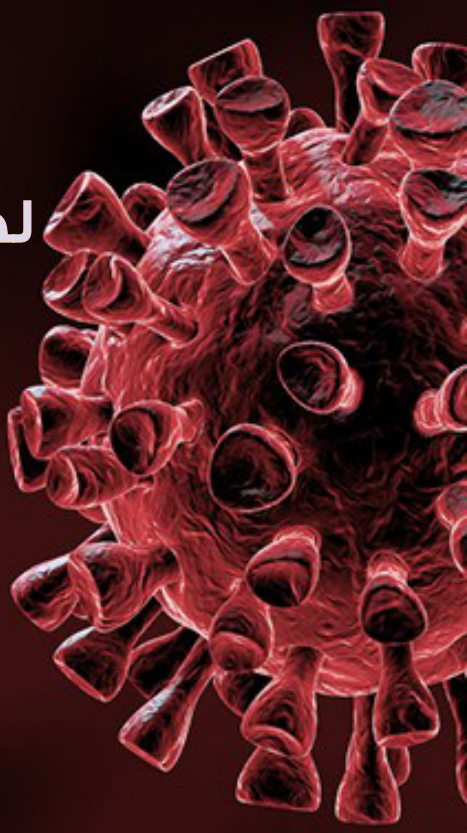
157

مجلة هيئة الطاقة الذريّة السورية
2022

عالم الذرّة

التطبيقات الممكنة لطعوم الغشاء الأمنيوسي البشري في المعالجات الطبية



أصول برية سورية كنز وراثي لإنقاذ تدهور محصول القمح في العالم

استخدام الأنسجة الاصطناعية من أجل إصلاح القلوب والعضلات والحبال الصوتية

أطلقت ناسا تلسكوب ويب لرؤية المجرّات الأولى والعوالم البعيدة

www.saec.sy/aznis/Slider.aspx

عـالـم الـذرّة

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

المديـر المسـؤول

أ. د. إبراهيم عثمان

المدير العام لهيئة الطاقة الذرّية السورية

رئيس هيئـة التحرير

أ. د. ناديا حيدر

أعضاء هيئـة التحرير

أ. د. فواز كرد علي
أ. د. محفوظ البشير
أ. د. عادل باكير
أ. د. عبد الحميد الريس
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

التدقيق اللغوي

ريما سنديان

التنضيد والأرشفة

غفران ناوروز - هنادي كنفاني

الإخـراج الفنـي

بشار مسعود
راما الكاج
أمل قيروط

المحتويات

مقـــالات

التطبيقات الممكنة لطعوم الغشاء الأمنيوسي البشري في المعالجات الطبية
8

تحديات الإدارة المستدامة للمياه الجوفية في سورية ودور تقنيات النظائر في التدابير الوقائية
20

أصول برية سورية كنز وراثي لإنقاذ تدهور محصول القمح في العالم
25

تطبيق التقنيات الذرية والنووية في تحليل السطوح وسبر العمق العنصري في الأفلام الرقيقة
32

العلاج بالأضداد وحيدة النسيلة كتدخل علاجي فعال لمرض كورونا المستجد COVID-19
45

كوفيد-19 والعمل من المنزل: التحويل الرقمي للقوة العاملة
55

أخبار علمية

60

استخدام الأنسجة الاصطناعية من أجل إصلاح القلوب والعضلات والحبال الصوتية
60

أطلقت ناسا تلسكوب ويب لرؤية المجرّات الأولى والعوالم البعيدة
61

التقاط الكربون وتخزينه بشكل أكثر أماناً
63

إيلون ماسك يطلق مشروعاً جديداً لتحويل الكربون إلى وقود للصواريخ!
64

قواعد النشر في مجلة عالم الذرّة

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 ومعبّراً عن المضمون.
- يلي ذلك ملخص، لا يتجاوز مئة وخمسين كلمة، باللغة العربية وملخص باللغة الإنجليزية، على صفحتين 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.
- الجداول: 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 21×29.7 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 أماكنِ 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 المنضّد 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 التقيّد بمضمون هذا التعميم تلافياً لكل إشكال قد يواجه كادر التنضيد. وسنورد في طيّه مثالاً 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 نجري 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 وتوخّياً منّا للإخراج المتناسق والموحّد فإننا نأمل التقيّد 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 مبيّن أدناه:

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

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

الفاصلة (،): توضع بين الجمل القصيرة المتعاطفة أو المتّصلة 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 المتّصلة 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 الشّرح والتفسير دون ترك فراغ قبلهما.

– 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 التَّعجب أو النداء أو ما يدلُّ على الفرح أو الألم أيضاً دون ترك فراغ قبلها.

– مثال: كيف كان الكون بعد الانفجار العظيم!

النقاط المتتالية (...): تدلُّ على أنَّ الكلام فيه حذف أو أنَّه 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 خطّان صغيران توضع بينهما جملة معترضة داخلة بين شيئين متلازمين من الجملة كالفعل والفاعل أو الفعل والمفعول به، أو المبتدأ والخبر، أو المتعاطفين.

- مثال: إن المؤتمر الدولي –للجيل الرابع من المفاعلات– مبادرة مهمة.

علامة الاقتباس ("..."): وهي قوسان صغيران يوضع بينهما ما ننقله من كلام بنصِّه دون تغيير.

- مثال: أنجز الباحث مقالاً بعنوان "سوق اليورانيوم ومصادره" وهو في طريقه إلى النشر.

الواصلة الصغيرة (-): توضع في أوَّل الجملة وبأوَّل السَّطر للدَّلالة على تغير المتكلِّم اختصاراً لكلمة (قال أو أجاب) 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–معدنية.

وكذلك توضع بين رقمين.

- مثال: انظر المراجع 154-161.

الأقواس {...} [...] (...): عند كتابة أي من هذه الأقواس يُترَك 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.

الشَّرطَةُ المائلة (/): لا يُترَك 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 إلاّ 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 و ودّعتهم في المطار).

أما في حالة الأسماء، نضع حرف الواو (و) منفصلاً بين اسم المؤلف وبين الاسم الذي يليه (مثال: طريف شربجي و زهير أيوبي و فاطر محمد).

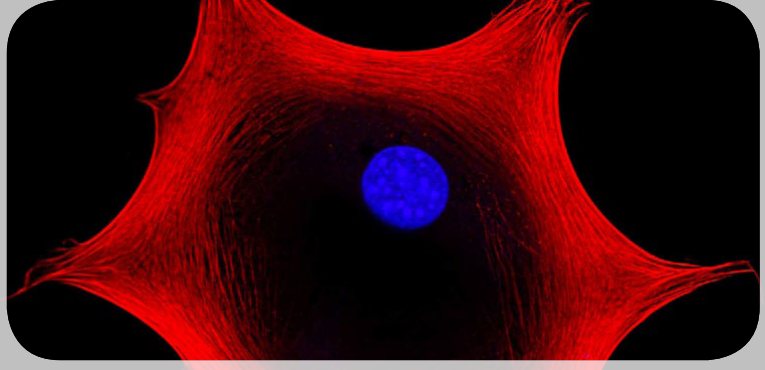
في حالة (أو)، ينبغي ترك فراغ بعدها (مثال: حُدِّدت المسائل المتوقع حلّها سواء على المستوى الثقافي أو التنظيمي أو الإداري).

النسبة المئوية (%): نجعلها دائماً على يسار الرقم وبدون فراغ بينها وبين الرقم (مثال: 40%).

الواحدات (ميغاهرتز، سم، كيلوواط، ...): إذا كانت بالعربية نضعها على يسار الرقم وإذا كانت بالإنكليزية نضعها على يمين الرقم ونترك فراغاً بينها وبين الرقم ونذكر مثالاً: (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.



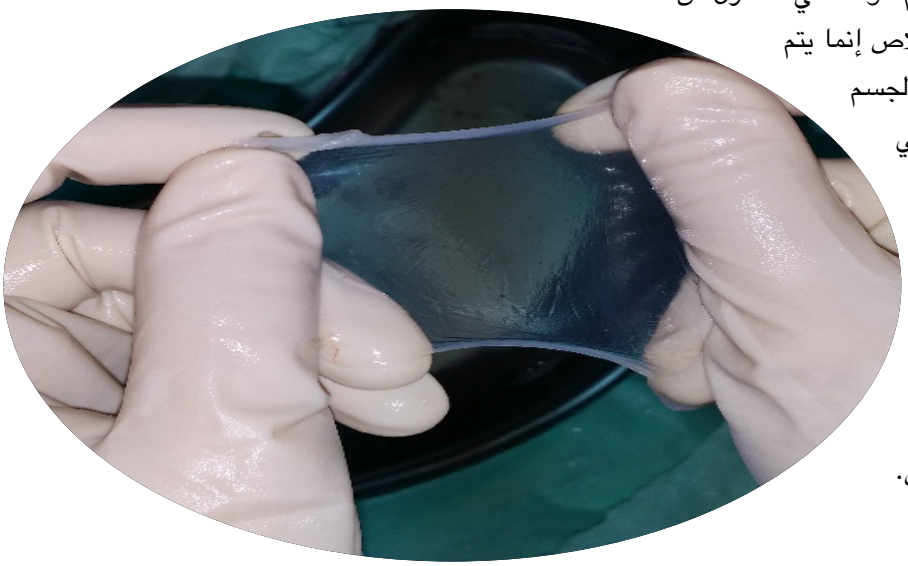
التطبيقات الممكنة لطعوم الغشاء الأمنيوسي البشري في المعالجات الطبية

