإلكترونية العضوية/البوليميرية قابلية المعالجة الجيدة والتصميم الجزيئي من خلال التوليف الكيميائي وبساطة هيكل الجهاز والأبعاد المصغرة وقابلية التوسع الجيدة وإمكانات التكلفة المنخفضة والتشغيل المنخفض الطاقة وخصائص الحالة المتعددة والقدرة على التراص الثلاثي الأبعاد والقدرة الكبيرة على تخزين البيانات.

المفاهيم الأساسية للذاكرة الإلكترونية

إن الهدف الأساسي لجهاز الذاكرة هو توفير وسيلة لتخزين تسلسلات البيانات الرقمية الثنائية 1 و0 والوصول إليها بعدها إحدى الوظائف الأساسية (التخزين الأساسي) لأجهزة الكمبيوتر الحديثة. وجهاز الذاكرة الإلكترونية هو شكل من أشكال تخزين أشباه الموصلات وهو سريع الاستجابة وصغير الحجم، ويمكن قراءته وكتابته عند اقترانه بوحدة معالجة مركزية (CPU، المعالج). في الذاكرة الإلكترونية التقليدية القائمة على السليكون تُخزن البيانات بناءً على كمية الشحن المخزنة في خلايا الذاكرة، بينما تقوم الذاكرة الإلكترونية العضوية/البوليميرية بتخزين البيانات بطريقة مختلفة تماماً، على سبيل المثال، بناءً على حالات التوصيل الكهربائي المختلفة كحالات التشغيل والإيقاف استجابةً لمجال كهربائي مطبق. من المحتمل أن تكون الذاكرة الإلكترونية العضوية/البوليميرية بديلاً أو على الأقل تقنية تكميلية للذاكرة الإلكترونية التقليدية لأشباه الموصلات. وفقاً لنوع تخزين الجهاز يمكن تقسيم الذاكرة الإلكترونية إلى فئتين أساسيتين: الذاكرة المتطايرة volatile memory وغير المتطايرة non-volatile memory. تفقد الذاكرة المتطايرة المعلومات المخزنة في النهاية ما لم تُزود بمصدر طاقة ثابت أو تُحدث بشكل دوري بنبض. ولعل أكثر أشكال التخزين الأولية استعمالاً اليوم هي الذاكرة المتطايرة. وكما هو موضح في الشكل 1 يمكن تقسيم الذاكرة الإلكترونية إلى فئات فرعية كذاكرة للقراءة فقط ROM وذاكرة هجينة، وذاكرة وصول عشوائي RAM. إن الذاكرة ROM قابلة للبرمجة في المصنع فقط، وتُشفّر البيانات في الدارة ولا يمكن برمجتها بعد التصنيع. وتسمح الذاكرة الهجينة بقراءة البيانات وإعادة كتابتها في أي وقت. في حين تتطلب ذاكرة الوصول العشوائي قراءة المعلومات المخزنة وإعادة كتابتها بشكل دوري أو تحديثها وإلا ستفقد البيانات. من بين هذه الأنواع من الذاكرة الإلكترونية، فإن الذاكرة اكتب مرة واحدة واقرأ عدة مرات WORM، الذاكرة الهجينة غير المتطايرة والقابلة لإعادة الكتابة (فلاش)، ذاكرة الوصول العشوائي الثابتة SRAM وذاكرة الوصول العشوائي الديناميكي DRAM هي أكثر أجهزة الذاكرة البوليميرية المستعملة على نطاق واسع.

تُستعمل الذاكرة WORM لتخزين معايير الأرشفة وقواعد البيانات والبيانات الضخمة الأخرى حيث يجب الحفاظ على المعلومات بشكل موثوق به لفترة طويلة من الزمن. ومن الأمثلة عليها: الأقراص المضغوطة CD-Rs أو DVD-Rs التقليدية وأجهزة الذاكرة المبرمجة للقراءة فقط PROM. أما ذاكرة الفلاش فهي نوع آخر من الذاكرة الإلكترونية غير المتطايرة، وتختلف عن ذاكرة WORM، حيث يمكن إعادة برمجة حالتها المخزنة كهربائياً ولديها القدرة على الكتابة والقراءة والمسح والاحتفاظ بالحالة المخزنة؛ لذا فهي قابلة للتغيير أو قابلة لإعادة الكتابة بطبيعتها، ونظراً لعدم تطايرها، لا حاجة إلى طاقة للحفاظ على المعلومات المخزنة في ذاكرة الفلاش. أما DRAM فهي نوع من ذاكرة الوصول العشوائي المتطايرة التي تخزن كل بت من البيانات في مكثف منفصل داخل دارة متكاملة. وبما أن المكثفات في العالم الحقيقي تميل لتسريب الشحن، تتلاشى البيانات المخزنة في النهاية ما لم يُحدث الجهاز بشكل دوري، ونظراً لمتطلبات التحديث الدورية هذه فهي ذاكرة متقلبة وديناميكية. إن التقلبات ووقت الوصول الفائق السرعة إلى البيانات والبساطة الهيكلية تبشر بالكثافة العالية والأداء السريع الاستجابة؛ مما يجعل ذاكرة DRAM الذاكرة الرئيسية لمعظم أجهزة الكمبيوتر. بالنسبة لـ SRAM فهي نوع آخر من الذاكرة المتطايرة. المصطلح «ثابت» يميزها عن ذاكرة الوصول العشوائي الديناميكي DRAM التي يجب تحديثها بشكل دوري. تعرض SRAM البيانات المتبقية لكنها لا تزال متقلبة وتفقد البيانات المخزنة في النهاية عندما تظل الذاكرة في حالة انقطاع التيار الكهربائي. وتعد ذاكرة SRAM أسرع وأكثر موثوقية من DRAM الأكثر شيوعاً، ونظراً لتكلفتها العالية غالباً ما تُستعمل SRAM فقط كذاكرة تخزين مؤقت.

تشمل العوامل ذات الأهمية لأداء خلية الذاكرة: وقت التبديل الكتابة والمسح ونسبة تيار التشغيل/الإيقاف أو نافذة الذاكرة ودورات القراءة والقدرة على الاحتفاظ. يؤثر وقت التبديل على معدل الكتابة والوصول إلى المعلومات المخزنة، وتحدد نسبة تيار التشغيل/الإيقاف التحكم في معدل القراءة الخاطئة أثناء تشغيل الجهاز، مع كون القيمة الأعلى ضرورية للجهاز للعمل مع الحد الأدنى من أخطاء القراءة الخاطئة، بينما عدد دورات القراءة والقدرة على الاحتفاظ مرتبطين باستقرار وموثوقية أجهزة الذاكرة. بالنسبة للتطبيقات العملية، فإن العوامل الأخرى؛ مثل استهلاك الطاقة والتكلفة والبساطة الهيكلية وكثافة التعبئة فضلاً عن الصلابة الميكانيكية والمرونة لها الأهمية نفسها عند تصميم أجهزة ذاكرة جديدة وتصنيعها.



الشكل 1. تصنيف أجهزة الذاكرة الإلكترونية.

لمحة تاريخية حول أجهزة الذاكرة الإلكترونية العضوية / البوليميرية

ظهرت أشكال مختلفة من التخزين بناءً على ظواهر طبيعية مختلفة منذ عام 1940. وفي عام 1960، كان هناك اهتمام كبير بالخصائص الكهربائية لأشباه الموصلات غير المتبلورة والهياكل المضطربة نتيجة لخصائصها الكهربائية غير العادية التي تجعلها أيضاً مواد واعدة لتطبيقات الأجهزة. في عام 1968، لاحظ جريجور مقاومة سلبية ثابتة في المواد البوليميرية ولاحظ أن جهاز التبديل الكهربائي ثنائي الاستقرار المكون من $Pb/polydivinylbenzene/Pb$ قادر على العمل كجهاز تخزين معلومات. وأظهر الباحثون لاحقاً التبديل الثنائي الاستقرار القابل للتكرار في أغشية البوليمير الرقيقة المحضرة ببلورة التوهج بالتفريغ، ونتيجة لهذه الدراسات اكتشفت مجموعة متنوعة من المواد العضوية والبوليميرية القادرة على تخزين المعلومات نتيجة لتشكيل مسارات توصيل فتيلية filament conduction، إلا أن الأداء لم يكن مرضياً في التطبيقات العملية. ونُسبت تأثيرات تبديل الذاكرة في أغشية البولي ميثيل ميثاكريلات والبوليسترين والبولي إيثيل ميثاكريلات والبولي بوتيل ميثاكريلات إلى ترتيب سلسلة البوليمير المتحكم بها ونسبت تلك التأثيرات في بولي فينيل كاربازول إلى وجود الشوائب.

بدأت دراسات السلوك الانتقالي لبعض البوليميرات الفيروكهربائية في الثمانينيات، حيث يمكن تبديل الأغشية الرقيقة من المواد الحديدية الكهربائية بشكل متكرر بين حالتين ثابتتين من الاستقطاب الكهربائي الفيروكهربائي، وتكون قادرة على إظهار تأثيرات الذاكرة غير المتطايرة. كانت أغشية البوليمير المتحصل عليها عن طريق تقنيات معالجة المحلول سميكة جداً لدرجة أن بعض الأجهزة تتطلب جهد تشغيل لا يقل عن 30 فولط. وقد أبلغ عن اختراق كبير في تصنيع الأغشية الكهربائية الحديدية بتقنية لانجموير-بلودجيت LB في عام 1995، وتكون الأغشية الكهربائية الناتجة رقيقة تصل إلى 1 نانومتر ويمكن تبديل حالتها باستعمال جهد منخفض يصل إلى 1 فولط. وقد تحقق تقدم سريع في ذاكرة الوصول العشوائي FeRAM البوليميرية الفيروكهربائية منذ ذلك الحين كتقنية ذاكرة واعدة. ظهر جهاز ذاكرة الترانزستور العضوي الذي يستعمل أوليغومير سيكسيثيوفين sexithiophene oligomer كموصل ومادة حديدية كهربائية لعضوية بوصفها عاملاً عازلاً للبوابات في عام 2001، كما ظهرت أجهزة ذاكرة الترانزستور العضوية أو البوليميرية العالية الأداء. يمكن أن تكون أجهزة ذاكرة الترانزستور أسرع وأكثر تكاملاً مع الإلكترونيات التقليدية، ومع ذلك فهي غير قادرة على تلبية متطلبات الكثافة العالية والتكلفة المنخفضة لأن هناك حاجة إلى محطة طرفية إضافية بين البوابة وقناة أشباه الموصلات. وقد ظهر جهاز ذاكرة من النوع WORM المعتمد على صمامات البوليمير في عام 2003، ويتكون عنصر الذاكرة من غشاء رقيق من السليكون ومصهر بوليمير موصل يتكون من بولي إيثيلين ديوكسيثيوفين PEDOT يشوبه الحمض السلفوني لبولي الستايرين PSS. وقد حظيت أجهزة الذاكرة ثنائية الاستقرار كهربائياً القائمة

على البوليمير باهتمام كبير، حيث سمح نهج التصميم الجزيئي والتوليف بتحقيق العديد من أجهزة الذاكرة الإلكترونية البوليميرية، بما في ذلك ذاكرة فلاش وذاكرة WORM وDRAM.

لتحقيق أجهزة ذاكرة فائقة الكثافة فإن المواد العضوية ذات الحالات المستقرة المتعددة المستويات مرغوبة للغاية. وفي عام 2004 ظهرت الموصلية المتعددة المستويات وتبديل الموصلية في الهياكل فوق الجزيئية في صباغ زهرة بنغال rose bengal؛ حيث لاحظ الباحثون حالة واحدة منخفضة وثلاث حالات عالية التوصيل في أجهزة ذات أغشية رقيقة جداً، وجميع الحالات الأربع التي يمكن الوصول إليها لها تأثيرات ذاكرة مرتبطة بتطبيقات تخزين البيانات. وفي عام 2005 أبلغ العلماء عن تبديل التوصيل المتعدد المستويات في أفلام بولي 2-ميثوكسي-5 (2'-إيثيل-هيكسيلوكسي)، 1.4-فينيلين فينيلين MEH-PPV للمرة الأولى حيث لاحظوا أن جهاز ITO/MEH-PPV/AI لديه القدرة على تخزين سلسلة متصلة من حالات التوصيل. كانت هذه الحالات غير متطايرة ويمكن تبديلها بشكل متكرر بتطبيق تحيزات البرمجة المناسبة فوق جهد عتبة معين، وستزيد الأجهزة التي تظهر قابلية تعدد، حيث يمكن برمجة أكثر من حالتين موصلة في عنصر تبديل واحد بكمية كبيرة جداً من البيانات المخزنة لكل منطقة أو وحدة تخزين. وقد أحرز المزيد من التقدم في تطوير الذاكرة العضوية/البوليميرية المتعددة المستويات في السنوات الأخيرة.

وفي عام 2011 ظهرت ذاكرة ميموري ستور memristor البوليميرية أول مرة في الكوبالت III المحتوي على بوليمير مترافق CP وبوليمير غير مترافق NCP ذات العمود الفقري الأزوتي العطري. كما يمكن أن تعمل البلورات المفردة لإطار عضوي معدني قائم على السيكلوكسترين MOF مملوءة بالكتروليت أيوني وتحيط به أقطاب فضية بمثابة memristors، حيث يمكن تبديل الهيكل المعدني أو الإطار العضوي المعدني أحادي البلورة أو المعدن غير المتجانس بين حالتين الموصلية العالية والمنخفضة بسبب التفاعلات المؤكسدة ذاتية التحديد للأنود المعدني. ينشأ الدافع لجهود البحث في هذا المجال من حقيقة أن أجهزة الذاكرة الإلكترونية العضوية/البوليميرية كانت بديلاً واعداً أو جهازاً تكميلياً لتقنيات الذاكرة التقليدية التي تواجه مشكلة التصغير من النطاق المجهر إلى المقياس النانوي.

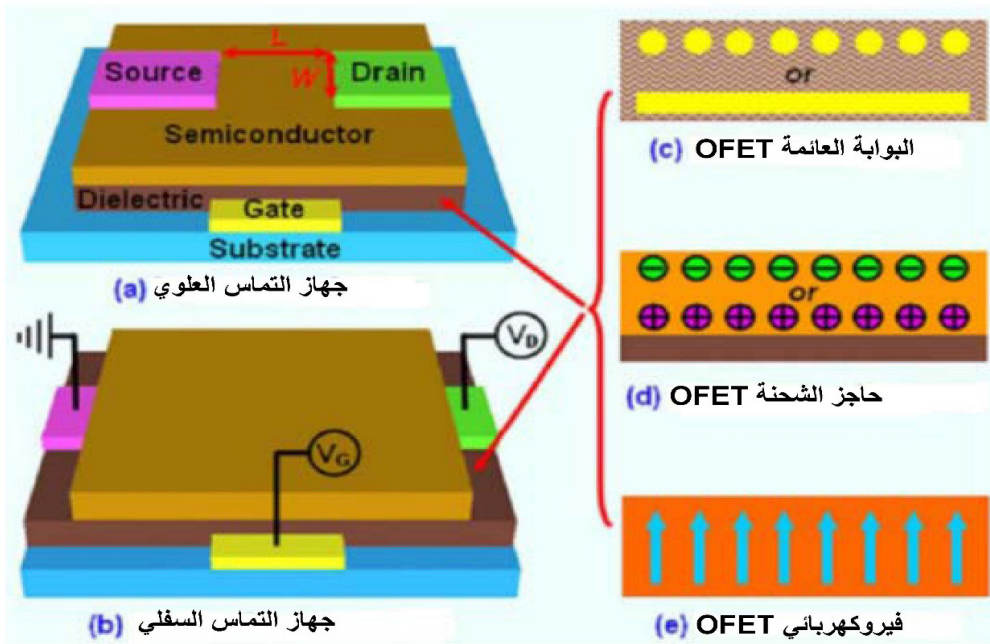
أنواع أجهزة الذاكرة الإلكترونية

يمكن تقسيم أجهزة الذاكرة الإلكترونية وفقاً لهيكل الجهاز إلى ثلاث فئات أساسية: الترانزستورات والمكثفات والمقاومات مع قدرتها على تضخيم الإشارات الإلكترونية وتخزين الشحنات وإنتاج تيارات كهربائية متناسبة، ويمكن تصنيع أجهزة الذاكرة الإلكترونية من الترانزستورات والمكثفات والمقاومات.

الذاكرة الإلكترونية من نوع الترانزستور

تعد الترانزستورات العضوية بما في ذلك البوليميرية ذات إمكانات كبيرة لتطبيقات الذاكرة. لقد اجتذبت أجهزة الذاكرة من نوع الترانزستور العضوي مجالي التأثير OFET اهتماماً بحثياً كبيراً نظراً لبنيتها المدمجة بسهولة والقراءة غير القابلة لإعادة الهيكلة لترانزستور واحد. فضلاً عن ذلك، فإن المرونة الميكانيكية للمواد العضوية تجعلها متوافقة مع الركائز البلاستيكية لتصميم جهاز من خفيف الوزن. ويتكون الترانزستور من عدة مكونات رئيسية وهي: المصدر source، أقطاب التصريف والبوابة drain and gate، وطبقة عازلة للكهرباء وطبقة نشطة من أشباه الموصلات كما هو موضح في الشكل 2. يمكن للأقطاب الكهربائية أن تكون n أو p-Si أو ITO أو PEDOT: PSS أو TaN أو Au أو Pt أو Al أو Cu أو Cr أو معادن أخرى. من بين هذه المعادن غالباً ما تستعمل الأقطاب الكهربائية Au في OFETs لأن وظيفة عمل الذهب قريبة من إمكانات التأين للعديد من مواد البوليمير، مما يؤدي إلى اتصال أومي في الجهاز.

يتكون جهاز ذاكرة OFET من مادة بوليميرية واحدة على الأقل إما في طبقة العازل الكهربائي أو طبقة أشباه الموصلات النشطة أو كليهما. عادة ما يتم دعم الجهاز بطبقة زجاجية أو رقاقة أو طبقة من البلاستيك. يوجد نوعان من تكوين الجهاز: جهة الاتصال العلوي والتلامس السفلي كما في الشكل 2 a و b. تصنع في الحالة الأولى أقطاب المصدر والتصريف على طبقة شبه موصلة مسبقة التشكيل، في حين تنشأ الثانية بترسيب المواد العضوية على نقاط التلامس.



الشكل 2. تركيب OFET. طول القناة L هو المسافة الفاصلة بين البوابة gate والكترودات التصريف drain، وعرض القناة W هو اتساع الإلكتروادات.