يزداد الاهتمام باستعمال طعوم الغشاء الأمنيوسي البشري في الاستطبابات العينية ومعالجة الجروح والحروق والتقرحات المزمنة وفي ترميم الأجزاء المتضررة من النسج البشرية human tissues، داخلياً وخارجياً ولغايات علاجية أو تجميلية على حد سواء؛ حيث يحتوي الغشاء الأمنيوسي على عدد كبير من الخلايا الفعالة القادرة على إعادة التوالد كالخلايا الجذعية stem cells، وخلايا النسيج الأوسط (الخلايا الميزانشيمية) الضامة mesenchymal stromal cells وخلايا الظهارة epithelial cells والخلايا الجنينية الشبيهة بالخلايا الجذعية embryonal like stem cells والخلايا المولدة progenitor cells والخلايا المتعددة النشاط multipotent cells، ويحتوي الغشاء الأمنيوسي على كمية كبيرة من المركبات المساعدة على الشفاء؛ أهمها الكولاجين collagen واللامينين laminin واللاستين elastin والسيتوكينات cytokines والفيبرونكتين fibronectin والبروتيوغليكانات kproteoglycans والنيدوجين nidogen والبرلسان perlecan، والأغرين agrin، ويتمتع الغشاء الأمنيوسي بعدة مزايا وظيفية أخرى من أهمها: عجزه على توليد الضاد lack of anti-genicity، وتأثيراته المضادة للالتهاب anti-inflammatory والمضادة للميكروبات antimicrobial وقدرته على إفراز عوامل النمو secretion of growth factors. وقد تمت الإشارة منذ أكثر من قرن إلى إمكانية استعمال الغشاء الأمنيوسي البشري في معالجة الحروق والجروح، وذلك بصدور أول تقرير في عام 1910 يتضمن المزايا التي يتمتع فيها الغشاء الأمنيوسي، وأشير أيضاً إلى إمكانية استعمال الغشاء الأمنيوسي في علاج الإصابات العينية منذ عام 1940، وانتشر بشكل واسع استعمال الغشاء الأمنيوسي في العيادات الطبية للاستفادة من خصائصه الوظيفية في المعالجة البيولوجية دون أن يسجّل مواقف أخلاقية معارضة لاستعماله في المعالجات الطبية، ويستعمل الغشاء الأمنيوسي البشري في وقتنا الحاضر في أكثر من مجال طبي كمعالجة اللثة وترميم ملتحمة العين وفي معالجة تقرحات القدم السكري ومعالجة الالتهابات العظمية وفي ترميم الأعصاب والمعالجات السنية والنسائية والبولية وفي جراحة التجميل...إلخ. ويعد تحضير طعوم الغشاء الأمنيوسي في سورية من اهتمامات هيئة الطاقة الذرية التي قامت باستكمال مجمل المتطلبات الإدارية والفنية والتشريعية للوصول إلى منتج نهائي يتماشى مع المعايير المذكورة في المدونات الدولية ويمكن استعماله في المجالات المشار إليها آنفاً، ومن المتوقع أن يتم إنتاج هذه الطعوم في الوحدة المخصصة لذلك وعلى مستوى تجاري في بداية عام 2022.

الكلمات المفتاحية: الغشاء الأمنيوسي البشري، خصائص الغشاء الأمنيوسي، تحضير طعوم الغشاء الأمنيوسي، تطبيقات طعوم الغشاء الأمنيوسي.

مقدمة

يعرف الغشاء الأمنيوسي البشري human amniotic membrane (HAM) بأنه نسيج التكاثر reproductive tissue، وهو الكيس الذي يحيط بالجنين بسماكة تقدر بحوالي 0.5 مم، كما هو موضح في الشكل 1، ويعد جزءاً من المشيمة chorion التي يبدأ تشكلها بعد بضعة أيام من التلقيح (الإخصاب)، والمشيمة عضو في غاية الأهمية من حيث دورها الوظيفي في حماية الجنين وضمان تطوره، وبقائه على قيد الحياة، وتتراوح سماكة المشيمة بين 10 و 15 مكرومتر (ميكرون)، وتتكون من غشاءين جنينيين fetal membranes؛ داخلي يدعى الغشاء الأمنيوسي، وخارجي هو الغشاء المشيمي، وتحتوي المشيمة على السائل الأمنيوسي الذي يحمي الجنين fetus في الرحم terus ويشكل الغشاء الأمنيوسي والمشيمة والسائل الأمنيوسي ما يطلق عليه عرفاً عند العامة في المجتمع السوري بالخلاص الذي ينتج عن عملية الولادة، وتختلف أساليب التعامل مع الخلاص باختلاف الأعراف والعادات والتقاليد والقيم الأخلاقية والمعتقدات الدينية السائدة في كل مجتمع؛ ففي التجمعات الريفية المحلية حيث تتم الولادة في المنازل من قبل قابلة قانونية (الداية)، فإن التعامل مع مجمل الخلاص إنما يتم بعناية فائقة، إذ يتم التعامل معه كجثة أو كجزء من الجسم البشري الذي يجب دفنه في المقابر دون طقوس، وفي التجمعات البشرية المحلية الأكثر تطوراً والأكثر تحرراً من الأعراف والتقاليد يعدّ التوليد اختصاصاً مهنياً والولادة عملاً طبياً ينجز في المستشفيات ومراكز التوليد بإشراف مختصين، وعندها يكون التعامل مع الخلاص كنفاية بيولوجية biological waste يتم التخلص منها وفق قواعد وإجراءات خاصة تضمن عدم التسبب في أي تلوث للبيئة أو أي ضرر لصحة الإنسان.



الشكل 1. الغشاء الأمنيوسي البشري بعد التنظيف وتجهيزه لتحضير الطعوم.

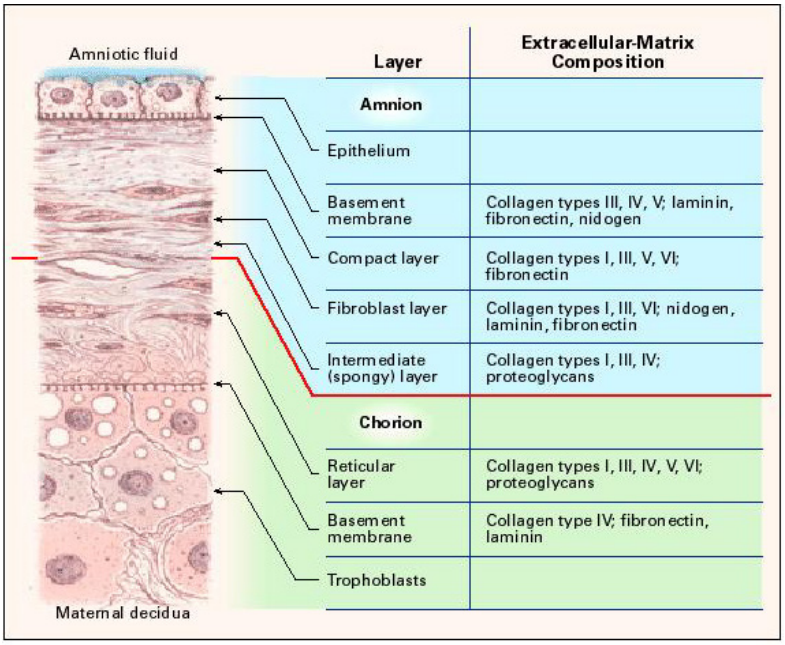
البنية التشريحية للغشاء الأمنيوسي

الغشاء الأمنيوسي هو نسيج لاوعائي non-vascular tissue. يتوضع في الطبقة الداخلية العميقة innermost layer، من الغشاء المشيمي placental membrane، ويتكون من طبقة أحادية monolayer والسدى stroma، ويتولد هذا الغشاء البيولوجي من طبقة الأديم الظاهر ectoderm، ويشبه ببنيته التشريحية histological structure إلى حد كبير بنية الجلد الذي يتكون من عدة طبقات من النسيج الظهاري epithetical tissues والغشاء القاعدي basement layer، ويمنحه هذا التشابه ميزة في أن يكون طعماً نموذجياً للجلد؛ أي طعماً جلدياً skin allograft، لقدرته السريعة على إعادة الخلايا الظهارية في الجلد المزال denuded skin مع انخفاض في المكون المناعي low immunogenicity. ويتكون الغشاء الأمنيوسي بشكل عام من خمس طبقات كما هو موضح في الشكل 2 طبقة الظهارة epithelium layer وطبقة غشاء القاعدة الظهاري basement membrane والطبقة الصماء compact layer وطبقة الخلايا الليفية fibroblast layer والطبقة الإسفنجية spongy layer. ويحتوي الغشاء الأمنيوسي على عدد كبير من الخلايا الجذعية stem cells وخلايا النسيج الأوسط (الخلايا الميزانشيمية) الضامة mesenchymal stromal cells وخلايا الظهارة epithelial cells والخلايا الجنينية الشبيهة بالخلايا الجذعية embryonal like stem cells والخلايا المولدة progenitor cells وعلى تجمع ثانوي subpopulations من الخلايا المتعددة النشاط multipotent cells.

المكونات الأساسية للغشاء الأمنيوسي

يتميز النسيج الأمنيوسي aminotic tissue باحتوائه على كمية كبيرة من المركبات المغذية nutrients والمركبات غير المولدة للمناعة non-immunogenic التي تؤدي دوراً ايجابياً في علاج الجروح من خلال مساهمتها في ترميم الجلد. ويحتوي نسيج الغشاء الأمنيوسي على كمية معتبرة من المركبات المساعدة على الشفاء أهمها نماذج الكولاجين 1 و3 و4 و5 و6 واللامينين واللاستين والفيبرونكتين

والبروتيوغليكانات والنيدوجين 1 و2 والبرلسان والأغرين، ويبين الشكل 2 توزع هذه المركبات ضمن طبقات الغشاء الأمنيوسي وطبقات المشيمة. ويحتوي الغشاء الأمنيوسي على مجموعة من المكونات التي لها علاقة مباشرة بالتأثير العلاجي للغشاء الأمنيوسي بما في ذلك الأنزيمات المعنية باصطناع البوستاغلاندين prostaglandin synthesis كأنزيمي الفوسفوليباز phospholipases، والسيكلو أكسجيناز Cyclo-oxygenase، ويحتوي الغشاء الأمنيوسي أيضاً على السيتوكينات وعلى عوامل النمو growth factors.



الشكل 2. مقطع عرضي في الغشاء الأمنيوسي البشري يبين توزع المكونات الفعالة في طبقات الغشاء الأمنيوسي الخمس وطبقات المشيمة الثلاث.

الخصائص الميكانيكية والوظيفية للغشاء الأمنيوسي

يتصف الغشاء الأمنيوسي البشري بالرقة والنعومة وخفة الوزن واللدانة elastic، ويتمتع بعدة مزايا وظيفية لعل من أهمها: أنه مصدر للخلايا الجذعية وعجزه على توليد الضاد وتأثيراته المضادة للالتهاب والمضادة للميكروبات وتمتعه بالمرونة flexibility والتكلفة المنافسة cost effectiveness وتوافره availability وسهولة استعماله وتخزينه وقدرته على إفراز عوامل النمو. وتسمح مجمل هذه الخصائص والمواصفات باستعمال الغشاء الأمنيوسي كضماد بيولوجي مناسب للاستفادة من ميزة عمله الوظيفي الجيدة كمضاد ميكروبي ومضاد للالتهاب ومزيل لآثار الحروق والجروح والندب.

تحضير الغشاء الأمنيوسي

يتم الحصول على الغشاء الأمنيوسي من أم حامل بعد الولادة بعد إخضاع الأم إلى جملة من الاختبارات السريرية للتحقق من خلوها من جميع محددات الاستفادة من غشائها الأمنيوسي بما في ذلك إجراء التحاليل المصلية serological tests المنصوص عليها في المدونات الطبية وبما يضمن الحصول على طعوم فعالة في المعالجة والاستشفاء والحد ما أمكن من مخاطر انتقال الأمراض الناتجة عن النقل والزرع. ويفترض أن يتم الحصول على المشيمة من أم سبق أن وافقت على التبرع بالمشيمة المترافقة مع ولادة طفلها، بعد أن تأكدت من أن هذا التبرع لا يشكل خطورة على حياتها ولا على حياة وليدها، ويفضل أن يتم الحصول على المشيمة الممكن استعمال غشائها في تحضير الطعوم من قسم الولادة القيصرية cesarean section بشروط صحية من متبرع خال من الأمراض المعدية المدونة في دليل التبرع بما في ذلك خلوها من فيروس نقص المناعة human immunodeficiency virus (HIV) وفيروسات التهابات الكبد hepatitis C virus (HCV) والسيفلس syphilis، ويتم التعامل مع المشيمة المختارة للاستفادة من غشائها الأمنيوسي من قبل عناصر مدربة على العمل الجراحي والتشريحي وملتزمة بقواعد ضبط الجودة بما يضمن المحافظة على الخصائص الحيوية للغشاء وضمان عدم حدوث تحلل

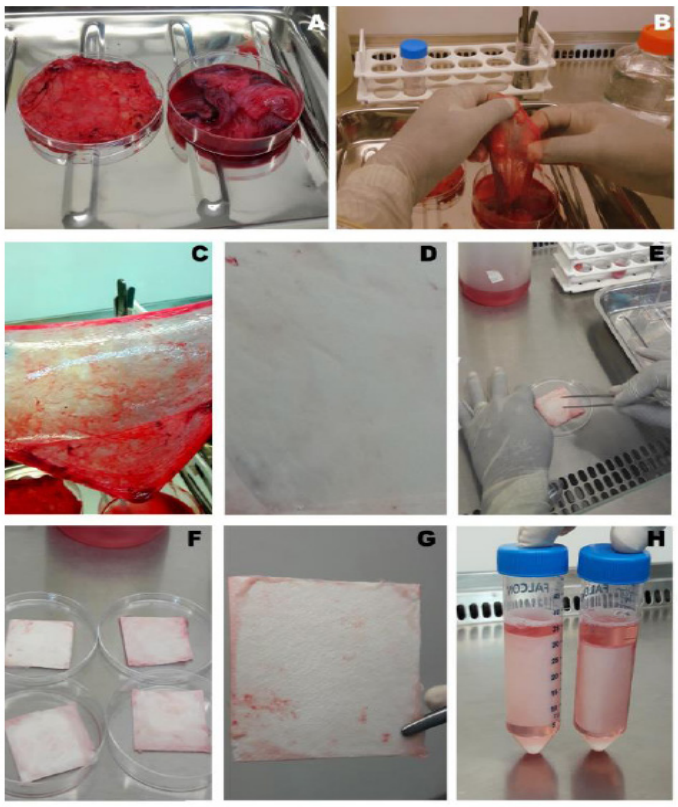
أنزيمي أو كيميائي أو ميكروبي إلى حين نقلها ضمن حاويات نظيفة ومخصصه لذلك وبشروط مناسبة إلى وحدة تحضير وتجهيز طعوم الغشاء الأمنيوسي (بنك النسج)، كما هو موضح في الشكل 3.

تجهيز وتصنيع طعوم الغشاء الأمنيوسي

يتم تحضير وتجهيز طعوم الغشاء الأمنيوسي البشري عادة من قبل جهات ومؤسسات مختصة معنية بموضوع التحضير والتوزيع يطلق عليها اسم بنوك النسج tissue banks؛ حيث يتم التجهيز والتصنيع بتطبيق مخرجات هندسة النسج tissue engineering ومخرجات ضمان الجودة quality assurance، ويتم عملياً تعقيم الطعوم بعد تحضيرها في بنوك النسج للتخلص من مجمل ما تحمله من كائنات حية دقيقة وضمان عدم انتقال العدوى من المانح إلى المستقبل، ويتم التعقيم الإشعاعي بتطبيق مجال من الجرع الإشعاعية يتراوح بين 15 و35 كيلو غراي، ويتم عادة تعقيم طعوم النسج بجرع إشعاعية من مرتبة 25 كيلو غراي حسب توصية كل من الوكالة الدولية للطاقة الذرية IAEA ومنظمة الصحة العالمية WHO. ويستخدم في بولونيا كل من أشعة غاما والحزم الإلكترونية بجرعة من مرتبة 35 كيلو غراي لضمان تعقيم طعوم النسج مهما كانت حمولتها الميكروبية مرتفعة.

التطبيقات الممكنة لطعوم الغشاء الأمنيوسي في العلاج الطبي

تمت الإشارة منذ أكثر من قرن إلى إمكانية استعمال الغشاء الأمنيوسي البشري في معالجة الحروق والجروح، وفي علاج الإصابات العينية، وقد انتشر بشكل واسع استعمال الغشاء الأمنيوسي في العيادات الطبية للاستفادة من خصائصه الوظيفية في المعالجات البيولوجية دون أن يسجل مواقف أخلاقية معارضة لاستعمال الغشاء الأمنيوسي البشري في العلاجات الطبية. ويستخدم الغشاء الأمنيوسي البشري في وقتنا الحاضر في أكثر من مجال طبي؛ منها على سبيل المثال لا الحصر معالجة اللثة ومعالجة تقرحات القدم السكري ومعالجة الالتهابات العظمية وترميم الأعصاب، والمعالجات السنية والنسائية والبولية وفي جراحة التجميل...إلخ.



الشكل 3. تصوير توضيحي لخطوات العمل المنفذة في عزل الغشاء الأمنيوسي وحفظه. **A-** المشيمة مع الغشاء الأمنيوسي قبل التنظيف من الدم. **B-** الغشاء الأمنيوسي بعد نزعه من المشيمة. **C-** الغشاء الأمنيوسي المنزوع من المشيمة قبل تنظيفه. **D-** غشاء أمنيوسي معالج بالمضادات الحيوية ومنظف بمحلول ملحي ومنظف بشكل كامل من الدم. **E-** غشاء أمنيوسي ممدد بشكل موحد دون تجاعيد أو تمزق على حامل (فلم) معقم. **F-** غشاء أمنيوسي محمل على فلم عقيم مجهز بأبعاد 5×5 سم. **G-** غشاء أمنيوسي مقصوص الحواف ليتطابق مع الحامل. **H-** الغشاء الأمنيوسي المثبت على حامل ضمن أنبوب واسع الفتحة ومزود بسدادة.