يمكن للجهد المطبق على زوج واحد من أطراف الترانزستور (إما المصدر-الصرف أو المصدر-البوابة) تغيير التيار المتدفق عبر زوج آخر من المحطات. يشار إلى الجهد المطبق بين المصدر والصرف بجهد المنبع والتصريف V_G ، ويشار إلى التيار المتدفق عبر غشاء أشباه الموصلات من المصدر إلى الصرف باسم تيار المصدر-الصرف (I_D). بالنسبة لأشباه الموصلات المشابهة قليلاً أو غير المشابهة يكون تركيز حاملات الشحن الحرة في القناة منخفضاً جداً. وعندما يكون $V_G = 0\text{ V}$ ، يكون I_D منخفضاً جداً ويكون الترانزستور في حالة إيقاف التشغيل من البداية. مع زيادة V_G يمكن أن تتراكم طبقة من الشحنات المنتقلة من المصدر عند الواجهة بين أشباه الموصلات والعازل، وبسبب زيادة تركيز حامل الشحنة في أشباه الموصلات، يزيد I_D بشكل كبير ويحول الترانزستور إلى حالة التشغيل. إضافة إلى ذلك، يمكن أيضاً تشغيل ذاكرة الترانزستور ذات التأثير المجالي عند V_G ثابت و I_D متغير.

لكي يكون الترانزستور غير متطاير لتطبيقات الذاكرة يجب تخزين الشحنة أو استقطابها في مجالات داخل الجزء الأكبر من الطبقة العازلة أو في واجهات بين اتصال البوابة وقناة أشباه الموصلات، وبالتالي ينشأ جهد إضافي عبر تخزين الشحنة أو الاستقطاب بين البوابة وقناة أشباه الموصلات لتغيير توزيع الشحنة في الترانزستور. على أساس طرائق تخزين الشحنة والاستقطاب في الطبقة أو الواجهات العازلة للكهرباء يمكن تقسيم أجهزة ذاكرة OFET إلى ثلاث فئات: ذاكرة البوابة العائمة OFET وذاكرة OFET الحاضرة للشحن وذاكرة OFET الفيروكهربائية.

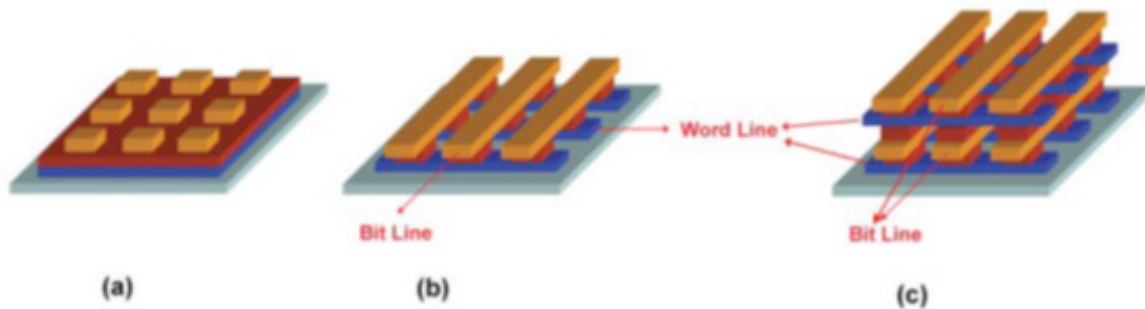
الذاكرة الإلكترونية من نوع المكثف

يمكن للمكثفات تخزين الشحنات على قطبين كهربائيين متوازيين تحت تأثير مجال كهربائي مطبق، وبناءً على مقدار الشحن المخزن في الخلية يمكن تفسير مستوى البت (إما 0 أو 1) وفقاً لذلك. عندما يكون الوسط بين الأقطاب الكهربائية مجرد عازل للكهرباء، فستفقد الشحنة المخزنة في النهاية. وهكذا فإن ذاكرة DRAM التي تستعمل مكثفاً عازلاً هي ذاكرة متطايرة، وتتلاشى المعلومات المخزنة في DRAM في النهاية ما لم تُحدث شحنة المكثف بشكل دوري. من ناحية أخرى، إذا كان الوسط ذا طبيعة حديدية كهربائية، فيمكن الحفاظ على الاستقطاب الكهربائي الدائم ويمكن تحقيق وقت احتجاز أطول. يمكن للمادة الفيروكهربائية أن تحافظ على استقطاب كهربائي دائم يمكن تبديله بشكل متكرر بين حالتين مستقرتين بمجال كهربائي خارجي، وبالتالي فإن الذاكرة القائمة على المكثفات الفيروكهربائية

FeRAM هي ذاكرة غير متطايرة. لا يحتاج FeRAM إلى تحديث دوري ولا يزال يحتفظ ببياناته في حالة انقطاع التيار الكهربائي. كما يمكن أيضاً استعمال المواد العضوية والبوليميرية الكهربائية في تطبيقات DRAM و FeRAM.

الذاكرة الإلكترونية من نوع المقاومة

تصنف الأجهزة التي تتضمن مواد مقاومة قابلة للتبديل بشكل عام على أنها ذاكرة من النوع المقاوم أو ذاكرة وصول عشوائي مقاومة RRAM. وعلى عكس أجهزة ذاكرة الترانزستور والمكثف لا تتطلب الذاكرة من نوع المقاوم بنية محددة للخلية مثل FET أو أن تتكامل مع تقنية CMOS؛ أي تقنية أشباه الموصلات التكميلية المعتمدة على أكاسيد المعادن. تقوم أجهزة الذاكرة من النوع المقاوم بتخزين البيانات في شكل مختلف تماماً؛ فعلى سبيل المثال تقوم بالتخزين بناءً على حالات التوصيل الكهربائي المختلفة أي حالات التشغيل والإيقاف. تنشأ الثباتية الكهربائية عادةً من التغيرات في الخصائص الجوهرية للمواد مثل نقل الشحنة وتغير الطور وتغير التشكل وتفاعل الاختزال والأكسدة (الريدوكس)، وذلك استجابةً للجهد المطبق أو المجال الكهربائي.



الشكل 3. التكوين الأساسي لجهاز ذاكرة الاختبار. (a) تمثيل جهاز ذاكرة بوليميري 3*3، (b) 3(خط الكلمة)*3(خط البت) نقطة تقاطع صفيق ذاكرة، (c) 3(خط الكلمة)*3(خط البت) جهاز ذاكرة متراص.

عادةً ما تحتوي الذاكرة الإلكترونية من نوع المقاوم على بنية بسيطة بغشاء رقيق عضوي/بوليميري محصور بين قطبين على ركيزة داعمة (زجاج، رقاقة سليكون، بلاستيك أو رقائق معدنية). يمكن أن يكون تكوين الأقطاب الكهربائية العلوية والسفلية إما متماثلاً أو غير متماثل مع الألمنيوم والذهب والنحاس والسليكون المشبع بـ p أو n، و ITO كمواضع الأقطاب الأكثر استعمالاً. تتكون هياكل الاختبار عادةً من غشاء بوليميري رقيق مغزول على القطب السفلي؛ على سبيل المثال ITO مع ترسيب الأقطاب الكهربائية العلوية بشكل قناع الظل shadow mask عبر التبخر الحراري في غرفة مفرغة. تشكل المنطقة التي يغطيها القطب العلوي منطقة الجهاز النشطة. يظهر الشكل 3 التكوين الأساسي لجهاز ذاكرة الاختبار، حيث يمكن دمج خلايا الذاكرة الفردية في صفيق ذاكرة شريطي ثنائي الأبعاد كما هو موضح في الشكل 3(b)، وتكون مكسدة بشكل أكبر في أجهزة تخزين بيانات ثلاثية الأبعاد كما في الشكل 3(c). يمكن التعرف على كل خلية في صفيق الذاكرة الثنائية الأبعاد أو الجهاز المكسد الثلاثي الأبعاد بإحداثياتها الديكارتية الفريدة. نظراً للهيكل البسيط ذي الطرفين والغشاء الرقيق النانوي النشط العضوي/البوليميري يمكن تحقيق كثافة تخزين بيانات عالية في الذاكرة العضوية/البوليميرية.

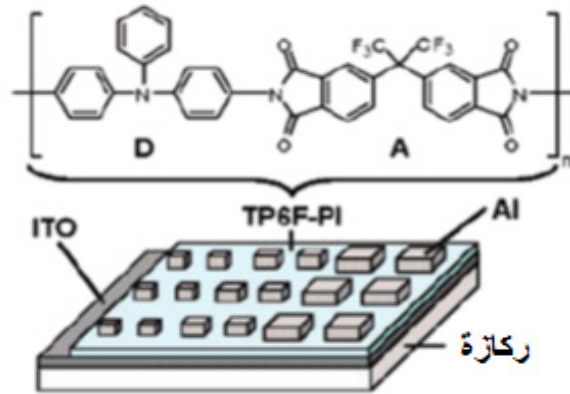
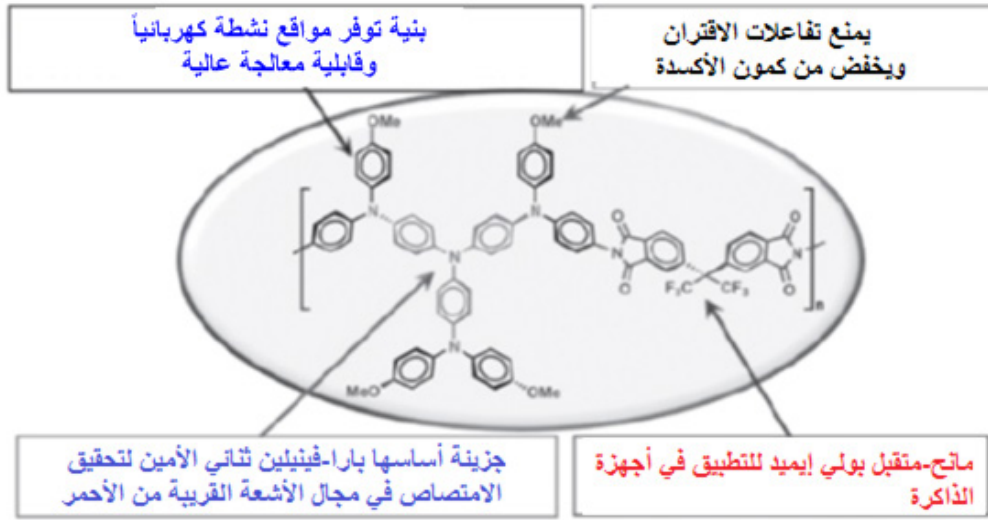
تعتمد الذاكرة من نوع المقاوم على تغيير الموصلية الكهربائية للمواد استجابةً للجهد المطبق أو المجال الكهربائي. وقد اقترحت آليات مختلفة لشرح تبديل الموصلية الكهربائية في أجهزة الذاكرة العضوية/البوليميرية، ومن بين أكثر الآليات دراسة التوصيل الفتيلي filament conduction والشحنات الفضائية space charges والفخاخ traps، وتأثيرات نقل الشحنة والتغيرات التشكلية.

المواد البوليميرية المستعملة في الذاكرة الإلكترونية

يمكن تصميم البنية الجزيئية للمواد البوليميرية باستعمال مانح ومتقبل للإلكترونات بقوى مختلفة ومجموعات مبادعة ذات تأثيرات فراغية مختلفة ومجموعات طرفية نشطة كهربائياً للحث على سلوكيات تبديل متنوعة متناسبة مع تطبيقات الذاكرة الإلكترونية.

بولي الإيميدات الوظيفية functional polyimides

بولي الإيميدات الوظيفية PIs هي واحدة من أكثر المواد البوليميرية جاذبية لتطبيقات الذاكرة الكهربائية العضوية بسبب قابليتها للمعالجة الجيدة في المحلول والاستقرار الحراري العالي والقوة الميكانيكية. تؤدي مجموعة الفثال إيميد دور المتقبل، ويضاف ثلاثي فينيل الأمين TPA أو الكاربازول كمانح لتشكيل بنية مانح-متقبل D-A structure. كما يمكن تشكيل حالة انتقال الشحنة CT بسبب المجال الكهربائي، وهي الآلية الرئيسية المسؤولة عن سلوك الذاكرة. ظهرت أجهزة الذاكرة الإلكترونية القائمة على PIs القابلة للذوبان أول مرة في عام 2006، وكما هو موضح في الشكل 4 تحتوي TP6F-PI الوظيفية على ثلاثي فينيل أمين كمانح للإلكترون والفثال إيميد كمستقبل. تؤدي مجموعة hexafluoroisopropylidene (6F) دوراً مهماً في زيادة قابلية ذوبان PIs نظراً لضخامتها وانخفاض طاقتها السطحية. أظهر TP6F-PI ثباتاً حرارياً ممتازاً مع فقدان للوزن بنسبة 10% عند درجة الحرارة 524 سلزيوس وبلغت درجة التزجج 316 سلزيوس.

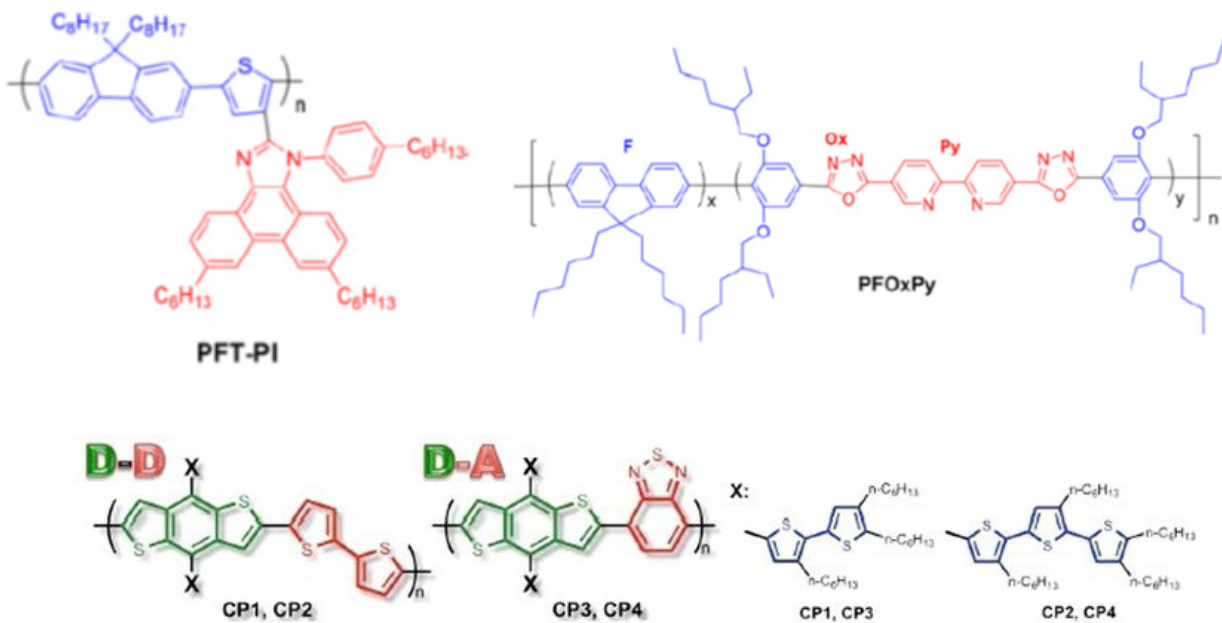


الشكل 4. البنية الجزيئية للبولي إيميد الوظيفي TP6F-PI وشكل ترسيمي لجهاز ذاكرة أحادي الطبقة، واستراتيجية تصميم جزيئة بولي إيميد 9Ph-6FDA أساسها ثلاثي الأمين.

يظهر جهاز Al/TP6F-PI/ITO سلوك ذاكرة الوصول العشوائي الديناميكي DRAM مع نسبة تيار تشغيل/إيقاف تصل إلى 10^5 . يعد نقل الشحنة المستحثة بالمجال من ثلاثي فينيل أمين إلى فثال إيميد هو المسيطر على سلوك التبديل. منذ عام 2006 لوحظ عدد كبير من تأثيرات الذاكرة بما في ذلك سلوك التبديل المتقلب وغير المتقلب في عدد من PIs. وقد طُورت أجهزة وظيفية متعددة الألوان مرنة ومزدوجة ذات خصائص ذاكرة كهربائية ومتطايرة من محلول PI المحتوي على TPA القابل للمعالجة، ومثالها جهاز الذاكرة المرنة ITO/9Ph-6FDA /Al الذي يبدي سلوك ذاكرة SRAM.

البوليميرات المترافقة conjugated polymers

كُرِّسَ جهد كبير لتطوير بوليميرات جديدة مترافقة لتكنولوجيا المعلومات والاتصالات، حيث يؤثر دمج مستقبلات إلكترون مختلفة في البوليمير المترافق المانح بشكل كبير على خصائص الذاكرة، بينما تحدد بيئة الأسر المستحثة أو قناة نقل الشحن تطاير الذاكرة. استعملت بوليميرات مترافقة من النوع D-A لتصنيع أنواع مختلفة من أجهزة الذاكرة مثل أجهزة DRAM و SRAM المتطايرة، وأجهزة WORM و Flash غير المتطايرة. ويمكن لـ ITO/PFOxPy/Al كتابة وقراءة ومسح وتحديث حالاته الإلكترونية؛ مما يؤدي إلى أداء وظائف جهاز DRAM. يُعزى سلوك الذاكرة الخاص بها إلى تأثيرات شحن الفضاء وإزالة الأسر. استعملت البوليميرات المترافقة ذات قابلية المعالجة الجيدة لتصنيع أجهزة ذاكرة مرنة، حيث استعمل بوليمير PFT-PI مترافق مع مانحين من الفلورين والثيوفين في السلسلة الرئيسية ومتقبل الفينانثرو [9,10-د] - إيميدازول في السلسلة الجانبية كطبقة نشطة لجهاز مرن. وأظهر الجهاز المرن Al/PFT-PI/Al سلوك ذاكرة غير متطايرة قابلة لإعادة الكتابة. يمكن أن تعمل أجهزة الذاكرة المرنة بجهد منخفض (أقل من >2.5 فولت) مع نسب تيار تشغيل/إيقاف عالية (10^4) وأظهرت متانة ممتازة في اختبارات الانحناء المتكررة. استعملت أيضاً البوليميرات المترافقة القائمة على البنزوديثيوفين BDT والتي تُظهر أداءً جيداً في كل من ترانزستورات تأثير المجال العضوي والخلايا الشمسية في الذاكرة البوليميرية، حيث حضرت سلسلة من البوليميرات المترابطة D-D و D-A القائمة على BDT. أظهرت هذه المواد خصائص ذاكرة WORM الموثوقة القابلة للتكرار في أجهزة الذاكرة المرنة ITO/CPs/Al، كما أظهرت البوليميرات المترافقة ذات الأعمدة الفقرية والسلاسل الجانبية المختلفة ثباتاً مختلفاً لحالات شحنها المنفصلة. ويعرض الشكل 5 البنى الكيميائية للبوليميرات السابقة.