معالجة الحروق والجروح باستعمال طعوم الغشاء الأمنيوسي

وردت الإشارة في الأدبيات العلمية إلى استعمال طعوم الغشاء الأمنيوسي البشري في معالجة الجروح منذ أكثر من قرن، وقد اعتبر الغشاء الأمنيوسي البشري في ذلك الوقت مصدراً مناسباً لتطعيم الجلد، واستخدم أول مرة في مجال معالجة الجروح والحروق وترميم الجلد في عام 1910؛ حيث تمت المعالجة بوضع طعم الغشاء الأمنيوسي على المساحة المتضررة بالحروق والجروح كضماد وتركها على المكان المتضرر لمده تتراوح بين 3 و7 أسابيع. وبالرغم من الإشارات المبكرة لاستعمال طعوم الغشاء الأمنيوسي في معالجة الحروق والجروح إلا أن هذا الاستعمال بقي محدوداً وعلى نطاق ضيق حتى تاريخ 1965 بسبب عدم توافر التقنيات المناسبة في تحضير وتعقيم وتخزين هذه الطعوم. وتمت الإشارة في تلك الفترة إلى ضرورة إيجاد وسائل أكثر تطوراً لعزل الغشاء الأمنيوسي من المشيمة بشكل آمن وسليم، وتم تحضيره بطرق تضمن المحافظة على خصائصه النوعية والوظيفية وتعقيمه بما يكفل تخليصه من مجمل الملوثات المحتمل وجودها في الطعم خلال مراحل الإعداد والتحضير، ليبدأ بعد ذلك إنجاز العديد من البحوث في مجال تحضير الطعوم وتعقيمها وتوضيح آلية عمل هذه الطعوم من الغشاء، ثم توسّع البحث في هذا المجال بعد الحرب العالمية الثانية وتحديداً في السنوات التي تلت الحرب، حيث تناولت هذه الدراسات إمكانية استعمال الغشاء الأمنيوسي كضماد بيولوجي طبيعي لمعالجة الجروح والحروق عالمياً، وتم نشر نتائج الاختبارات السريرية لهذه الأعمال في الأدبيات العلمية كما هو موضح في الشكلين 4 و5.

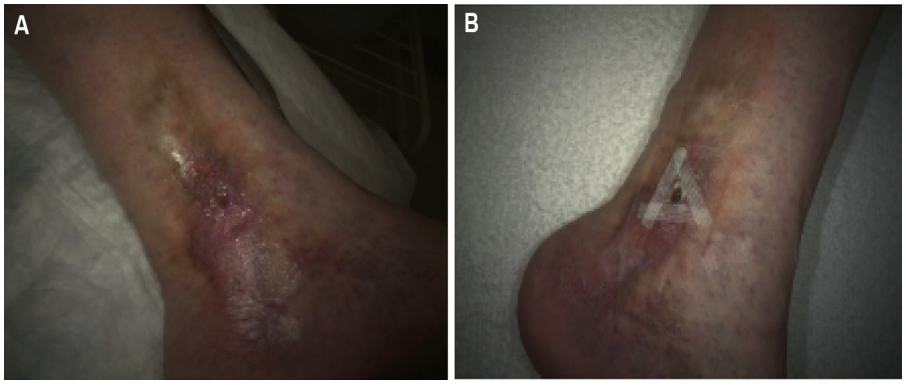
يمتلك الغشاء الأمنيوسي بعض الخصائص الوظيفية الفريدة التي تجعل منه ضماداً مميزاً يمكن استعماله بنجاح في علاج الجروح والحروق من خلال سرعة التصاقه والمحافظة على التوازن والتفاعل وضمان عدم إعادة تلوث المكان المصاب بالبكتريا المحتمل انتقالها من المحيط الخارجي والتخفيف من شدة الألم وخفض فقد البروتينات وحماية الجزء المصاب من الجفاف dehydration وتسريع عملية الشفاء وامتصاص الإفرازات الزائد extra exudates، ويعد الغشاء الأمنيوسي طعماً بسيطاً ملائماً وقابلاً للاستعمال applicable والإزالة detachable من السطوح المصابة بالجروح والحروق دون أن يتسبب في أي أذى أو ضرر trauma؛ وطعم الغشاء الأمنيوسي هو ضماد متناغم حيوياً biocompatible واقتصادي وغير سام ومتجاوب وغير تحسسي non-allergenic. وتمت الإشارة في العديد من الأعمال العلمية المنشورة إلى مجمل هذه الخصائص التي يتمتع فيها الغشاء الأمنيوسي والتي تجعل منه ضماداً حيوياً واقياً من التلوث ومخففاً من شدة الألم ومساعداً على الشفاء.

الشكل 4. حالة يد محروقة تمت معالجتها بطعوم الغشاء الأمنيوسي ليسجل شفاء بنسبة 99% بعد مرور 15 يوماً.

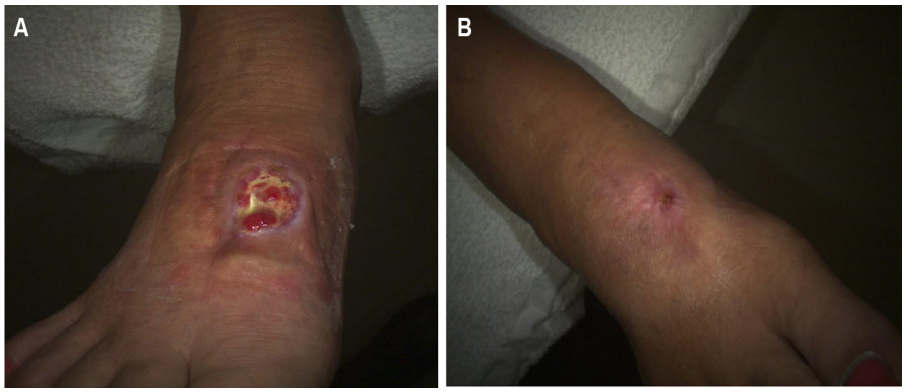
الشكل 5. حالة وجه محروق تمت معالجته بطعوم الغشاء الأمنيوسي ليسجل شفاء بعد مرور 14 يوماً.

معالجة التقرحات المزمنة وتقرحات القدم السكري باستعمال طعوم الغشاء الأمنيوسي

يعرف عن المصابين بداء السكري سهولة إصابتهم بالجروح وسرعتها وتكرارها وتحول هذه الجروح إلى تقرحات مزمنة، وصعوبة شفاء هذه الجروح والتقرحات وتدهور حالتهم الصحية. ويعاني من تقرحات القدم السكري في بلد كالولايات المتحدة الأمريكية حوالي 4.3 مليون شخص من بين الأشخاص المصابين بالداء السكري، وتتراوح الكلفة السنوية لعلاج هذه الحالات من الإصابة بين 9 و13 مليار دولار أمريكي. ويشار في الأدبيات العلمية إلى إمكانية استعمال الغشاء الأمنيوسي البشري في معالجة تقرحات القدم السكري كما هو موضح في الشكلين 6 و7، حيث يتمتع الغشاء الأمنيوسي البشري كمادة حيوية بمواصفات وخصائص وظيفية سحرية قادرة على معالجة الأضرار الجلدية، لذا يمكن أن يساهم الغشاء الأمنيوسي البشري في المعالجة وتسريع شفاء القروح المزمنة chronic ulcers بما في ذلك تقرحات القدم السكري. وبينت نتائج الأعمال المنفذة في هذا المجال قدرة الغشاء الأمنيوسي على إغلاق التقرحات المفتوحة للقدم السكري عند جميع المرضى المختبرين في هذه الأعمال بما في ذلك من مضى على إصابتهم بهذه القروح أكثر من عام ولم يتحسن وضعهم الصحي ولم يمتثلوا للشفاء بالمعالجات النظامية standard treatments المتبعة؛ فالغشاء الأمنيوسي منتج قابل للتحلل البيولوجي، ويتمتع بخصائص ممتازة في الربط الحيوي والميكانيكي وإعادة توليد الخلايا وتمايزها، ومن ثم المساهمة في ترميم القروح وإغلاقها. وأشارت نتائج هذه الأعمال إلى سرعة شفاء تقرح القدم السكري المعالجة بالغشاء الأمنيوسي عند المقارنة باستعمال العلاج بالطرائق التقليدية المستخدمة، وقد سجلت حالات لشفاء تقرح القدم السكري بعد مرور 6 و12 أسبوعاً من زرع طعوم الغشاء الأمنيوسي.



الشكل 6. A- حالة تقرح بمساحة 0.3 سم^2 قبل المعالجة و**B-** تقرح بمساحة 0 سم^2 بعد مرور 7 أيام على المعالجة بطعوم الغشاء الأمنيوسي.



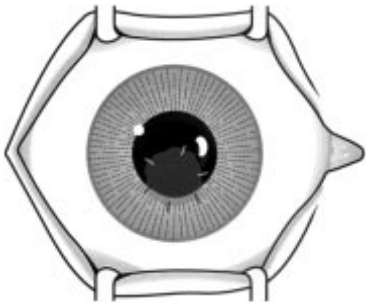
الشكل 7. A- حالة تقرح بمساحة 3.3 سم^2 قبل المعالجة و**B-** تقرح بمساحة 0 سم^2 بعد مرور 71 يوماً على المعالجة بطعوم الغشاء الأمنيوسي.

معالجة الإصابات العينية باستعمال طعوم الغشاء الأمنيوسي البشري

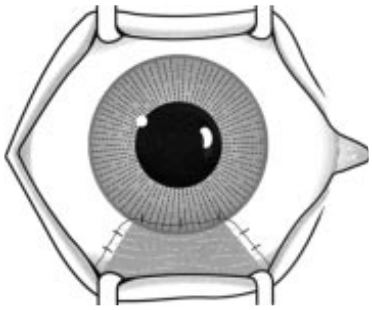
تم البدء باستعمال الغشاء الأمنيوسي البشري في تطبيقات طب العيون ophthalmological practices أول مرة في عام 1940، وقد استعمل بعد ذلك وتحديداً في الفترة الواقعة بين عامي 1946 و1947 الغشاء الأمنيوسي المعالج كيميائياً والجاف في علاج الأضرار الميكانيكية للعين. وصدر في تلك الحقبة الزمنية مجموعة من التقارير العلمية التي أشارت إلى فوائد استعمال الغشاء الأمنيوسي في معالجات عينية مختلفة في كل من الاتحاد السوفييتي وجنوب إفريقيا، وأدخل استعمال الغشاء الأمنيوسي في المعالجات العينية في أمريكا الشمالية في عام 1990. واستخدمت طعوم زرع من الغشاء الأمنيوسي amniotic membrane transplantation (AMT) في علاج

تقرحات القرنية corneal ulcers أول مرة في عام 1993، ثم استعمل بعدها الغشاء الأمنيوسي على نطاق واسع في إعادة ترميم مختلف أجـــزاء سطح العين كما هو مبين في الأشكال 8 و9 و10.

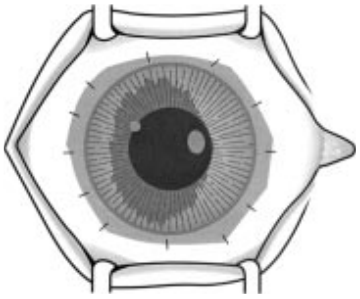
تتمثل الميزة الفريدة للغشاء الأمنيوسي الممكن استعماله في ترميم العين بوجود كمية معقولة من مزيج عوامل النمو والسيتوكينات الفعالة والمتوالدة وخلايا ظهارية متمايزة وقدرته على خفض مسببات الالتهاب بإعاقة نشاط أنزيم البروتاز protease وخفض النشاط الالتهابي للخلية، وقد أشارت نتائج الاختبارات السريرية إلى أن نسبة نجاح معالجة تقرحات القرنية بزرعات الغشاء الأمنيوسي قد تجاوزت 80%، بالمقابل وصلت نسبة نجاح معالجة ثقب القرنية cornea perforation بالغشاء الأمنيوسي العديد الطبقات إلى حوالي 73%. وتصل فترة معالجة أمراض العين بشكل عام والقرنية بشكل خاص بالغشاء الأمنيوسي إلى حوالي 4 أسابيع، ويزداد حالياً استعمال الغشاء الأمنيوسي في هذا المجال من عام إلى عام؛ حيث يوجد في الأدبيات العلمية ما يزيد عن 500 ورقة علمية منشورة يشير معظمها إلى التأثير الايجابي لهذا التطبيق. وقد سجل حماس كبير للتوسع في استعمال الغشاء الأمنيوسي كمنتج جديد وتقانة حديثة في المعالجات العينية. وازداد استعمال زرعات الغشاء الأمنيوسي في علاج أضرار السطح الخارجي للعين بأنواعها وفي مجالات علاجيه مختلفة منذ حوالي مئة عام وفق معايير ضبط الجودة وبشكل روتيني في مجمل الاستطبابات العينية كما هو موضح في الشكل 11.



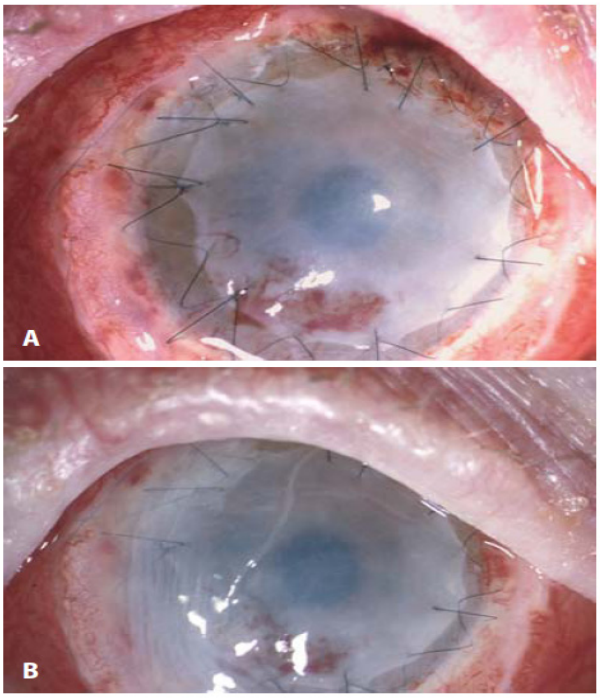
الشكل 8. رسم تخطيطي لطريقة عمل جراحي يستخدم الغشاء الأمنيوسي في تغطية إصابة الخلايا الظهارية في قرنية العين.



الشكل 9. رسم تخطيطي لطريقة عمل جراحي لإمكانية استعمال الغشاء الأمنيوسي في تغطية الملتحمة المتضررة بعد تحرير اللصاقات خلال التصاق الجفن الملتحمي.



الشكل 10. رسم تخطيطي لطريقة عمل جراحي يبين الغشاء الأمنيوسي الملتصق في الجزء المتضرر من النسيج الضام وحافة الملتحمة وتغطية كامل سطح العين.



الشكل 11. A- إعادة ترميم السطح الخارجي للعين بزرع طعم خارجي واستعمال غشاءين؛ الداخلي بقطر 9 مم يعمل كطعم والخارجي يعمل للوقاية ومنع الخلايا الظاهرية للملتحمة من الاختلاط مع الخلايا المشتقة عن الحواف المزروعة والنمو في الغشاء الداخلي. **B-** قطع الغشاء الخارجي من خلال التخلص من الخيوط وإزالتها واعتبار ذلك نجاحاً للعملية بامتياز.

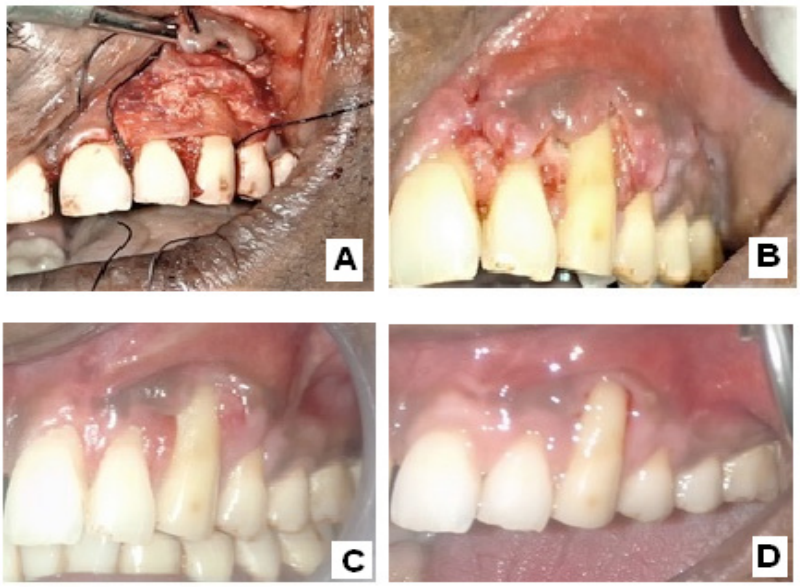
استعمال الغشاء الأمنيوسي البشري في المعالجات السنية

يمكن أن تنتقل الأمراض التي تصيب الأجزاء المحيطة بالسن periodontal disease إلى داخل الجزء العظمي، ويمكن أن تتسبب الإصابة بحسب حجمها وموقعها في فقد الأسنان. يتوافر طيف واسع من المواد الحيوية التي يمكن أن يساعد استعمالها في العمليات

الجراحية في إعادة توليد النسج الصلبة والرخوة والالتئام وشفاء الحالة، ومن هذه المركبات الحيوية الغشاء الأمنيوسي الذي يعد إجراءً طبياً حديثاً في معالجة عيوب الجزء الداخلي من عظم السن intra-bony defects. وتتمتع هذه النماذج من الأغشية بجملة من المزايا كسهولة الاستعمال والميول إلى تشكل روابط متصالبة cross-linking والقدرة على اختصار زمن المعالجة، كل ذلك يمنح الغشاء الأمنيوسي ميزة إضافية تخوله أن يكون بديلاً واعداً، يمكن استعماله في المعالجات السنية.