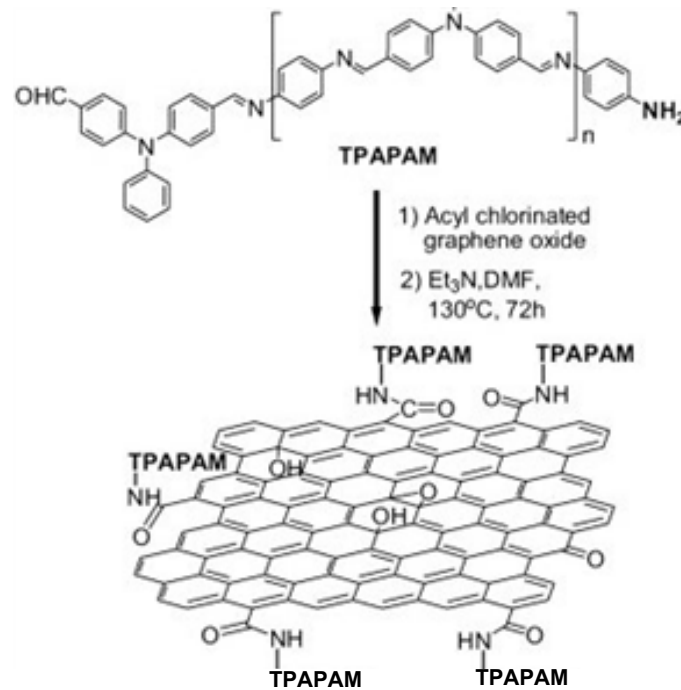
الشكل 5. البنى الكيميائية لبعض البوليميرات المترافقة المستعملة في الذاكرة الإلكترونية.

البوليميرات المعدلة كيميائياً مع الفوليرين أو الغرافين

polymers chemically modified with Fullerenes or Graphene

أظهرت المواد النانوية الكربونية مثل الفوليرين والغرافين ومشتقاتهما أداءً جيداً في الأجهزة الإلكترونية الضوئية، وقد صنع بولي فينيل كاربازول PVK مع الفوليرين المرتبط تشاركياً PVK-C60، حيث تعمل مجموعة الكاربازول كمانح للإلكترون وجزء لنقل الثقوب، ويعمل C-60 كمستقبل للإلكترون. وقد أظهر جهاز ITO/PVK - C60 /Al المُصنَّع سلوك ذاكرة غير متطايرة قابلة لإعادة الكتابة. وبإجراء بعض التعديلات الكيميائية على البنية نتج جهاز ذاكرة WORM بجهد تشغيل أقل من 0.9 فولت ونسبة تشغيل/إيقاف أعلى بكثير 10^9 من تلك الموجودة في المترابكات والبوليميرات المختلطة. تؤدي الوظيفة الكيميائية أيضاً دوراً رئيسياً في تصميم الهيكل وقابلية المعالجة والخصائص الفيزيائية والكيميائية والإلكترونية لصفائح أكسيد الغرافين GO النانوية. وباستعمال طريقة "التطعيم إلى" أو "التطعيم من"

دمجت مجموعة متنوعة من البوليميرات النشطة كهربياً بشكل تشاركي على السطح أو إلى حافة الصفائح النانوية GO لتصنيع أجهزة ذاكرة بوليميرية؛ حيث استعمل البولي آزوميثين المترافق المعتمد على ثلاثي فينيل أمين TPA، والمطعم تشاركياً إلى TPAPAM-GO GO مباشرة لتصنيع أجهزة الذاكرة كما هو موضح في الشكل 6. من خلال الحقن الفعال للثقب وإمكانية التنقل العالية للنقل، وإمكانية التأين المنخفضة لسلاسل بوليمير TPAPAM، أظهرت الأجهزة تبديلاً كهربائياً ثابتاً وتأثيرات ذاكرة قابلة لإعادة الكتابة غير المتطايرة مع جهد تشغيل صغير يبلغ حوالي 1 فولت ونسبة تيار تشغيل/إيقاف لأكثر من 10^3 . استقرت حالة CT لـ TPAPAM-GO بشكل فعال بسبب عدم تموضع الإلكترون في صفائح الغرافين النانوية، مما يؤدي إلى الطبيعة غير المتطايرة لجهاز الذاكرة.

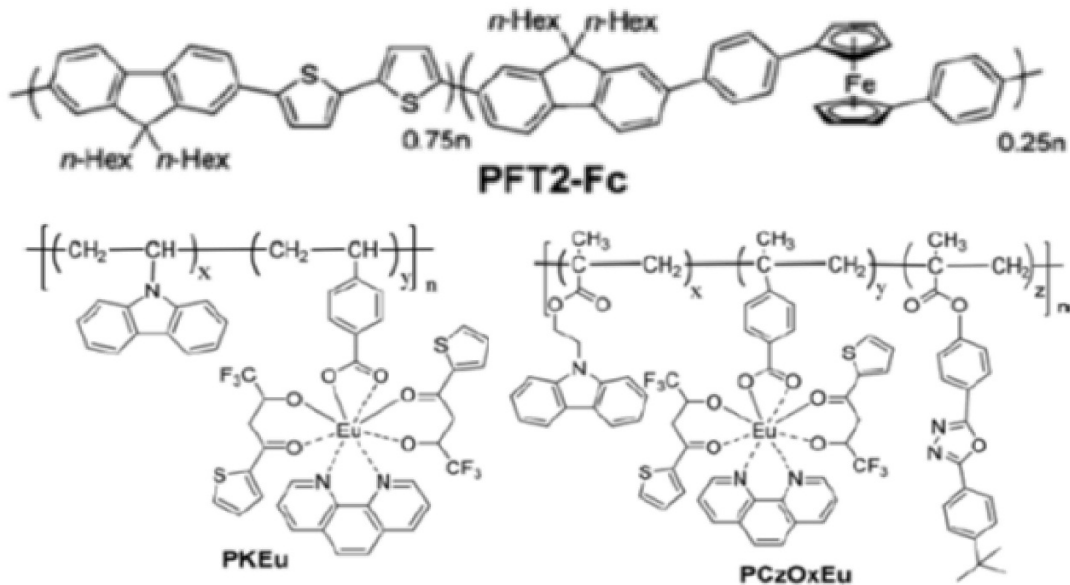


الشكل 6. البنية الكيميائية وطريقة تحضير TPAPAM-GO.

بوليميرات تحتوي على معقدات معدنية polymers containing metal complexes

يمكن أن تحسن الألفة الكهربائية لمعقدات المعادن الانتقالية عند إدخالها في العمود الفقري للبوليمير أو سلسله الفرعية من ثبات الحالات الموصلة، ويمكن أن تجعل خصائص الأكسدة والاختزال العكسية الخاصة بها جهاز ذاكرة البوليمير أكثر ملاءمة للتطبيقات العملية. ولعل معقدات الحديد الثنائي أو الفيروسين ferrocene الأهم في هذه المجموعة كونها مدروسة جيداً؛ حيث إن سلوك الأكسدة والاختزال العكوس وشكله المؤكسد المستقر Fe³⁺ يحقق إمكانية عدم التطاير لتطبيقات الذاكرة، ومن الأمثلة على هذا النوع من المعقدات البوليمير المترافق PFT2-Fc والجهاز المصنوع منه Al/LiF/PFT2-Fc/ITO الذي أظهر سلوك ذاكرة غير متطايرة قابلة لإعادة الكتابة. تتضمن آلية التبديل الخاصة به دور الفيروسين كإشابة معتمدة على الفولطية في الموقع أثناء عملية الأكسدة والإرجاع مما يؤدي إلى تعزيز موصلية الغشاء البوليميري.

ومن الأمثلة الأخرى البوليميرات الوظيفية من نوع مانح-مستقبل المصنعة من معدن الإيريبيوم Eu مع مانح كاربازول PKEu، حيث يمنع الفيلم الشفاف والمتجانس المصطنع ظاهرة تجمع الأيونات وفصل الطور الشائعة في الأنظمة المختلطة أو المطعمة. وقد أظهر جهاز Al/PKEu/ITO سلوك ذاكرة غير متطايرة قابلة لإعادة الكتابة مع نسبة تيار تشغيل/إيقاف عالية تصل إلى 10^4 ، كما يحدث انتقال الجهاز في أقل من 20 ميكرو ثانية. وقد أدى إدخال مجموعات 1,3,4-أوكساديازول (مستقبلات الإلكترون) في سلاسل البوليمير، للحصول على بوليمير جديد ثلاثي الكتلة PCzOxEu. أظهر الجهاز الذي يعتمد على PCzOxEu أداءً أفضل للذاكرة القابلة لإعادة الكتابة مع زيادة نسبة تيار التشغيل/الإيقاف إلى 10^5 ، ووقت استجابة التبديل إلى 1.5 ميكرو ثانية، وأكثر من 10^6 دورة قراءة وزمن استبقاء أكثر من 8 ساعات. ويظهر الشكل 7 البنى الكيميائية لهذه البوليميرات.



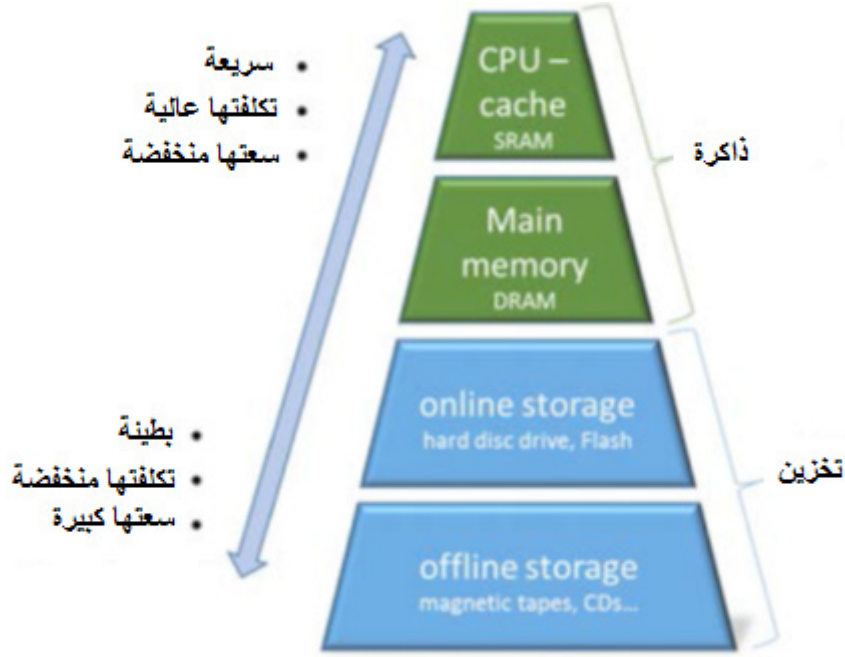
الشكل 7. البنى الكيميائية لبعض البوليميرات المحتوية على المعقدات المعدنية من أجل الذاكرة الإلكترونية.

الخلاصة

هناك العديد من المتطلبات الأساسية التي يجب أن تفي بها المواد الجديدة ومفاهيم الأجهزة وعناصر الذاكرة القائمة على هذه المواد لتتفوق على التقنيات المعمول بها. ولعل أهمها:

- عدم التقلب (التطاير): إذ يجب الحفاظ على الحالة لعدة سنوات على الأقل حتى إذا أوقف تشغيل جهد الإمداد.
- أوقات قراءة وكتابة ومسح سريعة في نطاق ساعة وحدة المعالجة المركزية (~ غيغا هرتز)؛ مما يمنع تأثير الاختناق في الاتصال بين المكونات الفردية في تطبيق إلكتروني.
- القدرة على إعادة التدوير: 10^{15} - 10^{12} دورات كتابة وقراءة ومسح، والقراءة ينبغي أن تكون ممكنة.
- التوافق مع أشباه الموصلات المعدنية التقليدية التكميلية (CMOS) complementary metal-oxide-semiconductor، والتوافق مع مصانع تصنيع أشباه الموصلات الموجودة.
- درجة حرارة التشغيل لا تزيد عن الدرجة 85 سلزيوس، وانخفاض استهلاك الطاقة.
- نسبة تيار التشغيل/الإيقاف؛ هنالك فرق واضح بين حالة 0 (إيقاف) و1 (تشغيل) والتي تتيح استعمال الأجهزة الإلكترونية الطرفية البسيطة وقراءة موثوقة.
- كثافة تكامل عالية تصل إلى $4F^2$ ، حيث تشير F إلى أصغر حجم ميزة يمكن الحصول عليها بالطباعة الحجرية.
- قراءة غير متلفة.
- تكامل ثلاثي الأبعاد على طبقات متعددة وبتات متعددة لكل خلية.
- النفاذ العشوائي؛ إذ يجب أن يكون الوصول إلى كل خلية بتات متاحاً مباشرة، كما أن القراءة المتسلسلة ضرورية.

لا تلبى تقنيات الذاكرة السائدة اليوم كل هذه المعايير في وقت واحد، ويعتمد القرار بشأن استعمال تقنية الذاكرة أو التخزين بشدة على حالة التطبيق الفعلية. يصور الشكل 8 التسلسل الهرمي لأجهزة التخزين والذاكرة. عادةً ما يُنظر في التخزين والذاكرة بشكل منفصل، حيث يتضمن المصطلح الأول تقنيات غير متطايرة وذات سعة عالية ويستعمل المصطلح الثاني للتكنولوجيات السريعة ذات السعة المنخفضة والتقنيات المتقلبة. وعلى هذا المنوال، فإن المهمة الرئيسية على المدى الطويل هي تطوير تقنية توحد تقنية الذاكرة والتخزين في "ذاكرة فئة التخزين" مع مزايا كليهما. سيسمح هذا، على سبيل المثال، في تصميم أجهزة الكمبيوتر بحيث لا تحتاج أنظمة التشغيل والبيانات الأخرى إلى قراءتها من محرك الأقراص الثابتة إلى الذاكرة الرئيسية عند تشغيلها.



الشكل 8. التسلسل الهرمي لأجهزة التخزين والذاكرة.

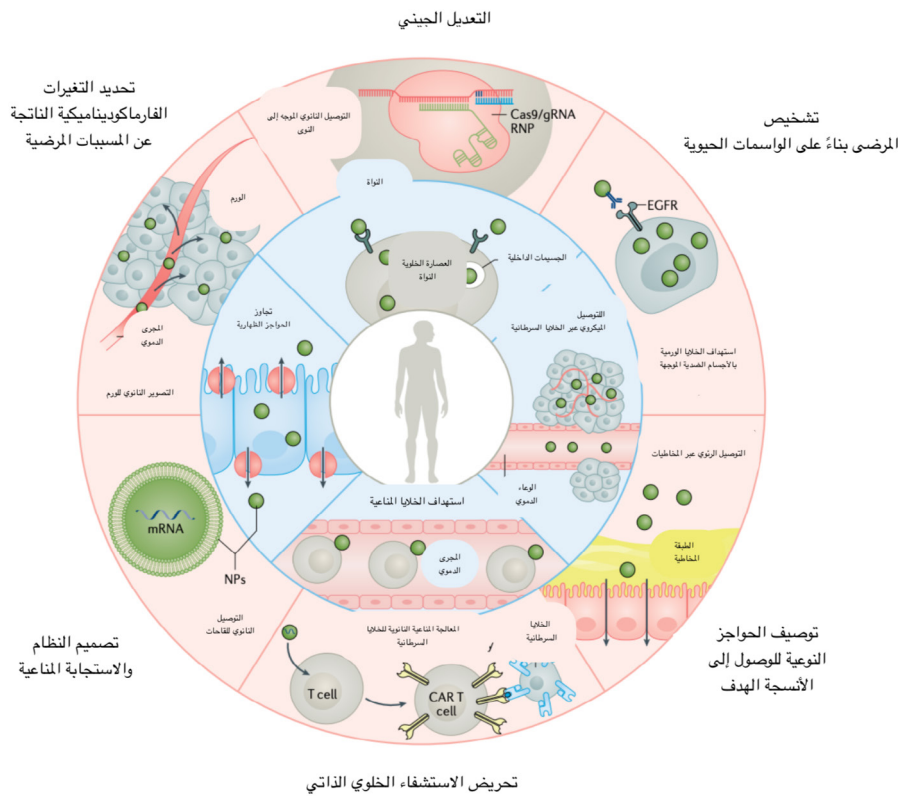
تهيمن اليوم ثلاث تقنيات على السوق كل منها متخصص بدرجة عالية في مجال تطبيقه، وهي ذاكرة الوصول العشوائي الديناميكية DRAM وذاكرة الفلاش ومحركات الأقراص الثابتة المغناطيسية. أما التقنيات الناشئة مثل ذاكرة الوصول العشوائي الفيروكهربائية FeRAM وذاكرة الوصول العشوائي المقاومة للمغناطيسية وذاكرة الوصول العشوائي لتغيير الطور والذاكرة المقاومة فهي على وشك دخول السوق. على مدار العقود الماضية استعملت أيضاً مجموعة متنوعة من مفاهيم المواد العضوية والهجينة كعناصر في خلايا الذاكرة بما في ذلك البوليميرات المترافقة والجزيئات الصغيرة والمواد العضوية/الهجينة والكالكوجينيدات والبيروفسكايت الرقيق الغشاء والمفاتيح الكهروميكانيكية والبوليميرات العضوية الحديدية الكهربية... إلخ.

اعتماداً على المبدأ الوظيفي الفردي تدمج هذه المواد في عناصر الذاكرة باستعمال بنية الترانزستور أو الصمام الثنائي أو المكثف أو المقاوم مما يؤدي إلى خلية ذاكرة فردية. ومع ذلك، وفقاً لخريطة طريق التكنولوجيا الدولية لأشباه الموصلات في مقارنة شاملة وقياس معياري لنوع معين من المواد المستعملة في خلايا الذاكرة، ليس من المهم فقط الحكم على الخصائص الكهربائية للمادة فيما يتعلق بقابلية التوسع ووقت القراءة ووقت الكتابة وتبديل الطاقة ووقت الاستيقاظ والعوامل الأخرى ولكن أيضاً إذا كانت المادة متوافقة مع تقنية التصنيع وإذا كان عنصر الجهاز يفي بقيود التصميم للتكامل العالي الكثافة. من بين المرشحين المقدمين هنا والذين يغطون البوابة الحديدية الكهربية والعائمة ذاكرة الترانزستور العضوية وتقنيات الذاكرة المقاومة المختلفة، لا شك أن الأخيرة هي المرشح الواعد ليس فقط لاستبدال التكنولوجيا الحالية بنظير عضوي ولكن أيضاً للعمل كذاكرة فئة تخزين storage class memory.

المراجع

- Chen W-C (2016). Electrical Memory Materials and Devices. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.
- Liu S, Chen X, Liu G (2021). Conjugated polymers for information storage and neuromorphic computing. Polymer International 70(4): 374-403.

هندسة الجسيمات النانوية لايصال الدواء



توسّع استخدام الجسيمات النانوية في السنوات الأخيرة على نطاق واسع في التطبيقات السريرية، فقد، تم تطوير الجسيمات النانوية للتغلب على قيود المعالجة وتجاوز الحواجز البيولوجية غير المتجانسة بين المرضى والأمراض، واستمر تطوير الجسيمات النانوية للتركيز على تحسين طرائق التوصيل باستخدام حل واحد يناسب الجميع. يتم تصميم الجسيمات النانوية البوليميرية والليبيدية وغير العضوية بطرائق محددة، حيث إن التصميم الذكي للجسيمات النانوية يمكن أن يحسّن الفعالية في التوصيل العام مع تمكين تصميمات مخصصة من تحقيق أهداف دقيقة وفي النهاية تحسين مطاوعة واستشفاء المريض بشكل عام.

الجسيمات النانوية وتصنيفها

تعد الجسيمات النانوية المصممة هندسياً وأعادة بشكل كبير من حيث دقة تشخيص المرض وخصوصية العلاج، ويمكن أن تساعد تقنية النانو في التغلب على الآثار الجانبية للتوصيل التقليدي للدواء من خلال استهداف خلايا محددة والنقل الجزيئي إلى عضيات محددة وتعزيز النقل عبر الأغشية وإطالة زمن دورانها الدموي وزيادة السلامة والفعالية (الشكل 1)؛ لهذه الأسباب كانت الأبحاث المتعلقة بالجسيمات النانوية منتشرة على نطاق واسع، وكانت النتائج واعدة في النماذج المخبرية والحيوانية الصغيرة. ومع ذلك، فإن عدد الأدوية النانوية المتاحة للمرضى أقل بكثير من التوقعات الميدانية، ويرجع ذلك جزئياً إلى فجوة انتقالية بين الدراسات الحيوانية والإنسانية، وتأتي هذه الفجوة من عدم فهم الاختلافات في علم وظائف الأعضاء وعلم الأمراض بين أنواع النماذج الحيوانية والبشر، وتحديد كيفية تأثير الاختلافات على سلوك ووظيفة الجسيمات النانوية في الجسم، ولا تعد الاختلافات بين الأنواع العامل الوحيد الذي يحد من الترجمة السريرية؛ إذ يمكن أن يؤدي عدم التجانس في الأسس البيولوجية للأمراض وبين المرضى إلى تغيير فعالية الجسيمات النانوية لأن النمو وهيكلة الأنسجة المريضة يغيران من التوزع الحيوي للجسيمات ووظائفها. بناءً على ذلك تم إنشاء مبادرة الطب الدقيق PMI في عام 2015 وكان الهدف منه الاستفادة من معلومات المريض مثل الملف الجيني والتعرضات البيئية أو الأمراض المصاحبة لتطوير خطة علاج فردية. يقلل الطب الدقيق من تأثير عدم تجانس المرضى، ويسمح بتقسيم المرضى إلى طبقات أكثر دقة وتحسين خصوصية الأدوية واستراتيجيات الجرعات. ومع ذلك، تخضع العلاجات الدقيقة البيولوجية نفسها التي تحول دون توصيل الأدوية الأخرى، مما يحد من إمكاناتها السريرية. على هذا النحو، فإن تصميمات الجسيمات النانوية الجديدة المستندة إلى بيانات المريض والمصممة للتغلب على حواجز معينة في مجموعة سكانية طبقية من المرضى يمكن أن تحسن بشكل كبير تقديم علاجات الطب الدقيق والاستجابة لها خصوصاً فيما يتعلق بطب السرطان والعلاج المناعي وتعديل الجينات في الجسم الحي.

تشتمل الجسيمات النانوية ذات الأساس الدهني على هياكل كروية تشتمل على طبقة ثنائية من الدهون على الأقل كنظام توصيل، كما تقدم الجسيمات النانوية القائمة على الليبيدات العديد من المزايا بما في ذلك بساطة التشكيل والتجميع الذاتي والتوافق الحيوي والقدرة على تحقيق كبسلة عالية لمجموعات عديدة من المواد الدوائية ذات الخصائص الفيزيائية والكيميائية المختلفة التي يمكن التحكم فيها لتعديل خصائصها البيولوجية؛ لهذه الأسباب تعد الجسيمات النانوية القائمة على الليبيدات هي الفئة الأكثر شيوعاً من الحوامل النانوية المعتمدة من قبل إدارة الأغذية والعقاقير الأمريكية. وتتكون الجسيمات النانوية الليبيدية عادةً من الدسم الفوسفورية التي يمكن أن تشكل هياكل حويصلية أحادية الطبقة ومتعددة الطبقات، وهذا يسمح للجسيم الشحمي بحمل وتقديم الأدوية المحبة للماء والمحبة للدسم كما يمكنها كبسلة المركبات المائية والمحبة للدهون في النظام نفسه، وبالتالي توسيع استخدامها. يتم تحديد ثباتها في المخبر وفي الجسم الحي من خلال حجم الجسيمات والشحنة السطحية وتوضع الليبيدات وعدد الصفائح وتعديلات السطح التي يمكن تغييرها أثناء الصياغة؛ نظراً لأنه يمكن قبطها take up بسرعة من قبل النظام الشبكي البطاني، وغالباً ما تشتمل الجسيمات الليبيدية على تعديلات سطحية لإطالة زمن الدوران الدموي وتعزيز الإيصال الدوائي، مما يحسن من استخدامها السريري.

تستخدم الجسيمات النانوية الليبيدية LNPs على نطاق واسع لإيصال الأحماض النووية وهي تختلف عن الجسيمات الليبيدية التقليدية في المقام الأول لأنها تشكل هياكل مذيلات micellar داخل لب الجسيم. تتكون LNPs عادةً من أربعة مكونات رئيسية: الدهون الكاتيونية أو المؤينة التي تتعد مع المواد الوراثية السالبة الشحنة وتساعد على الاحتباس الداخلي والدهون الفوسفورية لتكوين الجسيمات والكوليسترول من أجل الاستقرار واندماج الغشاء بالخلايا الحية وتعديل السطح لتحسين الاستقرار والدورة الدموية. إن فعالية توصيل الأحماض النووية إلى جانب تركيبها البسيط وصغر حجمها واستقرارها في المصل أعطت الـ LNPs دوراً مهماً بشكل خاص في تطبيقات العلاج الجيني الشخصية.

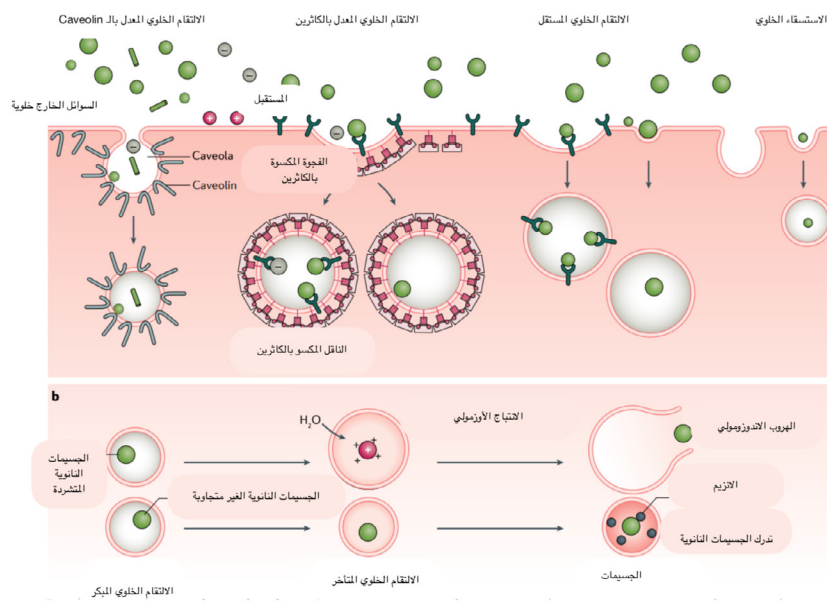
يتم تصنيع الجسيمات النانوية البوليميرية باستخدام تقنيات مختلفة مثل الاستحلاب (أي إزاحة المذيبات أو الانتشار) والترسيب النانوي والتصلب الأيوني والتي تؤدي جميعها إلى نتائج نهائية مختلفة. تتميز الجسيمات النانوية البوليميرية أيضاً بقدرات متغيرة على توصيل الأدوية. يمكن تضمين المواد الدوائية داخل هيكل الجسيمات النانوية بشكل غير تساهمي في مصفوفة البوليمير-المرتبط كيميائياً مع البوليمير أو المرتبط بسطح الجسيم النانوي- مما يتيح تسليم المركبات الكارهة للماء

دراسة الحواجز
البيولوجية وصولاً إلى
تطبيقات الطب الدقيق

From biological
barriers to precision
medicine applications

والمحبة للماء، وكذلك المواد الدوائية ذات الأوزان الجزيئية المختلفة مثل الجزيئات الصغيرة والجزيئات البيولوجية الكبيرة كالبروتينات واللقاحات؛ مما يجعل الجسيمات البوليميرية مثالية لتطبيقات التحميل المشترك عن طريق تعديل الخصائص مثل التركيب والاستقرار وشحنة السطح وكفاءة التحميل وحركية التحرر. إن أكثر أشكال الجسيمات النانوية البوليميرية شيوعاً هي الكبسولات النانوية؛ وهي عبارة عن تجاويف محاطة بغشاء بوليميري وأنظمة شبكية صلبة. وضمن هاتين الفئتين الكيرتين يتم تقسيم الجسيمات النانوية البوليميرية إلى أشكال أخرى مثل polymersomes و micelles و dendrimers. تعد الجسيمات البوليميرية فعالة لتوصيل العلاجات إلى السيتوبلازم الخلوي بعد تحميل مواد دوائية مختلفة بما فيها البروتينات وقد تم استخدامها لإيصال علاجات السرطان في التجارب السريرية.

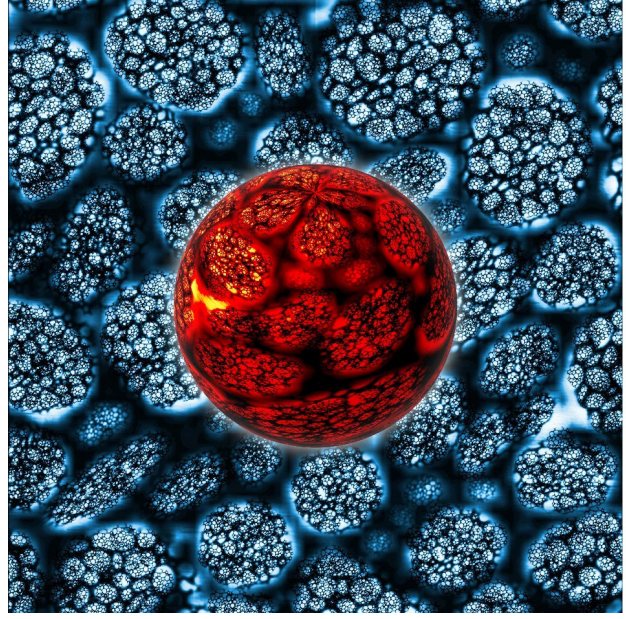
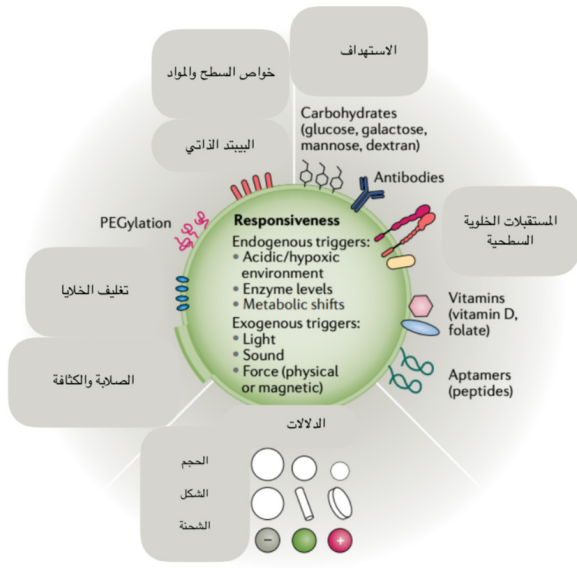
ال dendrimers هي عبارة عن بوليميرات مفرطة التشعب مع بنى معقدة ثلاثية الأبعاد يمكن التحكم في كيميائها كتلتها وحجمها وشكلها وسطحها بدرجة كبيرة. تتيح المجموعات الوظيفية النشطة الموجودة على الجزء الخارجي من التشعبات اقتران الجزيئات الحيوية أو عوامل التباين مع السطح بينما يمكن تحميل الأدوية في الداخل، ويتم عادة استخدام البوليميرات المشحونة مثل PEI و poly(amidoamine).



الشكل 1. مسارات الامتصاص الشائعة التي تحدد مصير الجسيمات النانوية داخل الخلية.

التسليم الجهازي والتوزيع الحيوي

يوفر استخدام الجسيمات النانوية تحدياً على عقبات الأشكال التقليدية التي غالباً ما تنطوي على إجراءات غازية بينما يقتصر الإيصال الموضوعي على الأمراض التي يمكن الوصول إليها مثل بعض السرطانات الصلبة أو الإصابات الرضية؛ لذا فإن الإعطاء التقليدي هو الأكثر شيوعاً في الإيحاء الدوائي للجسيمات النانوية، وإن أبرز العوائق التي تحول دون الإيصال الدوائي هي الدوران الدموي والتوزيع الحيوي والإطراح، ويمكن أن تقلل الخلايا البلعمية وبروتينات الكورونا the protein corona من استقرار الجسيمات النانوية وإيصالها لمواقع التأثير. تعتمد التأثيرات المحددة لكل من هذه العوامل على الخصائص الفيزيوكيميائية للجسيمات النانوية، حيث إن الجسيمات ذات الأبعاد الأقل من 10 نانومتر يتم إطراحها السريع عبر الكلى، في حين أن الجسيمات النانوية الأكبر من 200 نانومتر تنشيط الجهاز المناعي، وبناءً على ما سبق يتضمن العديد من تركيبات الجسيمات النانوية البولي إيثيلين غليكول كطلاء خفي بعملية تدعى بالـ PEGylation (الشكل 2)، ولكن هذا الحاجر المادي لا يمنع تماماً التعرف على البلاعم أو خلايا المناعة الأخرى، إضافة إلى ذلك ينتج عن التعرض لـ PEG إنتاج الأجسام المضادة لـ PEG التي يمكن أن يؤدي وجودها بتركيزات عالية إلى الإزالة السريعة للجسيمات. كما أظهرت الدراسات السريرية أن هذه الأجسام المضادة لـ PEG يمكن أن تكون موجودة في البشر الذين تعرضوا لـ PEG من خلال طرائق أخرى، مما يشير إلى أنه حتى الجرعة الأولى من PEGylated NPs لا تنتشر بالضرورة لفترة طويلة في جميع المرضى.



الشكل 2. هندسة سطح الجسيمات النانوية والتي تسمح بتحفيز التوصيل الدوائي.

استخدام الجسيمات النانوية لعلاج السرطان

لا يزال السرطان هو السبب الرئيسي الثاني للوفاة في جميع أنحاء العالم؛ إذ إن السرطان غير متجانس الآلية، ويمثل تطوير علاجات فعالة للسرطان تحدياً كبيراً بسبب هذا التعقيد. ومع ذلك، فقد ظهر الطب الدقيق كنهج واعد، وتم تطوير علاجات كيميائية موجهة يمكنها علاج المرضى الذين يظهر مؤشرات حيوية معينة. يُعطى الدواء الأول من هذا النوع Imatinib لشركة Novartis للمرضى المصابين بابيضاض الدم النخاعي المزمن الذين يعبرون عن بروتين اندماج BCR-ABL من كروموسوم فيلادلفيا. تم إيصال imatinib أيضاً باستخدام الجسيمات النانوية مما أدى إلى تحسين نسبة البقاء على قيد الحياة إلى 40% بعد 60 يوماً في النموذج الفأري لسرطان الجلد. يمكن أن تتغلب التحسينات في التوصيل على بعض قيود المعالجة بما في ذلك الأدوية ذات الجزيئات الصغيرة ذات القابلية المحدودة للذوبان في الماء أو الأجسام المضادة ذات الثبات المنخفض، علاوة على ذلك، فإن العديد من علاجات العلاج الكيميائي لها سمية بعيدة عن الهدف وتؤدي إلى مقاومة تكيفية، مما يحد من الفعالية.

تنشيط المناعة

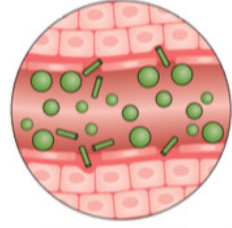
يتم تدريب الجهاز المناعي على التخلص من الخلايا السرطانية من الجسم، ولكن بعض السمات الجينية يمكن أن تسمح للخلايا السرطانية بالتهرب من الخلايا المناعية وقمعها. لإعادة تحسس هذه الخلايا تهدف لقاحات السرطان إلى تدريب الجسم على التعرف إلى الخلايا السرطانية باستخدام مستضدات إما من المريض أو من الخلايا الورمية كما في اللقاح Sipuleucel-T. يمكن للجسيمات حماية هذه المستضدات من التدرج وتحسين احتمالية تقديمها لاستهداف الخلايا المناعية وتقليل التأثيرات غير المرغوبة. في الآونة الأخيرة تم إجراء أبحاث عديدة على استخدام الجسيمات النانوية في اللقاحات ضد SARS-CoV-2 الذي يسبب COVID-19 حيث حاولت شركات مثل Moderna و BioNTech لتغليف mRNA الذي يشفر لمستضد COVID-19.