يستخدم الغشاء الأمنيوسي في طب الأسنان لمعالجة بعض الاعتلالات السنية التي أشير إلى بعضها في الأدبيات العلمية، ومنها على سبيل المثال لا الحصر الإجراءات المتبعة في تغطية الجذور root coverage procedures وتقنية الشريحة التاجية المتطورة coronally advanced flap technique وطعم الحليمة المضاعفة double papilla graft، ويمكن أن يستعمل الغشاء الأمنيوسي في معالجة عيوب مفترق الجذور furcation defects، ويمكن أن يساهم في إعادة توليد الجيوب العظمية Infrabony pockets بوصفه غشاءً عالقاً، ولذا يمكن اعتبار الغشاء الأمنيوسي مصدراً جيداً للخلايا الجذعية التي ربما تكون مصدراً جيداً لإعادة توليد النسج المنصوص عليها في دليل المعالجات السنية كما هو موضح في الشكل 12.

يترتب على عملية اقتلاع السن جملة من التداعيات تتمثل بجروح في النسيج الطري كما هو موضح في الشكل 12. وتجاويف في النسيج الصلب، ويتطلب كل ذلك إيجاد الطريقة المناسبة لعلاج هذه الأضرار. ويمكن معالجة كل هذه التداعيات في النسج الطرية وفي النسج الصلبة باستعمال طعوم الغشاء الأمنيوسي.



الشكل 12. حالة إصابة عظمية في منطقة الأسنان. **A-** المعالجة بوضع غشاء أمنيوسي فوق الجزء المصاب. **B-** بعد مرور أسبوع على المعالجة. **C-** بعد مرور شهر على المعالجة. **D-** بعد مرور 6 أشهر على العلاج.

استعمال الغشاء الأمنيوسي البشري في معالجة السرطان

أشارت نتائج الدراسات المنفذة خارج الكائن الحي إلى فوائد استعمال الغشاء الأمنيوسي في معالجة الإصابات السرطانية بالاستفادة من الخصائص التي يتمتع فيها هذا الغشاء، وتناولت الدراسات المنفذة في هذا المجال تقييم قدرة الغشاء الأمنيوسي على قتل الخلايا السرطانية واختبار خصائص طعوم الغشاء الأمنيوسي المؤثرة في منع تشكل الخلايا السرطانية، حيث بينت نتائج هذه الدراسات وجود تأثير للمعالجة بغشاء أمنيوسي طري أو مجمد أو حتى جاف في قدرة الخلايا السرطانية المزروعة على البقاء على قيد الحياة، وفي قدرة الغشاء الأمنيوسي على خفض تأثير العوامل المسرطنة. وتعد نتائج الأعمال العلمية المنفذة خارج الكائن الحي واعدة ومبشرة في إمكانية استعمال طعوم الغشاء الأمنيوسي في معالجة الأمراض السرطانية، وربما يعود دور الغشاء الأمنيوسي الإيجابي والواعد في معالجة الأورام السرطانية إلى غنى الغشاء الأمنيوسي بالخلايا الجذعية الميزانشيمية mesenchymal stem cells (MSCs) التي تشكل عامل كبح لنمو الأورام السرطانية وتطورها.

استعمالات طعوم الغشاء الأمنيوسي في الجراحة العظمية

بفضل الخصائص البيولوجية التي يتمتع بها الغشاء الأمنيوسي أصبحت الطعوم المحضرة منه بديلاً علاجياً مفضلاً في ترميم الأجزاء المتضررة من العظام، ويشار في الأدبيات العلمية إلى وجود استراتيجيات عدة في استعمال الطعوم البيولوجية وحوامل عوامل النمو والخلايا الجذعية في ترميم الأضرار العظمية، وفي هذا السياق فإن طعوم الغشاء الأمنيوسي هو خيار جذاب للغاية ومصدر متاح للنسيج الحيوي الفعال المحتوي على عوامل النمو والخلايا الجذعية، ويشار في الأدبيات العلمية أيضاً إلى وجود إمكانية لاستعمال طعوم الغشاء الأمنيوسي في المعالجات العظمية، وقد نوقش في هذه الأدبيات طرائق الاستعمال المثلى ونتائج هذا الاستعمال وخلصت هذه الأعمال إلى الاستنتاج بإمكانية استعمال طعوم الغشاء الأمنيوسي في الجراحة العظمية بنتائج شفائية مبشرة وواعدة.

استعمال السائل الأمنيوسي في معالجة التهاب المفاصل العظمية

يعد التهاب المفاصل العظمية من الأمراض الشائعة عند كبار السن والتي تزيد من الوهن والضعف عند عدم وجود علاج لهذا المرض. ويركز العلاج الطبي الحالي لهذا المرض على المسكنات والنصح بعدم حمل الأشياء الثقيلة، وقد بينت نتائج الأعمال المنفذة في هذا المجال إمكانية معالجة التهاب المفاصل العظمية بالحقن بالسائل الأمنيوسي.

السمات الأخلاقية والتنظيمية لتحضير وتداول طعوم الغشاء الأمنيوسي

تتناول دراسات الجدوى السياسية political feasibility لتحضير وتصنيع وتداول طعوم الغشاء الأمنيوسي السمات الأخلاقية ethical aspects والاعتبارات الدينية religious considerations والاعتبارات القانونية legal considerations والتوصيات والمواصفات القياسية المعمول فيها محلياً ودولياً والشروط التي تضعها المؤسسات الحكومية وغير الحكومية والمحددات والمتطلبات المفروضة على الطعوم المحضرة حتى تكون صالحة للتداول والاستعمال في الاستطبابات البشرية والتي تنظم عمليات تحضير وتجهيز وتعقيم وتداول طعوم الغشاء الأمنيوسي، حيث صدر في عام 1977 عن هيئة الغذاء والدواء في الولايات المتحدة الأمريكية US Food and Drug Administration (FDA) مقترحاً يتضمن إمكانية استعمال الخلايا والنسج البشرية ومادة الخلية والمنتجات التي يدخل في تكوينها النسج بما في ذلك الخلايا والنسج غير النظامية في التطبيقات العلاجية، وأصبح هذا المقترح ساري المفعول اعتباراً من 25 نيسان 2005، ويتم في يومنا هذا تحضير طعوم الغشاء الأمنيوسي ومعالجتها وتوزيعها طبقاً لمعايير ومواصفات قياسية معتمدة أصولاً، بعد أن أصبح تحضير طعوم الغشاء الأمنيوسي صناعة رائجة وبعد أن تم تأسيس العديد من المراكز المعنية بهذا النشاط والتي يشار إليها في الأدبيات العلمية بتسمية بنوك النسج.

يهتم العديد من المنظمات الدولية والهيئات والمؤسسات المحلية بمواضيع تحضير وتداول طعوم الغشاء الأمنيوسي ومن المنظمات الدولية المعنية بطعوم الغشاء الأمنيوسي كل من الوكالة الدولية للطاقة الذرية ومنظمة الصحة العالمية، ويهتم محلياً بطعوم الغشاء الأمنيوسي جميع الهيئات والمؤسسات والمنظمات الحكومية والمنظمات غير الحكومية المعنية بالرعاية الصحية للفرد والمجتمع على حد سواء.

لا يوجد حتى الان قانون دولي عام ينظم عمليات تحضير وتجهيز وتوزيع وتداول طعوم الغشاء الأمنيوسي ليطبق في كل دول العالم، ولا يوجد حتى تاريخه في دول العالم الأقل تطوراً نموذج لمدونة أخلاقية ethical code على غرار المدونة الأخلاقية المعتمدة في المجموعة الأوروبية لبنوك النسج على سبيل المثال، ومن جهة أخرى يوجد في بعض دول العالم الأقل تطوراً تشريعات محلية تنظم هذه العملية هي في أغلب الأحيان نصوص منقولة عن القوانين والتشريعات الصادرة في الدول الأكثر تطوراً كالولايات المتحدة الأمريكية والدول الأوروبية.

الاعتبارات الدينية تجاه تداول طعوم الغشاء الأمنيوسي

تعد الاعتبارات الدينية من الأمور المؤثرة بشكل مباشر في برامج تأسيس بنوك النسج، حيث تؤثر المعتقدات الدينية السائدة في أي مجتمع من المجتمعات البشرية بالقيم الثقافية والقيم الأخلاقية، ويسود عند كل جماعة من جماعات المجتمع البشري مجموعة من القيم والمعتقدات الدينية، وتختلف هذه القيم والمعتقدات ودرجة الالتزام فيها من مجتمع بشري إلى مجتمع بشري آخر.