تم استغلال مستقبلات الليكتين للاستهداف النشط الخاص بالخلية، إذ يتم التعبير عن بعض مستقبلات الليكتين هذه بمستويات عالية في بعض APCs، مثل مستضد الخلايا الليمفاوية من النوع C المعروف أيضاً باسم DEC-205 وعائلة CLEC9A، وهذه المستقبلات يمكن استخدامها لاستهداف الخلايا المتغصنة. يستخدم المانوز بشكل شائع لاستهداف العاثيات الكبيرة والضمامة المرتبطة بالورم، ويمكن للجسيمات المغطاة بالجلالكتوز أو الدكستران أن تصل إلى الخلايا الضامة، كما يمكن استخدام الجسيمات النانوية التي تستهدف CD19 لاستهداف الخلايا البائية بفعالية، ويمكن للجسيمات النانوية حمل فئة مستقبلات SRB1 واستهداف الخلايا المتغصنة. تهدف كل

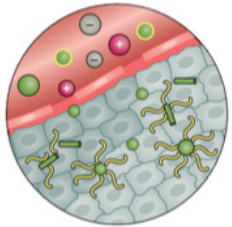
تأثير خصائص

الجسيمات النانوية
على التوزيع الحيوي

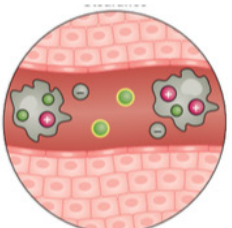
الانصباب الدموي



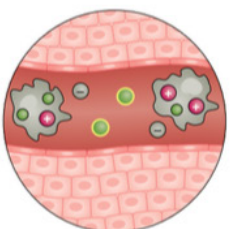
للخلايا السرطانية



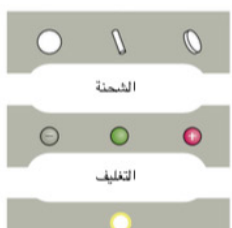
التصفية



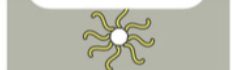
التصفية



الشكل



الاستهداف



هذه الطرائق إلى زيادة احتمالية تفاعل المستضد مع APC وتحسين فعالية العلاجات القائمة على المستضد وتقليل الجرعة اللازمة للوصول إلى المستويات العلاجية.

يؤدي محفز مسار جينات الإنترفيرون STING أيضاً إلى تنشيط الخلايا المناعية والتأثيرات المضادة للأورام، وعادة ما تُظهر ناهضات STING، ثنائي النوكليوتيدات الحلقية نشاطاً واعداً مضاداً للأورام، ولكنها غير مستقرة وذات قطبية عالية، مما يقلل من امتصاص الخلايا للمادة الدوائية. تعمل الجسيمات النانوية على تحسين توصيل ناهضات STING، إذ تزيد جرعة واحدة من الجسيمات المحملة بناهض الـ STING من البقاء على قيد الحياة لمدة 80 يوماً على الأقل في الفئران.

تعاني بعض العلاجات المناعية مثل البروتينات من قدرة محدودة على بلوغها الخلايا الهدف عند إعطائها بشكلها الحر، وبالتالي فإن للجسيمات النانوية قدرة على تحسين التوصيل بشكل كبير عن طريق حماية العلاجات المناعية وتعزيز تفاعلها مع الخلايا المناعية.

كبت المناعة

تنتج الأمراض المناعية كالتهاب المفاصل والذئبة الحمامية الجهازية من التنظيم المناعي غير الصحيح أو فرط النشاط، وفي أمراض المناعة الذاتية هذه تعاني الخلايا التائية والخلايا البائية من فرط حساسية للمستضدات الذاتية ويتم علاج الحالة المرضية باستخدام مثبطات المناعة العامة التي يمكن أن تسبب آثاراً جانبية خطيرة مما يبرز أهمية استخدام العلاجات المناعية المستهدفة، وتشمل الأهداف الخلوية لقمع المناعة الـ APCs والخلايا التائية ذاتية التنشيط والخلايا البائية، كما يهدف العلاج المناعي الخاص بالمستضد إلى إعادة برمجة الخلايا التفاعلية أو تقليلها أو نقلها، وتهدف المعالجة إلى استخدام علاج مناعي لديه القدرة على تعديل المناعة دون المساس بالمناعة الجهازية. وقد تم العمل على سبيل المثال على تطوير جسيمات نانوية مغلقة بمضاد CD2/CD4 تستهدف الخلايا التائية ويؤدي استخدامها إلى زيادة عدد الخلايا التائية التنظيمية، بينما لم تستطع الجسيمات النانوية غير المغلقة والمعطاة بجرعات مكافئة من التأثير بصورة مماثلة. وقد استخدم الليكتين الشبيه بالجلوبيولين المناعي المرتبط بحمض السيليك siglecs لاستهداف وتحفيز الانتظام في الخلايا البائية، وتمكنت الجسيمات النانوية المحملة بـ IL-2 و TGFβ من زيادة تنظيم الخلايا التائية في الجسم الحي وقمع أعراض الذئبة الحمامية. إن الشكل النشط من فيتامين D3 له تأثير مثبط للمناعة لأنه يعدل وظيفة الخلية التفاضلية لكن الإعطاء الجهازي يؤدي لفرط كالسيوم الدم، لذلك فإن تحميله على الجسيمات النانوية يعد أمراً واعداً كاستراتيجية بديلة باستخدام PLGA NPs على نطاق واسع لتحقيق التوصيل الاستهدافي والمستخدم 28 يوماً من Tacrolimus.

تعديل الجينوم البشري

جعلت التطورات الحديثة في تقنية كريسبر مثل منشط النسخ نوكلياز المستجيب TALEN ونوكلياز إصبع الزنك ZFN من السهل على نحو متزايد هندسة الجينوم للاستخدام على نطاق واسع في الطب الحيوي حيث إن هناك أكثر من 3000 جين بشري مرتبط بأمراض مندلية ولكن أقل من خمسة من الأمراض النادرة لها علاجات فعالة. أصبح من الممكن الآن تصحيح العديد من هذه الأمراض النادرة، ومع ذلك لا يزال الإيصال الآمن ضرورياً لتحرير الجينوم مع تقليل السمية أيضاً إلى الحد الأدنى، إذ تعد أنظمة تعديل الجينوم صعبة لأنها أنظمة متعددة المكونات، وتحمل مواد حيوية حساسة وبجاجة للتغلب على العديد من المعوقات خارج وداخل الخلايا والحواجز البيولوجية للوصول إلى جينوم الخلايا المستهدفة. قدمت الجسيمات النانوية الليبيدية والبوليميرية حوامل مناسبة لمجموعة من الأحماض النووية في الجسم الحي، وهي في مراحل مختلفة من التطوير السريري، فعلى سبيل المثال تمت الموافقة على Onpatro المحمل بـ patisiran على الجسيمات النانوية الليبيدية من قبل إدارة الأغذية والأدوية الأمريكية FDA لعلاج الداء النشواني، إذ تمتلك الجسيمات النانوية القدرة على أن تكون أقل سمية وتحريضاً للمناعة من النواقل الفيروسية التي لها محاذير عديدة تتعلق بالسلامة.

الاستهداف داخل الخلايا

تعتمد معظم الأنظمة الهادفة إلى تعديل الجينوم على التجاذب الكهروستاتيكي للأحماض النووية مع المواد الكاتيونية، ويتم إيصالها لداخل الخلايا من خلال آليات بما في ذلك الالتقام الخلوي بوساطة المستقبلات والبلعمة. إن أهم الليبيدات المشحونة المستخدمة حالياً لتوصيل الحمض النووي تشمل على الدهون lipofectamine والمواد البوليميرية cyclodextrins و polylysine PLL و poly(amido amine) و PAA و polyethylene imine PEI. تنقسم استراتيجيات الاستهداف النووي عموماً إلى فئتين هما: استخدام جزيئات صغيرة بما يكفي للمرور عبر مسام الغشاء النووي أو الربط مع المجموعات الوظيفية التي يتم تأثيرها بعد حدوث الالتقام الداخلي، كما يمكن أيضاً استهداف الجسيمات بنشاط لمواقع وعضيات محددة داخل الخلايا مثل الميتوكوندريا.

تطبيقات هندسة الجينوم

ينتج التليف الكيسي عن عيوب في الجين الذي يشفر بروتين CFTR، ولا يوجد حالياً علاج لهذا الاضطراب المهدد للحياة، ولكنه اضطراب أحادي الجين قابل للعلاج الجيني في المختبر، إذ يمكن استبدال جين CFTR أو إصلاحه بدقة، ومع ذلك، فإن العلاج الجيني للتليف الكيسي كان إلى حد كبير غير ناجح في الجسم الحي بسبب مشاكل في التعبير الجيني والإيصال الدوائي، إذ يؤثر التليف الكيسي على الخلايا التي تنتج المخاط مما يجعل المخاط كثيفاً جداً وهو العرض الرئيسي للمرض ويمثل حاجزاً كبيراً أمام التوصيل الدوائي، وهنا تبرز أهمية الجسيمات النانوية المعدة للاستنشاق، فقد تم تطوير جسيمات نانوية مع تحسين خصائص اختراق الغشاء المخاطي لاستخدامها في التوصيل الرئوي لعلاج التليف الكيسي؛ إذ صُممت الجسيمات النانوية بأبعاد أصغر من المسام الشبكية المخاطية مما حسن الاختراق، كما أظهرت الأنظمة ذات الأسطح المحبة للماء مثل البولي إيثيلين غليكول أو أكسيد البولي إيثيلين تحسيناً للاختراق عبر المخاط في التجارب عند حيوانات التجربة. تشمل طرق تحسين توصيل الغشاء المخاطي دمج الدهون المخترقة للأغشية المخاطية والبروتينات الحاملة للبلغم والتغليف بحمض الهيالورونيك المكبرت و N-acetylcysteine، على الرغم من أنه تم تقدير تعديل الجينوم باستخدام الجسيمات النانوية لنسبة 10-35% إلا أن هناك حاجة إلى نسبة مئوية أعلى من أجل علاج حقيقي. وفيما يتعلق بالأمراض الوراثية، تمثل مرحلة الجنين الوقت الأكثر فعالية لتعديل الجينات، إذ إن العوائق البيولوجية التي تحول دون إيصال الدوائي في الرحم هي في الواقع أقل مما هو متوقع، ويمكن أن يكون الإيثار الدوائي للجسيمات النانوية عبر حقتها مباشرة في الوعاء السري أو ضمن الأنسجة السائلة أو الجنينية المحددة، وتكمن الحدود في إيصال الدوائي عند الجنين في المخاوف المتعلقة بالتفاعل بين الجنين والأم. وقد نجحت النواقل الفيروسية بإيصال الدوائي للحمض النووي في الرحم في نموذج فأري، ومع ذلك فإن هذه النواقل لها سمية أكثر مما هو عليه الحال في أنظمة النواقل النانوية. على الرغم من أن استخدام الجسيمات النانوية لهذا النوع من إيصال الدوائي ليست منتشرة لكنها حققت نجاحات مبكرة بتوصيل الأحماض النووية الببتيدية إلى الرحم، مما يؤدي إلى مستوى من التحرير الجيني كافٍ لتغيير المرض إلى مستويات يمكن التحكم فيها. وبالنظر إلى المستقبل فإن الجسيمات النانوية لديها القدرة على تحسين تعديل الجينوم من خلال ممارسة تحكم أكثر دقة وتقليل المخاوف من الآثار المرافقة. تقوم حالياً عدة شركات مثل Editas Medicine و Intellia Therapeutics بتطوير علاجات CRISPR Cas9 المحملة على الجسيمات النانوية لعلاج العديد من الأمراض بما في ذلك أمراض الكبد المناعية والداء النشواني والمشاكل الكبدية amyloidosis، α 1-antitrypsin deficiency والتهاب الكبد الفيروسي من النمط B؛ لذا فإن الصياغة الدقيقة للجسيمات النانوية تعد بتحسين الأنماط العلاجية وبالتالي تحسن من حياة المرضى.

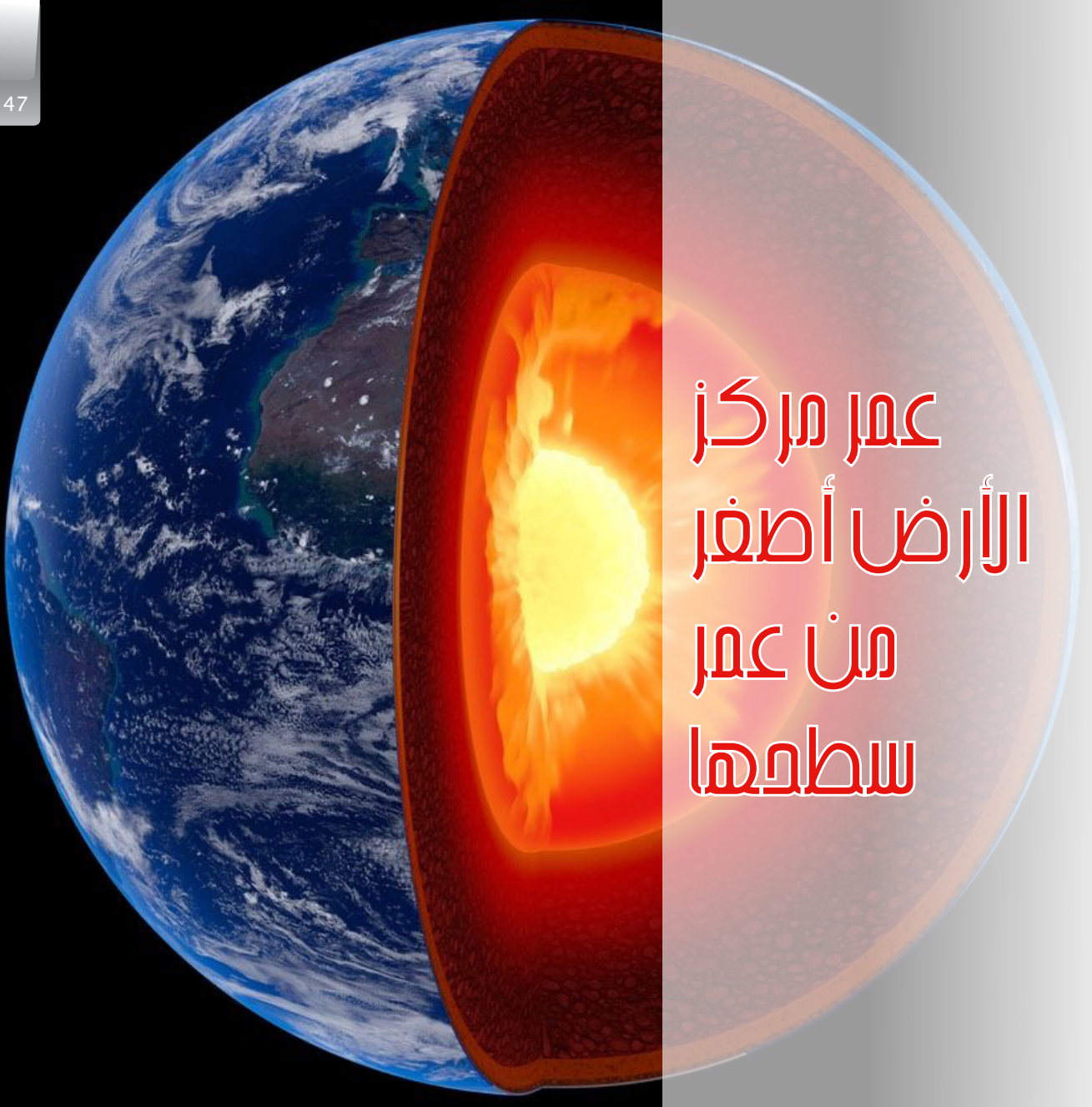
تصنيف الجسيمات النانوية	الجسيمات النانوية الليبيدية	الجسيمات النانوية اللاعضوية	الجسيمات النانوية البوليميرية
CLASSES OF NANOPARTICLES	Liposome, Lipid NP, Emulsion	Silica NP, Quantum dot, Iron oxide NP, Gold NP	Polymeric, Polymersome, Dendrimer, Polymer micelle, Nanosphere
	LIPID-BASED NANOPARTICLES	INORGANIC NANOPARTICLES	POLYMERIC NANOPARTICLES

المراجع

- Anselmo AC, Mitragotri S (2019). Nanoparticles in the clinic: an update. *Bioeng. Transl. Med.* 4: 1-16.
- Blanco E, Shen H, Ferrari M (2015). Principles of nanoparticle design for overcoming biological barriers to drug delivery. *Nat. Biotechnol.* 33: 941-951.
- Cheng Q et al. (2020). Selective organ targeting (SORT) nanoparticles for tissue-specific mRNA delivery and CRISPR–Cas gene editing. *Nat. Nanotechnol.* 15: 313-320.
- Clegg JR et al. (2019). Synthetic networks with tunable responsiveness, biodegradation, and molecular recognition for precision medicine applications. *Sci. Adv.* 5: eaax7946.
- Culver HR, Clegg JR, Peppas NA (2017). Analyterresponsive hydrogels: intelligent materials for biosensing and drug delivery. *Acc. Chem. Res.* 50: 170-178.
- Hua S, de Matos MBC, Metselaar JM, Storm G (2018). Current trends and challenges in the clinical translation of nanoparticulate nano-medicines: pathways for translational development and commercialization. *Front. Pharmacol.* 9: 790.
- Kou L et al. (2018). Transporter-guided delivery of nanoparticles to improve drug permeation across cellular barriers and drug exposure to selective cell types. *Front. Pharmacol.* 9: 1-16.
- Mitchell M et al. (2021). Engineering precision nanoparticles for drug delivery. *Nature Reviews.* 20: 101-125.
- Mitragotri S et al. (2017). Drug delivery research for the future: expanding the nano horizons and beyond. *J. Control. Release* 246: 183-184.
- Ruan S et al. (2015). Matrix metalloproteinase-sensitive size-shrinkable nanoparticles for deep tumor penetration and pH triggered doxorubicin release. *Biomaterials* 60: 100-110.
- Wagner AM, Gran MP, Peppas NA (2018). Designing the new generation of intelligent biocompatible carriers for protein and peptide delivery. *Acta Pharm. Sin. B* 8: 147-164.
- Wechsler ME, Vela Ramirez JE, Peppas NA (2019). 110th anniversary: nanoparticle mediated drug delivery for the treatment of Alzheimer's disease: crossing the blood–brain barrier. *Ind. Eng. Chem. Res.* 58: 15079-15087.
- The White House Office of the Press Secretary (2000). National Nanotechnology Initiative: leading to the next industrial revolution. White House. https://clintonwhitehouse4.archives.gov/WH/New/html/20000121_4.html (accessed 1 August 2021).

◀ تأليف: د. همام كفى، قسم التقنية الحيوية، هيئة الطاقة الذرية السورية.





عمر مركز الأرض أصغر من عمر سطحها

يوجد فرق واضح في العمر بين مركز الأرض وسطحها، وأول من طرح هذه الفكرة هو العالم ريتشارد فاينمان حيث توقع أن يكون الفرق عبارة عن يوم أو يومين، وبإعادة الحسابات تبين أن الفرق عبارة عن سنتين ونصف، ويعدّ هذا الفرق من الأمثلة التوضيحية على تمدد الزمن بفعل الجاذبية وفق النسبية، وهذا ما يدعونا بدوره لمراجعة حسابات العلماء المشهورين بسبب احتمالية وقوعهم في أخطاء.

مقدمة

يؤثر كمون الثقالة على معدل مرور الزمن، فحسابات تقدير أعمار الأجسام الكبيرة مثل الشمس والأرض تختلف حسب مكان تقدير عمرها إن كان على سطحها أم في مركزها. وفي هذه الحسابات نعتمد على علاقة ليتمان المتعلقة بالكمون الثقالي، ولا نتطرق لدراسة الغبار الكوني الذي شكّل الأرض ولا على اختلاف سرعة تفكك النظائر المشعة بين مركز الأرض وسطحها. وأول ظهور لفكرة فرق العمر تعود للعالم فاينمان في محاضراته التي ألقى عامي 1962-1963 في جامعة كاليفورنيا للتكنولوجيا (Caltech)؛ حيث قدّر أن عمر مركز الأرض أصغر من سطحها بيوم أو يومين [1]، واعتمدت تقديراته دون مراجعة في الأوساط العلمية نظراً لعبقريته وشهرته الواسعة إلى أن قمنا بإجراء الحسابات بشكل دقيق وفق هذه النشرة. كما ندعو ألا تكون شهرة العلماء حائلاً دون إعادة النظر في حساباتهم حيث إنهم قد يخطئون أحياناً، ويذكر العالم أوهانيان في كتابه «أخطاء أينشتاين» الأخطاء التي وقع فيها العالم أينشتاين [2].

عمر مركز الأرض أصغر من عمر سطحها

أ- الأرض المتجانسة

بفرض أن الأرض متجانسة وأنها كروية الشكل نصف قطرها R وكتلتها M حيث يعطى كمونها الثقالي ϕ كتابع لبعدها عن مركز الأرض r وفق المعادلتين التاليتين:

$$\phi = -G \frac{M}{r} \quad r \geq R \quad (1)$$

$$\phi = -G \frac{M(3R^2 - r^2)}{2R^3} \quad r \leq R \quad (2)$$

وهكذا يعطى كمونها الثقالي على السطح وفق المعادلة التالية $\phi(R) = -GM/R$ ، أما كمونها في المركز فيساوي $\phi(0) = -3GM/2R$ كما أن فرق الكمون بين السطح والمركز يعطى بالمعادلة 3:

$$\Delta\phi = \phi(R) - \phi(0) = \frac{1}{2} G \frac{M}{R} \quad (3)$$

كما أن فرق الكمون الثقالي يتضمن تمداً أكبر للزمن في النقطة الأقل كموناً وفق المعادلة القياسية "الانزياح الثقالي نحو الأحمر" التالية:

$$\omega = \omega_0 \left(1 - \frac{\Delta\phi}{c^2} \right) \quad (4)$$

حيث ترمز ω للسرعة الزاوية في المركز و ω_0 ترمز للسرعة الزاوية على سطح الأرض، حيث تقيس السرعة الزاوية بشكل غير مباشر مرور الزمن. ولما لم يكن لدينا أي خيار لدوران الأرض نعوض $\Delta\phi$ من المعادلة 3 في المعادلة 4.

وباستعمال $\Delta\omega = \omega - \omega_0$ نجد أن:

$$\Delta\omega = -\frac{1}{2} G \omega_0 \frac{M}{Rc^2} \quad (5)$$

نعمد في دراستنا على المعادلة 4 التي «تشير إلى وضع مجموعة ساعات متماثلة التصنيع على مسافات مختلفة من مركز الكتلة على طول خط قوة الجاذبية، وكل ما يتطلب هو أن تخضع هذه الساعات لمبدأ التكافؤ الضعيف والنظرية النسبية الخاصة» [4]. وهذا ما يظهر جانباً من جوانب قانون التكافؤ. وفي مثالنا عن الأرض فإن تسارع الجاذبية على سطحها يساوي: $g = GM_e/R_e^2 = 9.82 \text{ m/s}^2$ ؛ حيث R_e عبارة عن نصف قطر الأرض وبالتعويض في المعادلة رقم 5 نجد:

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_0} = -\frac{1}{2} \frac{R_e g}{c^2} \quad (6)$$

حيث M_e هي كتلة الأرض و G ثابت الجاذبية الأرضية (وبتقريب حدود 3% يمكن كتابة $c/g = 1 \text{ year}$ كما أنه لا توجد علاقة مباشرة بين حركة الأرض حول الشمس وسرعة الضوء c). عمر الأرض يساوي $T_e = 4.54 \cdot 10^9$ سنة، وكذلك وسطي طول نصف قطر الأرض $R_e = 6371 \text{ km}$ ، وبناءً عليه فإن $R_e/2c = 10 \text{ ms}$ ، والسنة تساوي تقريباً $\pi \cdot 10^7 \text{ s}$ وهكذا يكون فرق الزمن بين عمر سطح الأرض ومركز الأرض بحسابات تقريبية هو:

$$4.5 \cdot 10^9 \frac{10^{-2}}{\pi \cdot 10^7} \cong 1.4 \text{ year (سنة)}$$

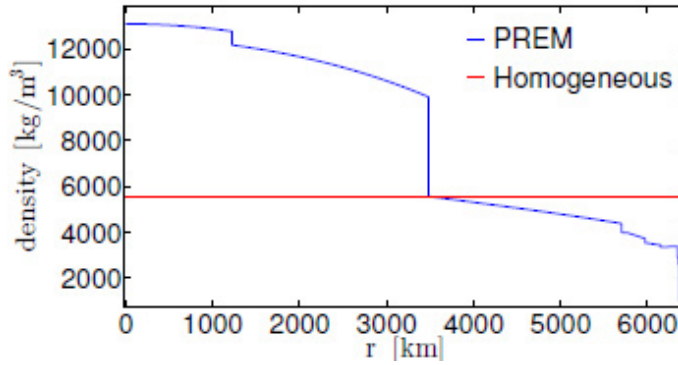
وبحسابات أدق وفق المعادلة (7) التالية فإن عمر مركز الأرض أصغر بـ 1.58 سنة من عمر سطحها.

$$\Delta T_{eh} = T_e \frac{1}{2} G \frac{M_e}{R_e c^2} = 1.58 \text{ year (سنة)} \quad (7)$$

هذا النمط من الحسابات الذهنية يدعى الحَدْس (حساب تقريبي) "back-of-the-envelope" والتي جعلت العالم فاينمان يُخَمِّن أنَّ عمر مركز الأرض أصغر بيوم أو يومين من عمر سطحها بينما الأصح أنها أصغر بسنة إلى سنتين [2]. وهذا ما دفع لإجراء الحسابات باستخدام القيم الأكثر دقة لكل من c و R_e و G و M_e و T_e التي أدت لمعرفة فرق العمر بين السطح والمركز بدقة أكبر.

ب- الأرض الحقيقية (غير المتجانسة)

الأرض في الواقع غير متجانسة، وبعتمادنا أكثر النماذج دقة لتوزيع كثافة الأرض والذي يدعى "النموذج الأولي للأرض PREM" [5] أدى إلى نتائج أكثر دقة عن اختلاف عمر مركز الأرض عن عمر سطحها. كما اعتمد مؤخراً النموذج السابق PREM لوصف مفصل لمسألة نفق الجاذبية الأرضية [6]، باعتبار أن كثافة الأرض تتبع نصف قطرها بشكل كروي متماثل المناحي حسب النموذج PREM، كما هو مبين في الشكل 1. وكما يعطى كمون الجاذبية للنموذج السابق PREM وفق العلاقة الرياضية رقم (8):



الشكل 1. يبين الشكل تابعة كثافة الأرض لنصف القطر $\rho(r)$ وفق النموذجين المختلفين. الخط الأزرق يمثل النموذج PREM والخط الأحمر يمثل النموذج ذا الكثافة المتجانسة (الثابتة) للأرض التي كتلتها (M).

$$\Phi(r) = - \int_{\infty}^r \vec{f}_{grav} \cdot \vec{dr}' \quad (8)$$

حيث $\vec{f}_{grav} = \vec{F}_{grav}/m$ قوة الجذب الثقالي للكتلة النوعية، ويساوي قيمة تسارع الجاذبية الأرضية للكتلة النوعية a_{grav} كما أن \vec{F}_{grav} هي قوة الجاذبية، علماً أن قوة الجذب الثقالي للكتلة النوعية \vec{f}_{grav} هي السبب في كون Φ تساوي قيمة كمون الجاذبية وليست الطاقة الكامنة للجاذبية الأرضية. وأما الطاقة الكامنة للجاذبية الأرضية تساوي العمل اللازم لنقل جسيم كتلته m مسافة من اللانهاية حتى النقطة التي تبعد مسافة r عن مركز الأرض. ونقسم التكامل السابق لقسمين:

$$\Phi(r) = - \int_R^r \vec{f}_{grav} \cdot \vec{dr}' - \int_{\infty}^R \vec{f}_{grav} \cdot \vec{dr}' \quad (9)$$

يحسب في الجزء الأول من التكامل عمل قوة الجاذبية المطبقة في وحدة الكتلة داخل الجسم (وفي حالتنا داخل الأرض)، والجزء الآخر يحسب عمل قوة الجاذبية في وحدة الكتلة من اللانهاية حتى سطح الأرض. وتسارع الجاذبية عند المسافة r من خارج الكرة التي كتلتها M تعطى بالعلاقة $\vec{a}_{grav} = \vec{f}_{grav} = -r \hat{r} GM/r^2$ والإشارة السالبة تشير إلى أن جهة التسارع مباشرة باتجاه المركز. وفي داخل الكرة حيث $r < R$ فقط تكون الكتل الأقرب من لمركز الكتلة. ونحسب ذلك بالمعادلة:

$$M(r) = - \int_R^r 4\pi r'^2 \rho(r') dr' \quad (10)$$

ومنه يمكن أن نكتب أن المجموع النوعي من أجل $r < R$.

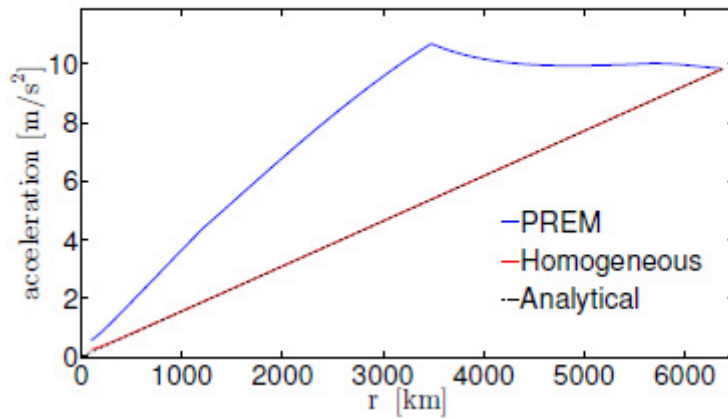
$$\Phi(r) = - \int_R^r G \frac{M(r')}{r'^2} dr' - G \frac{M}{R} \quad (11)$$

حيث إن الحد الأخير يعبر عن الكمون على سطح الجسم، بينما يعبر الحد الأول عن تابعة التسارع الثقالي لنصف القطر r . وعندما $r=R_e$ فإن التسارع الثقالي يساوي التسارع الثقالي العادي g كما هو موضح في الشكل 2، ويمكن الحصول منه على قيمة التسارع الثقالي في نقاط مختلفة حتى مركز الأرض.

وبالنظر إلى مخطط توزيع الكتلة "kink" الموضح في الشكل 1 وحسب الشكل 2 وعلى مسافة قدرها 3500 كيلومتر من مركز الأرض ونحو الخارج يكون التسارع الثقالي يساوي تقريباً التسارع الثقالي على سطح الأرض. وباستعمال توزيع الكثافة $\rho(r')$ وفق النموذج PREM وبالتعويض من المعادلة (10) في المعادلة (11) وبدراسة النتائج نجد أن فرق العمر بين مركز الأرض وسطحها يساوي 2.49 سنة، أي أن عمر مركز الأرض أصغر من عمر سطحها بـ:

$$\Delta T_e = 2.49 \text{ years} \quad (12)$$

وكدراسة ثانوية فإن فرق العمر يتناقص بزيادة نصف القطر كما هو موضح في الشكل 3، حيث تتوافق النظريتان في تقدير عمر سطح الأرض، أما من أجل المسافات الأقرب إلى مركز الأرض فإن الدراسة بحسب النموذج PREM تعطي عمراً أكبر من الدراسة بالنموذج المتجانس وذلك لأن $M(r_{PREM}) > M(r_{homog})$ من أجل قيم $r < R_e$. وللتبسيط نفترض أن كثافة الكتلة للأرض عالية من أجل $0 \leq r \leq r_0$ ومعدومة من أجل $r_0 < r \leq R$.



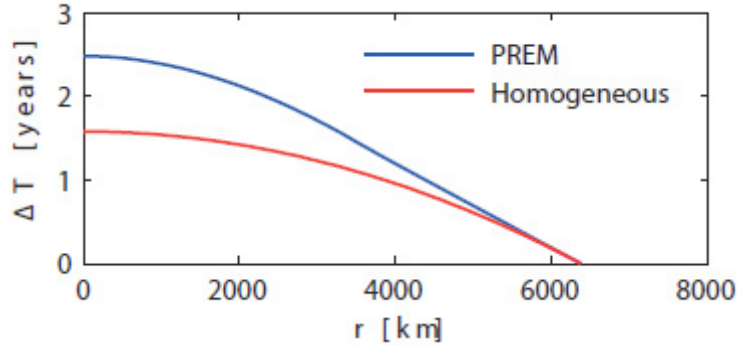
الشكل 2. تابعة قيمة تسارع الجاذبية الأرضية للبعد عن مركز الأرض.

يبين الشكل 2 تابعة قيمة تسارع الجاذبية الأرضية للبعد عن مركز الأرض؛ حيث تصل على سطح الأرض للقيمة المألوفة 9.82 m/s^2 . وهذا المنحني البياني يعطى بالمقياس البسيط $g r/R_e$ باعتبار التوزيع المتجانس لكتلة الأرض وأن الكتلة الكلية للأرض تساوي M ، ومن أجل $r_0 = k_0 R$ فإن $r_0 < r \leq R$ يحسب عندها فرق الكمون بين السطح والمركز بالمعادلة التالية:

$$\Delta \Phi = \left(\frac{3}{k_0} - 2 \right) \Delta \Phi_h, \quad (13)$$

حيث $\Delta \Phi_h$ فرق الكمون المحسوب حسب نظرية التوزيع المتجانس وعلى هذا فإن المعامل $(3/k_0 - 2)$ يؤدي لزيادة في تقدير فرق العمر مقارنة بنمط التوزيع المتجانس. وبالنسبة للأرض فإن المنحنيين الممثلين بالنموذج المتجانس والنموذج PREM يقتربان من بعضهما وبذلك

يمكننا وضع $r_0 = 3480 \text{ km}$ كما هو مشاهد بالنسبة للمنحني PREM وكما هو موضح في الشكل 1. وكمثال $3480 \text{ km}/6371 \text{ km} \cong 0.55$ ومنه فإن $\Delta\theta \cong 3.5 \Delta\theta_h$. وبحسابات غير دقيقة كنا قد حصلنا على قيمة للمعامل 1.7.

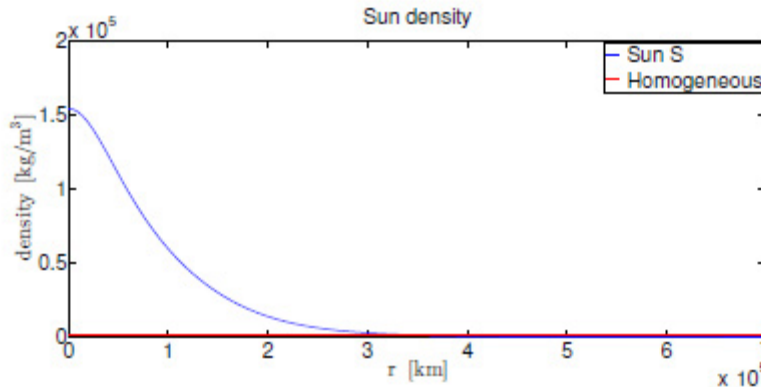


الشكل 3. يبين الشكل فرق الزمن بين نقطة مركزية داخل الكرة الأرضية وسطح الكرة، ويتم حساب المنحني الأزرق وفقاً للنموذج PREM. أما المنحني الأحمر فيعبر عن الحسابات وفق نموذج التوزع المتجانس للكتلة.

ننهي هذا القسم بدراسة مساهمة استطالة الزمن الناتج عن سرعة دوران سطح الأرض v_s ، حيث تعطى سرعة دوران سطح الأرض بدلالة دورها (زمن دورانها) بالعلاقة التالية: $v_s = \omega R_e = (2\pi/T_s)R_e \cong 464 \text{ m/s}$ ؛ حيث $T_s = 86164,099 \text{ s}$ يوم أرضي؛ وهو زمن دورة كاملة للأرض حول نفسها بالنسبة للنجوم الثابتة، بينما يحسب تمدد الزمن بتطبيق النسبية الخاصة باستعمال معامل لورنتز γ حيث $\Delta T = Tv^2/2c^2$ ، وبتعويض T_e عمر الأرض فإن $\Delta T \cong 5.10^{-3} \text{ years}$ وهو مهملاً في مناقشتنا الحالية.

دراسة حالة الشمس

يمكن تطبيق الحسابات المنجزة في دراسة الأرض على أي جرم كوني معلوم الكتلة ونصف القطر على الأقل في نموذج التوزع المتجانس. بيد أنه يمكن تطبيق النموذج PREM من أجل الأجرام الكونية المجاورة بما فيها الشمس، وفي دراستنا للشمس بتطبيق المعادلة (13)، وبعتماد النموذج PREM الذي وضع بالاعتماد على المعطيات الزلزالية والاهتزازية [7]، حيث اخترنا النموذج المدعو (s) من أجل توزيع الكثافة.



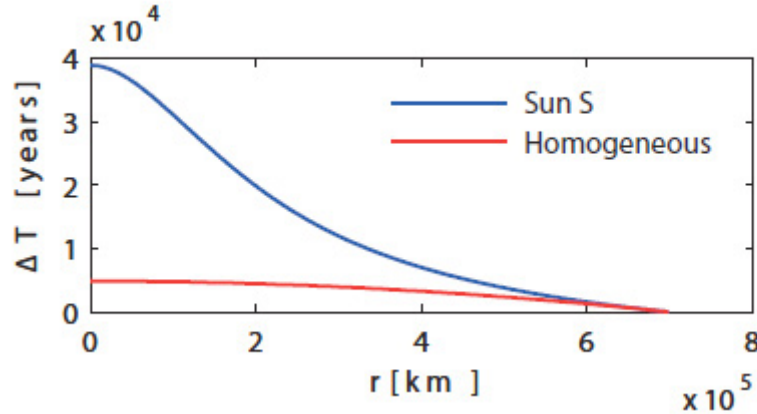
الشكل 4. يبين تابعة كثافة الشمس بدلالة البعد عن مركز الشمس $\rho(r)$ وفقاً لنموذجين مختلفين. الخط الأزرق يمثل النموذج (s) لكثافة الشمس التي تم الحصول عليها من المعطيات الاهتزازية [7] والخط الأحمر يمثل النموذج ذا الكثافة المتجانسة (الثابتة) للشمس.