موقف الشريعة الإسلامية من التبرع بالنسج

يعد المسلمون من أكثر المجموعات البشرية جدلاً في موضوع التبرع بالنسج حيث يجيز الدين الإسلامي زرع الأعضاء أو النسج إذا كان هدف الزرع علاجياً لإنقاذ حياة إنسان من الموت العاجل، ويأتي في هذا السياق جواز زرع الكلى شرعاً، ويختلف الموقف الديني في الشريعة الإسلامية إذا لم يكن الهدف من الزرع علاجياً بل تجميلياً، إذ لا يوجد في الدين الإسلامي ما يستدل من خلاله على جواز الزرع بهدف التجميل، ولا يوجد في القرآن الكريم أي إشارة إلى منع التبرع بالنسج. ومع ذلك يوجد في كل دولة مسلمة مفتٍ رسمي معين من قبل الحكومة يفتي بكل المواضيع الجدلية، وتعد الفتوى الشرعية الصادرة عن المفتي العام أو عن هيئة الإفتاء وثيقة رسمية معتمدة من قبل الحكومة؛ لذا يحتاج موضوع التبرع بالأعضاء والنسج كموضوع جدلي في المجتمعات الإسلامية لإصدار فتوى شرعية، وبالرغم من اعتماد الفتوى كوثيقة رسمية إلا أنها لا تعد صكاً قانونياً ملزماً، ورغم صدور فتاوى شرعية في نهاية القرن الماضي تجيز التبرع بالنسج والأعضاء في العديد من الدول الإسلامية كماليزيا وأندونيسيا والسعودية وسنغافورا بقي موضوع التبرع بالنسج موضوعاً جدلياً عند العديد من المسلمين لعدم وجود قوة قانونية ملزمة للفتوى، وبقي موضوع التبرع عند المسلمين خاضعاً للاجتهاد والآراء والخيارات الشخصية، حيث يسود عند بعض المسلمين اعتقادات خاطئة تفيد بعدم جواز التبرع بالأعضاء والنسج، وربما يكون التوجه العام السائد عند المسلمين الذي يقول بضرورة الإسراع بدفن الجثة بعد الموت من العوامل الإضافية المؤثرة سلباً في عملية التبرع التي تحتاج إلى زمن قد يؤخر من الدفن غير المرغوب عند المسلمين. يضاف إلى ذلك اعتقاد المسلمين بالبعث بعد الموت، لذا يفضل المسلم أن يبعث حياً بعد موته غير منقوص الأعضاء، ويعتقد بعض المسلمين بضرورة دفن الأجزاء المبتورة أو المفصولة عن الجسم بما في المشيمة والغشاء الأمنيوسي، ومع أن هذا الاعتقاد ليس من ضمن الفرائض الدينية ولا ينفذه كل المسلمين. وهنالك موضوع آخر يرتبط بالحلال والحرام، حيث يوجد اعتقاد عند بعض المسلمين بعدم جواز الاستفادة من عضو أو نسيج أخذ من شخص تربى على الحرام أو تغذى على طعام محرم.

موقف الشريعة المسيحية من التبرع بالنسج

لا يوجد في الديانة المسيحية ما يمنع التبرع بالأعضاء والنسج بدليل أن المسيحية هي الديانة السائدة في كل من أوروبا والولايات المتحدة الأمريكية التي أصدرت تشريعات تجيز التبرع بالأعضاء والنسج، ولم يسجل أي اعتراض من قبل الكنيسة على ذلك.

الوضع الدولي ودور الوكالة الدولية للطاقة الذرية في إنشاء بنوك النسج

تعرف عملية حفظ النسج بالبنوك بأنها مجمل النشاطات المعنية بقطاف وتجهيز ومعالجة وتخزين وتوزيع النسج البشرية القابلة للزرع كطعوم، حيث بدأ تطبيق إجراءات عملية حفظ النسج بالبنوك خلال الفترة الممتدة بين عام 1930 وعام 1940 بعد توافر الوسائل المعيارية القياسية الكفيلة بتجهيز وتخزين النسج إلى فترات زمنية طويلة مع المحافظة على خصائصها الوظيفية، ونذكر على سبيل المثال لا الحصر تجربة بنوك النسج في الولايات المتحدة الأمريكية التي بدأت في عام 1949 والتجربة التشيكية التي بدأت في عام 1952 وتجربة المملكة المتحدة التي بدأت في عام 1953 والتجربة الألمانية التي بدأت في عام 1956، وانتشرت بنوك النسج في بقية الدول الأوروبية خلال الفترة الممتدة بين 1970 و1980، كما انتشرت بنوك النسج في الدول الأقل تطوراً، وتمتلك كل من البرازيل والمكسيك بنوكاً للنسج منذ عام 2003، وأشيد أول بنك للنسج في كل من الهند و إفريقيا في عامي 2010 و2016 على التوالي، وأبدت المؤسسات المعنية بالرعاية الصحية في الدول الأقل تطوراً اهتماماً محدوداً بعملية تحضير ومعالجة النسج واستعمالها في العلاج، ورافق هذا التطور وضع قوانين خاصة بتنظيم عملية حفظ النسج بالبنوك بما في ذلك عمليات التحضير والمعالجة والتوزيع والاسترجاع reimbursement كما هو الحال في بلجيكا أو اعتماد الإرشادات والقوانين المتوافرة في دول أخرى، نذكر على سبيل المثال هنا أستراليا التي اعتمدت وطبقت القانون الألماني، بالمقابل فقد خضع موضوع تنظيم عملية حفظ النسج بالبنوك لنقاش في بعض الدول مثل كندا التي توصلت في هذه النقاشات إلى تثبيت إجراءات خاصة فيها. ومن أجل مساعدة الدول الأقل تطوراً قامت الوكالة الدولية للطاقة الذرية بدعم عقود لمشاريع تعاون فني إقليمية، ومن مشاريع التعاون الفني المدعومة من قبل الوكالة الدولية للطاقة الذرية في منطقة آسيا نذكر على سبيل المثال لا الحصر مشروعاً بعنوان "التعقيم الإشعاعي لطعوم النسج (1988-1998) Radiation sterilization of tissue grafts: RAS/7/003"، ومشروعاً إقليمياً بعنوان: ضبط جودة التعقيم الإشعاعي لطعوم النسج RAS/7/008: Quality assurance in radiation sterilization of tissue graft

(1997-2003) (RCA)، ومشروع مركز دولي ممتاز لبنك النسج INT/6/049: Interregional center of excellence in tissue banking (1997-2003) (Interregional) ومشروع تحسين جودة الإنتاج والمنتج وطعوم النسج المعقمة بالأشعة INT/6/052: Improving the quality of production and uses of radiation sterilized tissue graft (Interregional) (2002-2004).

تابعت الوكالة الدولية للطاقة الذرية منذ عام 1980 دعمها لمشاريع استعمال الأشعة المؤينة في تعقيم النسج التي بلغ عددها 36 مشروع تعاون فني وطنياً أو إقليمياً أو شبه إقليمي، وتضمنت المساعدات المقدمة من قبل الوكالة في هذا المجال إقامة دورات تدريبية وتقديم منح تدريبية للكادر الفني ووضع برامج لضبط الجودة، ونتج عن هذه المشاريع إنشاء أكثر من 70 بنك نسج موزعة في 31 دولة، وقدر حجم الدعم المالي المقدم من قبل الوكالة في هذا المجال بـ 7 ملايين دولار أمريكي، وبمساعدة الوكالة الدولية للطاقة الذرية تم إنشاء عدة بنوك للنسج في دول العالم الثالث، منها بنك النسج الذي أحدث في بنغلاديش لحفظ الغشاء الأمنيوسي الطازج والمجمد والمعالج بالأشعة، وصدر عن هذه الوكالة مجموعة من المنشورات الخاصة بمواضيع حفظ النسج لعل من أهمها المنشورات الخمسة التالية:

- IAEA International Standards for Tissue Banks 2002.
- IAEA Code of Practice for the Radiation Sterilization of Tissues with latest edition in 2007.
- Handbook for Public and Professional Awareness 2000.
- IAEA Modules for Distance Learning Program on Tissue Banking.
- Advances in Tissue Banking Volume 1 to 7.

وصدر أيضاً عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية مواصفات قياسية دولية حول بنك النسج، حيث اعتمدت هذه المواصفات بعد مناقشتها في الاجتماعات وورشات العمل التي عقدت خلال تنفيذ نشاطات مشاريع التعاون الفني للوكالة الدولية وبعد الاستئناس بمحتوى المواصفات القياسية المعتمدة في كل من أوروبا والولايات المتحدة الأمريكية، كما صدر عن الوكالة أيضاً دليل التعقيم الإشعاعي للنسج البيولوجية IAE code of practice for the radiation sterilization of biological tissues.

التجربة السورية في تحضير وتعقيم واستعمال طعوم الغشاء الأمنيوسي

أدرج موضوع تحضير وتجهيز وتعقيم طعوم الغشاء الأمنيوسي بالأشعة المؤينة ضمن محاور عمل قسم تكنولوجيا الإشعاع في هيئة الطاقة الذرية السورية في عام 2006 باعتباره أحد التطبيقات الممكنة لتكنولوجيا الإشعاع، وتم تدريب العناصر الفنية على هذه التقنية خارجياً مستفيدين من منح مقدمة من الوكالة الدولية للطاقة الذرية، وتم اختبار الطعوم المحضرة والمعقمة بالأشعة سريرياً من قبل مجموعة من المختصين في هذا المجال في المشافي الحكومية، وتم توثيق نتائج الاختبارات السريرية لهذه النماذج من طعوم الغشاء الأمنيوسي في بداية عام 2014.