في حالة الكثافة المتجانسة، يمكن كتابة فرق الزمن (العمر) بين مركز الشمس وسطحها بالعلاقة التالية: $\Delta T = T_s v_{esc}^2/4c^2$ و v_{esc} هي سرعة الهروب من السطح، وهي تعطى بالعلاقة التالية: $v_{esc} = \sqrt{2GM/R}$ (كما هو موضح في الشكل 5).

$$\Delta T_{sh} = 4.8 \times 10^3 \text{ years} \quad (14)$$

ووفق نموذج الشمس (s) تصبح العلاقة كما يلي:

$$\Delta T_s = 3.9 \times 10^4 \text{ years} \quad (15)$$



الشكل 5. يبين فرق الزمن بين نقطتين من الشمس واحدة على سطحها والأخرى في مركزها. المنحني الأزرق يعبر عن كثافة الشمس بدلالة البعد عن مركزها وفق النموذج (s) والمنحني الأحمر يعبر عن كثافة الشمس باعتماد النموذج المتجانس للشمس.

وبشكل أساسي فيما يتعلق بالشمس فإن المعامل أكبر بـ 8 مرات بين هذين العددين، بينما كان المعامل بالنسبة للأرض يساوي 1؛ وسبب هذه النتيجة هو التجانس التقريبي للأرض، بينما بالنسبة للشمس فإن معظم كتلتها تتوضع تقريباً في لب الشمس، وبالتقريب بعد استعمال المعادلة $k_0 \cong 2.5/7$ ووفق النموذج (s) لتوزع كثافة الشمس حسب الشكل 4، نحصل على المعامل 8.4 وذلك بتقريب أفضل بكثير مما هو عليه في حالة الأرض.

المناقشة والاستنتاج

وفي المناقشة الأخيرة نطرح السؤال التالي: لماذا لم يصحح الفيزيائيون الموهوبون اللاحقون الخطأ الصغير في المحاضرات التي نشرها العالم الكبير الموهوب "فاينمان" والذي يقول فيها بأن مركز الأرض أصغر بيوم أو يومين من سطحها [8] وبعبارة أخرى فإن عمر الذرات على سطح الأرض أكبر بيومين من عمر الذرات في مركز الأرض [9]، مع العلم أن التصحيح لم يتم حتى في السنوات اللاحقة وحتى بعد أن أثبت الأمر بواسطة تجارب أجريت بواسطة الطائرات في السبعينيات من القرن الماضي [10].

ولماذا لم يصحح الفيزيائيون الموهوبون اللاحقون المكافئون له هذا الخطأ المحدد في النسخة الجديدة من المحاضرات على الرغم من المناقشات الشاملة إلى حد كبير والتي امتدت إلى 24 صفحة، بينما الأفكار الخاطئة لغيره تصحح مباشرة [11]، أما بالنسبة للوضع الذي كان عليه العالم "فاينمان" كان يقوم بإجراء بعض التصحيحات هنا وهناك كما أن رئيس التحرير قدم ملاحظات فاينمان في مقدمة كلامه عن تكميم الجاذبية [12]. لذلك يجب علينا أن ندقق ونصحح الأخطاء في الكتابات العلمية للعلماء وغيرهم [13].

بالطبع ما سبق ليس لعدم قدرة الفيزيائيين اللاحقين على معرفة الأخطاء بعد الدراسات العميقة لهذه المنشورات ولكن ثقة مجموع كبير من العلماء بأفكار العالم "فاينمان" انتقلت إلى ثقة في منشوراته وحساباته وذلك دون مراجعة، وتوارث المجتمع الثقة على أفكار هؤلاء العلماء ولم يعد أحد يسأل عن صلاحية أفكار ذاك العالم. وهذا ما يعد مثلاً عن أخذ صحة الأفكار بعقريّة قائلها (تصديق الأفكار كون قائلها عقرياً) [14].

تصديق الأفكار كون قائلها عقرياً: وهذا المصطلح يشير إلى قبول أفكار وحسابات ونتائج العلماء المؤثّقين من قبل مجلس العلماء؛ أي

أنه لن يجراً أحد على التحقق من صحة هذه الأفكار لأن صاحبها عبقرى فذ وهذا ليس إثباتاً علمياً لهذه الأفكار ولكننا نشعر بصحتها. وهذا يدلنا على الطريقة العملية التي يعتمدها العلماء لقبول نتائج وحسابات تجارب علماء آخرين. كما يجب على مجلس العلماء تحديد صلاحية ونتائج تجارب العلماء المشهورين وعدم الحكم على هذه الأفكار بدون معايير علمية متأثرين نفسياً بعبقريتها كما هو الحال في تقدير عمر لب الأرض.

كي تصبح مشهوراً في مجال العلم يجب أن يكون لك إنجازات في بعض المواضيع المهمة، وهذا بدوره لا يجعلك متميزاً في كل المواضيع. وربما يوافق العالم فاينمان على هذه الفكرة كما أنه على الأغلب لن يوافق على حساباته غير الدقيقة مع أنه تميّز بنظريته حول تفكك بيتا عما كان سائداً في ذلك الوقت، ولوقت طويل كانت نظريته حول تفكك أشعة بيتا على خلاف مع الآراء السائدة في ذلك الوقت مع كونها خاطئة بالنسبة للنتائج المخبرية الموجودة في آنها. وبعد أن لاحظ هذا الفهم الخاطئ الواسع الانتشار ولدى تصحيحه، كتب فاينمان في كتاباته "منذ ذلك الوقت لم أعد مهتماً لتحليل الخبراء وأقوم بإجراء الحسابات بنفسى" [15]. وعندما قوبل فاينمان بالخطأ في تقديره قال بأننى أخطأت بسبب تقاعسى عن الحساب "ما قلت في كتابى (ما كتبت) خطأ بصورة مطلقة" [16].

وعلى الرغم من الخطأ الحسابى الصغير إلا أن تخمين فاينمان من أن مركز الأرض أصغر عمراً من سطحها يعدّ مثلاً توضيحاً رائعاً لتمدد الزمن في النسبية للتعليم في قاعات التدريس.

المراجع

- [1] H.C. Ohanian, Einstein's mistakes, the human failings of genius, W.W. Norton (2008).
- [2] R.P. Feynman, F.B. Morinigo og W.G. Wagner, Feynman Lectures on Gravitation, edited by B. Hatfield, West view Press Advanced Book Program (2003).
- [3] A.M. Nobili et al., "On the universality of free fall, the equivalence principle, and the gravitational redshift", Am. J. Phys. 81, 527-536 (2013).
- [4] R.S. Christensen et al., "Laboratory test of the Galilean universality of the free fall experiment", Phys. Ed. 49, 201 (2014).
- [5] A.M. Dziewonski and D.L. Anderson, "Preliminary reference Earth model", Phys. Earth Planet. Inter. 25, 297-356 (1981).
- [6] A.R. Klotz, "The gravity tunnel in a non-uniform Earth", Am. J. Phys. 83, 231-237 (2015).
- [7] J. Christensen-Dalsgaard, et al., "The Current State of Solar Modeling", Science 272, 1286-1292 (1996), available at [http://astro.phys.au.dk/_jcd/solar models/](http://astro.phys.au.dk/_jcd/solar%20models/).
- [8] L.B. Okun, K.G. Selivanov and V.L. Telegdi, "Gravitation, photons, clocks", Phys. Usp. 42, 1045-1050 (1999).
- [9] L.B. Okun, K.G. Selivanov and V.L. Telegdi, "On the interpretation of the redshift in a static gravitational field", Am. J. Phys. 68, 115-119 (1999).
- [10] L.B. Okun, "Photons, clocks, gravity and the concept of mass", Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) 110, 151-155 (2002).
- [11] J. Preskill and K.S. Thorne, "Foreword", foreword to [2].
- [12] B. Hatfield, "Quantum gravity", Introductory pages to [2].
- [13] U.I. Uggerhøj, Tid, Taenkepauser 17 (in Danish), Aarhus University Press (2014).
- [14] J. Faye, "The nature of scientific thinking. On interpretation, explanation and understanding", Palgrave Macmillan (2014).
- [15] R. Feynman, R. Leighton and E. Hutchings, "Surely You're Joking Mr. Feynman!", W W Norton (1985).
- [16] T. Hey, "Richard Feynman and computation", Contemp. Phys. 40, 257-265 (1999).

المقالة المترجمة بعنوان: **The young center of the Earth**. منشورة بتاريخ 20 نيسان 2016 في:

European Journal of Physics, volume 37, number 3, pages: 1-7.



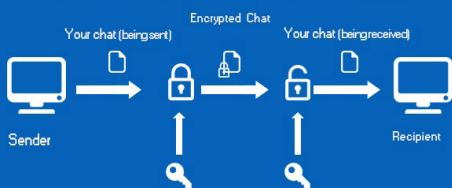
إطلاق خدمة "تشفير طرف إلى طرف" للمهاتفات المسموعة والمرئية عبر التطبيق "مسنجر" من شركة فيسبوك

أعلنت شركة فيسبوك عن إمكانية تفعيل تقنية تشفير المهاتفات الصوتية والمرئية عبر تطبيقها «مسنجر» المستخدم من قبل حوالي ملياري مستثمر يجرون حوالي 150 مليون مهاتفة صوتية/مرئية يومياً، ويذكر أن طريقة التشفير المستخدمة والمعروفة اصطلاحياً بـ "تشفير طرف إلى طرف" (E2EE) end-to-end encryption (E2EE) تلغي إمكانية التنصت والتداخل من قبل أي طرف ثالث بما فيها مزود الخدمة فيسبوك على مضمون المهاتفات. وكانت فيسبوك قد أدخلت تقنية التشفير على المراسلات النصية في عام 2016. وتعمل فيسبوك حالياً على إمكانية تطبيق تقنية التشفير على المحادثات النصية والمهاتفات المسموعة والمرئية الجماعية.

وتنصوي تقنية التشفير من طرف إلى طرف على تشفير الرزم الرقمية سواء كانت رسائل أم محادثات على أحد طرفي الاتصال، ومن ثم فك تشفيرها فقط عند الطرف الثاني؛ أي أن الرزم الرقمية تنتقل أثناء إرسالها من المرسل إلى المستقبل في شكل مشفر بالكامل ولا يمكن لأحد قراءتها باستثناء الطرف المعني باستلامها.

وتختلف هذه التقنية جوهرياً عن تقنية «التشفير أثناء النقل» عندما يتم تشفير الرسائل من الطرف المرسل وتسليمها إلى مخدم التطبيق، حيث يجري فك تشفيرها وتخزينها ومن ثم إعادة تشفيرها وتسليمها إلى المستلم الذي يقوم بفك تشفيرها، ويحمي التشفير أثناء النقل المعلومات عند إرسالها للمخدم واستقبالها من المخدم ولكنه يسمح برؤية محتويات الرسائل بواسطة الرابط الوسيط المحقق للاتصال وهو المخدم.

End-to-End Encryption (E2EE)



ترجمة: د. عماد خضير، هيئة الطاقة الذرية السورية.

<https://www.cnet.com/tech/services-and-software/facebook-messenger-adds-end-to-end-encryption-to-voice-and-video-calls/>

أعشاب ضارة ذات رائحة كريهة يمكن أن تنتج وقوداً حيوياً أنظف للطائرات

تشير دراسة حديثة إلى أن عشبة شائعة تنمو في المزارع يمكن أن تنتج وقوداً للطائرات يعدّ صديقاً أكثر للبيئة مع تأثيرات بيئية أقل من أنواع الوقود الحيوي الأخرى. ووفقاً للدراسة، فإن زراعة عشبة الفرس pennygrass -التي تسمى غالباً بالعشبة النتنة -stinkweed- تتطلب كمحصول سماداً أقل ومبيدات حشرية أقل من النباتات الأخرى التي يمكن استخدامها لصنع وقود طائرات متجدد. كما تتطلب زراعة هذه العشبة عمليات زراعية أقل من محاصيل الوقود الحيوي المحتملة الأخرى مثل حراثة التربة؛ مما يقلل من التكاليف البيئية المرتبطة بها، وتشمل هذه التكاليف انبعاث ثاني أكسيد الكربون الذي يسبب تغير المناخ إلى جانب الانبعاثات الأخرى التي تلوث الهواء. تقترح دراسة أنه يمكن تخفيف الآثار البيئية بشكل أكبر من خلال تقنيات إدارة المزارع التي تحافظ على الأسمدة في الحقول بدلاً من السماح لها بالجريان في مستجمعات المياه watersheds المجاورة، كما يمكن أن ترفع هذه التقنيات التكلفة المالية للزراعة إلا أنها تقلل من أثارها البيئية.

يقول أجاى شاه؛ وهو كبير مؤلفي الدراسة وأستاذ مشارك في الهندسة الغذائية والزراعية والبيولوجية في جامعة ولاية أوهايو في ووستر: ”إن خفض انبعاث غازات الاحتباس الحراري من الطائرات لن يعني فقط تغييرات تدريجية، ولكن تغييراً أساسياً في كيفية إنتاجنا للوقود ومن أين يأتي هذا الوقود“، ويضيف: ”وما وجدناه هو أن عشبة الفرس قد تصنع وقوداً بديلاً جيداً للغاية، خاصة عندما نفكر في التكاليف البيئية لإنتاجه“، وقد نُشرت الدراسة مؤخراً على الإنترنت في مجلة Applied Energy.

قيم الباحثون في هذه الدراسة الآثار البيئية لنمو عشبة الفرس ونقلها إلى معمل التكرير الحيوي؛ أي مصفاة حيوية وتحويلها إلى وقود نفاث صالح للاستخدام، كما أخذوا في الحسبان التكاليف البيئية الناجمة عن حرق المنتجات الثانوية المتبقية من تكرير بذور عشبة الفرس لتحويلها إلى وقود. وتشمل هذه التكاليف البيئية استخدام الأسمدة والمبيدات الحشرية واستهلاك المياه والطاقة اللازمة لحصاد ونقل بذور عشبة الفرس من مزرعة إلى معمل تكرير حيوي ومعالجتها لتصبح وقوداً قابلاً للاستخدام.

قام الباحثون ببناء نماذج حاسوبية لتحديد مقدار الطاقة الإجمالية التي سيستغرقها إنتاج وقود الطائرات من بذور عشبة الفرس ومقارنة تلك التقديرات بالطاقة اللازمة لإنتاج الوقود الحيوي من المحاصيل الأخرى، وقد جاءت بيانات النمذجة هذه من الدراسات الحالية حول إنتاج الوقود الحيوي؛ حيث أظهرت نماذجهم أن إنتاج وقود الطائرات من عشبة الفرس يستهلك حوالي نصف الطاقة اللازمة لإنتاج

وقود الطائرات من اللفت الزيتي أو عباد الشمس، وهما محصولان آخران محتملان لإنتاج الوقود الحيوي للطائرات. وجد الباحثون أن إنتاج زيت عشبة الفرس يستخدم حوالي ثلث كمية الطاقة التي يستخدمها إنتاج زيت فول الصويا، وأن الطاقة اللازمة لتحويل عشبة الفرس إلى وقود نفاث كانت تقريباً نفس تلك الطاقة المستخدمة في إنتاج الوقود من نبات زهرة الكاميلينا، وهو محصول وقود حيوي آخر.

كما يذكر شاه أن الوقود النفاث المتجدد لا يزال غير قادر على المنافسة مالياً مع الوقود المستخرج من الوقود الأحفوري، لكن حساب التأثيرات البيئية لأنواع الوقود الحيوي البديلة يجب أن يساعد المزارعين وصانعي القرارات السياسية في محاولاتهم للحد من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي للأرض، ونأمل أن يبتنوا أو يوقفوا تغيير المناخ.

ويقول شاه أيضاً: ”تصنع عشبة الفرس أيضاً وقوداً بديلاً جذاباً للطائرات بسبب موسم نموها“. ”إنها محصول غطاء شتوي يمكن زراعته بين موسم حبوب الذرة وموسم فول الصويا، مما يمنح نفس مساحة الأراضي الزراعية دورة إنتاج إضافية كل عام“، ويضيف: ”يمكن زراعة عشبة الفرس عندما تكون حبوب الذرة ما تزال موجودة في الحقل؛ أي قبل حصادها“. ”ويمكن حصادها قبل زراعة محاصيل فول الصويا. وخالصة القول أنه يمكن استخدامها كمحصول تغطية، ولا تحدث أية تغييرات على أراضي الإنتاج الزراعي، ولها خصائص مناسبة لإنتاج وقود الطائرات المتجدد“.

وفقاً لمجموعات متعددة تدرس آثار وسائل النقل على تغيير المناخ، فإن انبعاث غازات الاحتباس الحراري من النقل الجوي يساهم في تغيير المناخ، حيث يمثل حوالي 2% من جميع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون التي يسببها الإنسان. كما يقول شاه: ”إن الحد من هذا الانبعاث سيعني بشكل شبه مؤكد إيجاد بدائل أنظف لوقود الطائرات المصنوع من الوقود الأحفوري. ويمكن لمثل هذه الدراسات أن تساعد في تحديد البديل الأفضل للوقود. ويضيف: ”عندما يتعلق الأمر بعشبة الفرس، فإن الإنتاج والخدمات اللوجستية هما المساهمان الرئيسيان في كل من التأثيرات البيئية والتكاليف، وتلك هي مجالات التحدي التي يجب تبسيطها وحلها لجعلها أكثر كفاءة“. ”إذا تمكنا من تحسين هذه المجالات، يمكننا جعل الإنتاج أكثر كفاءة في استخدام الطاقة وخفض التكاليف والآثار البيئية بشكل كبير“.

ترجمة: د. بسام الصفدي، هيئة الطاقة الذرية السورية.

Science News, 2.8.2021

<https://www.sciencedaily.com/releases/2021/08/210802114945.htm>



jetBlue
FOR
GOOD

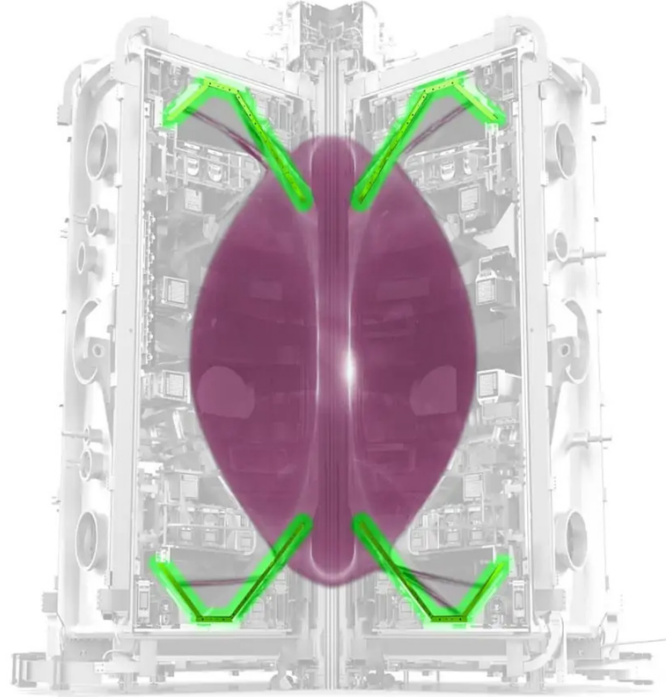
GREENUP

الشمس الاصطناعية في الصين تسجل رقماً قياسياً عالمياً جديداً في الاندماج النووي

Final
Test

وصل أخيراً أقوى وأكبر مغنطيس في العالم يدعى "الملف اللولبي المركزي" central solenoid؛ إذ يبلغ ارتفاعه 59 قدماً وعرضه 14 قدماً، ويصل وزنه لـ 1000 طن، وسيتاح له قريباً المكان الملائم في أكبر مفاعل اندماجي في العالم. وقد أكملت شركة General Atomics بناء أول وحدة مغنطيسية في بداية هذا العام، وبدأت الشركة في شهر حزيران الماضي عملية النقل إلى جنوب فرنسا، وسيقوم المهندسون بتثبيتها في قلب المفاعل النووي الحراري التجريبي الدولي ITER الذي سيصبح قريباً أكبر مفاعل اندماج في العالم وذلك إذا جرت الأمور وفق المخطط له. يعد المغنطيس الكهربائي المركزي العالي التوصيل المفتاح لتصميم الجيل الأول من محطات توليد الطاقة التجارية الاندماجية؛ لأنه القلب النابض للتوكاماك ITER، وهو جهاز عزل مغنطيسي ينتج طاقة اندماجية نووية حرارية مضبوطة، إذ يقوم الملف اللولبي المركزي بداخل التوكاماك المُجمَع بالكامل بتحرير واحتواء البلازما الحارة التي تولد الطاقة الفعلية، وإن الملف اللولبي المركزي قوي جداً لدرجة أن قوته المغنطيسية تكفي لرفع حاملة طائرات لارتفاع مترين أي ستة أقدام في الهواء، وسنصل إلى قوة مجال مغنطيسي تبلغ 13 تسلا، أي أكبر من المجال المغنطيسي للأرض بحوالي 280 ألف مرة. وبالتالي يجب على الهياكل الداعمة للملف اللولبي المركزي أن تتحمل قوى تساوي ضعف قوة دفع مكوك الفضاء؛ وللتوضيح بدأت شركة General Atomics بشحن أول وحدة من إجمالي ست وحدات تتضمن الملف اللولبي المركزي، وترزن كل وحدة 110 أطنان مقارنة مع الوزن الأقصى للطريق السريع بين

الولايات والذي يبلغ 40 طناً فقط، وسيقوم فريق ITER بتكديسها وربطها معاً في مركز المفاعل. تعد عملية النقل صعبة بعض الشيء، وستتضمن مركبات نقل ثقيلة متخصصة على طول مراحل متعددة من الرحلة، وبعد تحميل كل وحدة ستقوم شركة General Atomics بشحن القطع إلى هيوستن حيث ستلتقطها سفينة النقل، وسترسل الشركة الوحدة الأولى إلى البحر في أواخر تموز، وستصل إلى فرنسا بحلول أواخر آب، ويقدر ITER أن النقل البري إلى موقع المفاعل سيتم في أوائل أيلول، وبمجرد أن يصبح المغنطيس الكهربائي للملف اللولبي المركزي جاهزاً ستتحقق خطوة أولى ضخمة أقرب إلى مستقبل الطاقة النظيفة.



وعلى صعيد آخر، فقد ابتكر العلماء في المملكة المتحدة نظام العادم الحراري الثوري الجديد الذي قد يشكل الحل الأكبر مشكلة في الاندماج النووي. لقد عمل العلماء لعقود على مفاعلات توكاماك مختلفة أو غرف على شكل كعكة دائرية تُدمج فيها الذرات وتنصهر من أجل الاندماج لتوليد طاقة وفيرة، إذ يمكن أن تصل درجة حرارة البلازما البيضاء الساخنة إلى 100 مليون درجة سلفزيوس؛ مما يتسبب في تآكل شديد في جميع مكونات هذه المفاعلات. قام العلماء في مركز كولهام للطاقة الاندماجية الذي يعمل تحت إشراف هيئة الطاقة الذرية في المملكة المتحدة UKAEA ببناء التوكاماك الكروي mega amp spherical tokamak MAST وترقيته وتعزيزه على مدار سبعة عشر عاماً. يستعمل MAST upgrade الآن نظام العادم الحراري الجديد المحول super-X لتقليل العبء الحراري بشكل كبير على جميع أجزاء التوكاماك الكروي. تعد حرارة العادم مشكلة كبيرة بالنسبة لأجهزة التوكاماك لدرجة أنها في الواقع محور التركيز الأساسي لمشروع ترقية MAST بأكمله. يتم داخل مفاعل توكاماك نفسه احتواء البلازما بمجال مغنطيسي قوي؛ لذلك لا تلمس البلازما فائقة السخونة الجدران، ولكن يجب أن تكون الحرارة قادرة على التنفيس عن توكاماك، وهنا يبدأ الدمار. تزال غازات العادم شديد الحرارة بنظام يسمى المحول، إلا أن المحولات المتوفرة حالياً هشة للغاية بحيث لا يمكن وضعها في خط النار داخل التوكاماك، مما يتطلب استبدال مكونات المحول كل بضع سنوات؛ الأمر الذي يجعل من الصعب على الاندماج أن يصبح مصدراً تنافسياً واقتصادياً للطاقة. أدى إدخال المحول super-X إلى تقليل ناتج الحرارة عشرة أضعاف، كما يمكنه تقليل العبء الحراري إلى مستوى يمكن التحكم فيه، وبالتالي ربما يكون هذا آخر قطعة مفقودة في لغز صعب للغاية.

أما في الصين فقد حافظ توكاماك "الشمس الاصطناعية" على تفاعل البلازما لمدة 101 ثانية عند الدرجة 120 مليون سلفزيوس مسجلاً رقماً قياسياً جديداً في مجال الاندماج النووي. إن التوكاماك التجريبي المتقدم الفائق التوصيل EAST أو HT-7U أو الشمس الاصطناعية هو عبارة عن مفاعل اندماج يعمل في مراحل مختلفة منذ عام 2006، وقد وصل إلى الاندماج من قبل العديد من تجارب التوكاماك في العالم. وللتذكير، تدور داخل وعاء التوكاماك الذي له شكل كعكة دائرية أو أحياناً أكثر كروية بلازما ساخنة في دائرة مثبتة في مكانها بمغنطيس كهربائي فائق التبريد، وهذا المجال المغنطيسي هو الشيء الوحيد الذي يطفو بين بلازما تصل حرارتها إلى 360 مليون درجة

سلزيوس ومجموعة من المواد التي صنعها الإنسان والتي من الواضح أنها لا تستطيع تحمل درجة الحرارة هذه، وهذا يتطلب استثماراً ضخماً في الطاقة، وهو ما يقول النقاد أنه يعني أن الاندماج لن ينطلق حقاً. وحتى الآن تعمل أجهزة التوكاماك جميعها لبضع ثوانٍ فقط في درجات حرارة منخفضة قبل أن يحدث خطأ ما؛ هذا هو السبب في أن EAST الذي تم تشغيله بشكل صحيح في كانون الأول الماضي لمدة 101 ثانية عند الدرجة 120 مليون سلزيوس بمثابة صفقة ضخمة. إنها ضربة مزدوجة: وقت تشغيل طويل جداً في درجة حرارة عالية بشكل غير عادي. في عام 2018 وصلت درجة حرارة التوكاماك إلى حوالي 82 مليون درجة سلزيوس، لكن في ذلك الوقت كان EAST قادراً على الحفاظ على البلازما لمدة 10 ثوانٍ فقط، وهذا ليس حاراً بما يكفي، أو طويلاً بما يكفي، ولكن 120 مليون درجة سلزيوس و101 ثانية - وهو ما حققه EAST في أواخر أيار - يعد إنجازاً ضخماً بالتأكيد. ولذلك، يعد هذا رقماً قياسياً لكل من درجة حرارة توليد الطاقة المطلوبة ومدة الحفاظ على درجة الحرارة عند مستوى ثابت.

ولعل البعض يتساءل: لماذا يجب أن تكون درجة الحرارة مرتفعة جداً في المفاعلات، على الرغم أن الشمس تعمل عند درجة حرارة 15 مليون سلزيوس فقط؟ للشمس أيضاً ميزة كبيرة نظراً لحجمها الهائل، حيث تحصل على مساعدة من الجاذبية تساعد في تحطيم ذراتها معاً، وبدلاً من استعمال الجاذبية يجب أن ترفع درجة حرارة التوكاماك الأرضية إلى عدة ملايين أعلى من حرارة الشمس من أجل جعل الذرات قابلة للكسر، ومع أن الرقم القياسي الجديد للشمس الاصطناعية رائع، إلا أنه لا يزال بعيداً جداً عن تفاعل البلازما الذاتي أو الاشتعال. وسيطلب ذلك درجات حرارة أعلى من المحتمل أن يتم الاحتفاظ بها لفترة أطول بكثير.

ترجمة: د. عبد الغفار الافي، هيئة الطاقة الذرية السورية.

- Popular mechanics: 23/06/2021

<https://www.popularmechanics.com/science/energy/a36742157/iter-central-solenoid-worlds-most-powerful-magnet/>

- Popular mechanics: 28/05/2021

<https://www.popularmechanics.com/science/energy/a36559078/nuclear-fusion-breakthrough-uk-reactor-experiment/>

- Popular mechanics: 07/06/2021

<https://www.popularmechanics.com/science/energy/a36630528/china-artificial-sun-breaks-fusion-world-record/>



اكتشاف وديد في الحمض النووي الريبي يؤدي إلى إنتاج محاصيل بطاطا و أرز تنمو بزيادة 50 في المئة

أعلن مجموعة من الباحثين من جامعة شيكاغو وجامعة بيكينغ Peking وجامعة Guizhou أن إحداث طفرة في الحمض النووي الريبي يسمح للنباتات بإنتاج محاصيل بشكل أكبر إضافة إلى زيادة في تحمل الجفاف.

أدت إضافة شيفرة وراثية في اختبارات أولية مشفرة لبروتين يسمى FTO إلى زيادة في محصول نباتات الأرز والبطاطا بنسبة 50 في المئة في الاختبارات الحقلية، وقد نمت النباتات بشكل أكبر وأنتجت نظام جذور أطول وكانت أكثر قدرة على تحمل إجهاد الجفاف، وأظهرت التحاليل أن النباتات قد زادت من معدل التركيب الضوئي.

يقول البروفيسور Chuan He من جامعة شيكاغو والذي قاد البحث مع البروفيسور Guifang Jia في جامعة بيكينغ: "حقاً التغيير مفاجئ... والأكثر من ذلك أنها نجحت تقريباً عند اختبارها على كل نوع من النباتات التي حاولنا معها حتى الآن، مع أنه تعديل بسيط جداً".

يأمل الباحثون في إمكانية هذه الطفرة خصوصاً في مواجهة تغير المناخ وغيره من الضغوط pressures على نظم المحاصيل في جميع أنحاء العالم.

يقول He؛ وهو أستاذ الكيمياء والكيمياء الحيوية والبيولوجيا الجزيئية في معهد John T. Wilson الشهير: "يوفر هذا في الحقيقة إمكانية للمهندسين الزراعيين بتحسين النظام البيئي في ظل استمرار الاحتباس الحراري... نحن نعتمد على النباتات في العديد والكثير من الأشياء بل كل شيء من الخشب والغذاء والدواء إلى الزهور والنفط، وهذه الإمكانية تقترح طريقة لزيادة مخزون المواد التي يمكن الحصول عليها من معظم النباتات".

دفع الأرز إلى الأمام؛ أي زيادة معدل نمو الأرز

يعمل العلماء منذ عقود على زيادة إنتاج المحاصيل في مواجهة تزايد في عدم استقرار المناخ وفي ظل تزايد عدد سكان العالم، ولكن عادة ما تكون هذه العمليات معقدة وغالباً ما تؤدي النتيجة إلى تغير بسيط، إلا أن الطريقة التي جاء بها هذا الاكتشاف كانت مختلفة تماماً.

يتذكر الكثير منا الحمض النووي الريبي من علم الأحياء في المدرسة الثانوية؛ حيث تعلمنا أن جزيء الحمض النووي الريبي يقرأ الحمض النووي، ثم يجعل البروتينات تنفذ المهام، ولكن في عام 2011 افتتح مختبر He مجالاً جديداً كاملاً من الأبحاث من خلال اكتشاف مفاتيح طريقة مختلفة للتعبير عن المورثات في الثدييات، وقد اتضح أن الحمض النووي الريبي لا يقرأ ببساطة مخطط الحمض النووي DNA blueprint وينفذه بشكل أعمى؛ إذ يمكن للخلية نفسها تنظيم أيها من أجزاء المخطط تم التعبير عنها، ويتم ذلك عن طريق وضع علامات كيميائية على الحمض النووي الريبي لتعديل البروتينات المتشكلة وعددها.

وقد أدرك He وزملاؤه على الفور أن ذلك له آثار كبيرة على علم الأحياء، ومنذ ذلك الحين يحاول فريقه وآخرون في جميع أنحاء العالم بلورة فهمنا للعملية وآثارها على الحيوانات والنباتات والأمراض البشرية المختلفة؛ فعلى سبيل المثال He هو أحد مؤسسي شركة التقانة الحيوية التي تقوم الآن بتطوير أدوية جديدة مضادة للسرطان تعتمد على استهداف بروتينات تعديل الحمض النووي الريبسي.

بدأ He وGuifang Jia -الذي يعمل باحثاً سابقاً في مرحلة ما بعد الدكتوراه في جامعة يوشيكاجو UChicago، ويعمل الآن أستاذاً مساعداً في جامعة بيكينغ -بالتساؤل عن كيفية تأثير ذلك على بيولوجيا النبات.

ركزا على بروتين يسمى FTO؛ وهو أول بروتين معروف يحمو العلامات الكيميائية عن الحمض النووي الريبسي، وقد وجده الباحث Jia الذي يعمل بصفة باحث ما بعد الدكتوراه في مجموعة He في يوشيكاجو، وقد عرف العلماء أن هذا البروتين يعمل على الحمض النووي الريبسي للتأثير على نمو الخلايا في البشر والحيوانات الأخرى، لذلك حاولوا إدخال المورثة الخاصة به في نباتات الأرز ثم شاهدوا في ذهول كيف أقلعت النباتات، وأضاف He: "أعتقد أننا في تلك اللحظة أدركنا جميعنا أننا نقوم بشيء مميز".

أنتجت نباتات الأرز ثلاثة أضعاف إنتاجها من الأرز في شروط المختبر عندما جربت في اختبارات حقلية حقيقية، وقد أنتجت زيادة بنسبة 50% لكل من الكتلة النباتية الخضرية والمحصول من الأرز، ونمت بجذور أطول، وتمكنت من التركيب الضوئي بكفاءة أكبر، ويمكن أن تصمد بشكل أفضل أمام الإجهاد الناجم عن تحمل الجفاف.

كرر العلماء التجارب مع نباتات البطاطا التي هي جزء من عائلة مختلفة تماماً، وكانت النتائج ذاتها. يقول He: "إن هذا يشير إلى درجة من الشمولية universality مثيرة للغاية".

استغرق العلماء وقتاً أطول للبدء في فهم كيفية حدوث ذلك، وأظهرت تجارب أخرى أن البروتين FTO بدأ العمل مبكراً في تطوير النباتات وتعزيز الكمية الإجمالية للكتلة الحيوية التي تنتجها.

يعتقد العلماء أن FTO يسيطر على عملية تعرف باسم m6A؛ وهي مفتاح تعديل الحمض النووي الريبسي RNA. في هذا السيناريو تعمل FTO عن طريق محو الحمض النووي الريبسي m6A لتخميد muffle بعض الإشارات التي تخبر النباتات بإبطاء وتخفيف النمو. تخيل طريقاً مع الكثير من الإشارات الضوئية إذا ما قام العلماء بتغطية الضوء الأحمر وتركوا الأخضر، فإنه يمكن أن يتحرك الكثير والكثير من السيارات على طول الطريق. وبشكل عام، أنتجت النباتات المعدلة حمضاً نووياً ريبسياً أكثر بكثير من نباتات الشاهد.

تعديل العملية process

تتضمن العملية الموصوفة في هذه الورقة استخدام مورثة FTO حيوانية في النبات، ولكن بمجرد أن يفهم العلماء تماماً آلية النمو هذه، يُعتقد أنه يمكن أن تكون هناك طرائق بديلة للحصول على التأثير ذاته.

يقول He: "يبدو أن النباتات لديها بالفعل هذه الطبقة من التنظيم، وكل ما فعلناه هو الاستفادة منها؛ لذا فإن الخطوة التالية هي اكتشاف كيفية القيام بذلك باستخدام المورثات الموجودة في النباتات".

يمكنه أن يتخيل جميع أنواع الاستعمالات في المستقبل وهو يعمل مع الجامعة ومع مركز بولسكي لريادة الأعمال والابتكار Polsky Center For Entrepreneurship and Innovation لاستكشاف الاحتمالات. ويقول: "حتى فيما يتعلق بالغذاء هناك عواقب أخرى لتغيير المناخ". ربما يمكننا هندسة الأعشاب في المناطق المهذبة التي يمكن أن تتحمل الجفاف، وربما يمكننا تعليم شجرة في الغرب الأوسط أن تنمو بجذور أطول بحيث تصبح أقل عرضة للسقوط بسبب العواصف القوية. هناك الكثير من التطبيقات المحتملة".

ترجمة: د. بسام الصفدي، هيئة الطاقة الذرية السورية.

Science Daily, 22.7.2021

<https://www.sciencedaily.com/releases/2021/07/210722112953.htm>





براءات اختراع مسجلة في سورية ومعدة من قبل باحثين في الهيئة

العنوان	إعداد	رقم وتاريخ القرار
استخلاص بولي ستيرين بمواصفات جيدة من الستيربول النفاية، واستخدامه في تنقية المياه	د. جمال العبد الله د. عبد الغفار اللافي	رقم 1669 تاريخ 2021/6/22



No. 156
ISSN 1607-985X

Atomic Energy Commission of Syria