وقد عقدت الندوة الوطنية الأولى حول طعوم الغشاء الأمنيوسي والتعقيم الإشعاعي بين الواقع والتطبيق في قسم تكنولوجيا الإشعاع في هيئة الطاقة الذرية بتاريخ 2019/7/22، وكانت بمثابة نقطة البداية في مسيرة نقل موضوع استعمال طعوم الغشاء الأمنيوسي في المعالجات الطبية من مجال البحث والدراسة إلى حيز التطبيق، وكمخرجات لهذه الندوة تم تشكيل لجنة وطنية بقرار من السيد الدكتور المدير العام لهيئة الطاقة الذرية لوضع الخطوات التنفيذية والواجبات المترتبة على كل طرف وصولاً إلى الاستثمار الأمثل للموارد والخبرات المتاحة، حيث ضمت اللجنة في عضويتها ممثلين عن هيئة الطاقة الذرية ووزارة الصحة ووزارة التعليم العالي والبحث العلمي وإدارة الخدمات الطبية، وقد نتج عن نشاط هذه اللجنة صياغة دليل الجودة والإجراءات العيارية ونظام جودة وصياغة مراحل العمل وتحديد الواجبات المترتبة على كل طرف من الجهات المشاركة في اللجنة للوصول إلى منتج نهائي يرقى في الجودة إلى المستوى الذي وصل إليه في الدول الأكثر تطوراً، وتم الحصول على ترخيص من وزارة الصحة لإنتاج طعوم الغشاء الأمنيوسي في قسم تكنولوجيا الإشعاع في هيئة الطاقة الذرية، كما تم الحصول على السماح من لجنة أخلاقيات البحث العلمي بإجراء البحوث على استعمال هذه الطعوم في المعالجات البشرية، وتم الحصول على فتوى شرعية من سماحة المفتي العام في الجمهورية العربية السورية بجواز استعمال طعوم الغشاء الأمنيوسي في المعالجات الطبية، ويتم حالياً إنتاج الطعوم في الوحدة وفقاً لإجراءات ضبط الجودة المعتمدة من قبل اللجنة الوطنية

والموثقة في مكتب ضمان الجودة في هيئة الطاقة الذرية الخاصة بشروط تخزين ونقل وتحضير طعوم الغشاء الأمنيوسي ووفقاً للطرق المعيارية المدونة في المراجع العلمية ويتم تعقيم المنتج النهائي من هذه الطعوم بجرع إشعاعية من مرتبة 35 كيلو غراي في محطة تشعيع مستثمرة في قسم تكنولوجيا الإشعاع، وهي محطة روسية الصنع (ROBO, Russia) مستثمرة منذ عام 1996 بنشاط إشعاعي أولي قدره 100 كيلو كوري من الكوبالت 60 المشع 60Co وبتصميم يسمح بزيادة نشاط المنبع ليصل حتى 500 كيلو كوري، ومن المتوقع أن يتم إنتاج هذه الطعوم تجارياً في بداية عام 2022.

المراجع

- Arasteh S, Khanjani S, Golshahi H, Mobini S, Jahed MT, Heidari-Vala H, Edalatkhah H, Kazemnejad S (2020). Efficient wound healing using a synthetic nanofibrous bilayer skin substitute in murine model. Journal of Surgical Research 245: 31-44.
- Chulpanova DS, Kitaeva KV, Tazetdinova LG, James V, Rizvanov AA, Solovyeva VV (2018). Application of mesenchymal stem cells for therapeutic agent delivery in anti-tumor treatment. Front Pharmacol 9: 259.
- Etchebarne M, Fricain J-C, Kerdjoudj H, Di Pietro R, Wolbank S, Gindraux F, Fenelon M (2021). Use of amniotic membrane and its derived products for bone regeneration: A Systematic Review. Front Bioeng Biotechnol 9: 661332.
- Marino-Martiz IA, Martinez-Castro AG, Pena-Martinez VM, Acosta-Olivo CA, Vilchez-Cavazos F, Guzman-Lopez A, Edelmiro PR, Romero-Diaz VJ, Ortega-Blanco JA, Lare-Arias (2019). Human amniotic membrane intra articular injection prevents cartilage damage in an osteoarthritis model. Experimental and Therapeutice 17: 11-16.
- Mimouni M, Trinh T, Sorkin N, Cohen E, Santaella G, Rootman DS, Slomovic, AR, Chan CC (2021). Sutureless dehydrated amniotic membrane for persistent epithelial defects. EJO European Journal of Ophthalmology. DOI: 10.1177/11206721211011354.
- Nagaveni NB, Poornima P, Meghna B, Mathew MG, Soni, AJ (2019). Revascularization of a nonvital, immature permanent tooth using amniotic membrane: a novel approach. International Journal of Clinical Pediatric Dentistry 12(2): 150–152.
- Paggiaro AO, Menezes AG, Student SN, Ferrassi AD, De Carvalho VF, Gemperli R, Surgery P (2018). Biological effects of amniotic membrane on diabetic foot wounds: a systematic review. Journal of Wound Care Wuwhs Supplement 27(1): S19-S25.
- Rahman MS, Akhtar N, Hasan MZ, Asaduzzaman SM (2019). Human tissue banking in bangladesh: hope for the patients of massive burns, surgical wound and bone associated complications. Int J Burn Trauma 9(2): 23-27.
- Reilly DA, Hickey S, Glat P, Lineaweaver WC, Goverman J (2017). Using dehydrated human _/chorion membrane allgrafts for acut and recontructive bun care. Annals and Plastic Surgery 78(1): s19-s26.
- Rozaliya H, Yani Z, Georgi M, Davide B, Alexander O, Iva P (2021). Comparison of amniotic membrane transplantation with and without cultured limbal epithelium for persistent corneal ulcers. Biotechnology and Biotechnological Equipment 35(1): 739-745.
- Stahl A, Yang YP (2020). Regenerative approaches for the treatment of large bone defects. Tissue Eng. Part B Rev. DOI: 10.1089/ten.TEB.2020.0281.
- Tavakoli S, Klar AS (2021). Bioengineered skin substitutes: advances and future trends. Appl Sci 11: 1493.
- Volarevic V, Markovic BS, Gazdic M, Volarevic A, Jovicic N, Arsenijevic N et al. (2018). Ethical and safety issues of stem cell-based therapy. Int J Med Sci 15: 36–45.

تأليف: **د. محفوظ البشير**، قسم تكنولوجيا الإشعاع، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

تحديات الإدارة المستدامة للمياه الجوفية في سورية ودور تقنيات النظائر في التدابير الوقائية

تواجه سورية اليوم العديد من التحديات الرئيسة في الإدارة المستدامة للمياه الجوفية؛ فعلى مدار العقود الماضية شكّل كلّ من حفر الآبار غير المدروس والاستغلال المفرط للمياه الجوفية والتوسع في الرقعة الزراعية المروية لمحاصيل شرهة للمياه والتزايد والتوزيع السكاني غير المتكافئ مع موارد المياه والتغيرات المناخية وتواتر الجفاف على المنطقة فضلاً عن عواقب نتائج الأزمة السورية على البنية التحتية للمنشآت المائية عوامل تحدّ رئيسة لاستدامة موارد المياه الجوفية. إن العواقب البيئية للاستخدام غير المخطط للمياه الجوفية كانت كبيرة؛ أولها تناقص مناسيب خزانات المياه الجوفية وجفاف عدد هائل من الينابيع على امتداد الجغرافيا السورية، كما أصبح العديد من الطبقات الجوفية السطحية غير منتج للمياه. إضافة إلى ذلك فإن كمية وجودة المياه الجوفية في الخزانات العميقة غير المتجددة ليست بالقدر المطلوب لتلبية جميع الاحتياجات. ضمن هذا الإطار تساهم تقنيات النظائر بشقيها المستقر والمشع المستخدمة في هيئة الطاقة الذرية السورية إلى حد كبير في إيجاد الحلول لتدابير الرقابة على الإدارة المستدامة للمياه الجوفية في سورية والتي تؤدي دوراً حاسماً في استراتيجيات الدولة السورية لإعادة الإعمار والتنمية الطويلة الأجل ما بعد الأزمة.

الكلمات المفتاحية: استدامة، المياه الجوفية، إدارة، هيدرولوجيا النظائر، سورية.

مقدمة

تهدف التنمية المستدامة مائياً إلى تلبية احتياجات الحاضر دون الإخلال بالقدرة على تلبية احتياجات المستقبل، وتعد إدارة المياه مشكلة كبيرة بل أصبحت اليوم على سلم أولويات دول العالم. على وجه العموم تكون إدارة موارد المياه السطحية أسهل من الناحية المجتمعية ومفهومة بشكل جيد نسبياً في حين غالباً ما تكون موارد المياه الجوفية مخفيّة ويصعب تصورها. إن القضية هي كيف ندير هذا المورد الحيوي بطريقة مقبولة تراعي استدامة المورد للأجيال القادمة والآثار الاجتماعية والاقتصادية والبيئية أيضاً يعني هذا في كثير من الحالات استعادة طبقات المياه الجوفية ذات الأهمية لبعض التوازن المستدام خلال مدة زمنية، وكذلك البحث عن فرص لتحسين إدارة المياه الجوفية جنباً إلى جنب مع المياه السطحية واستخدامات الموارد الأخرى بغية تحقيق نتائج اجتماعية واقتصادية وبيئية أكثر استدامة.

تواجه الموارد المائية الجوفية في سورية تحدياتٍ متعددة ناجمة عن سوء الإدارة بالدرجة الاولى وكذلك ارتفاع معدل النمو السكاني والتوسع الحضري السريع وتغير المناخ والتنمية الاقتصادية والعلاقة ما بين الأمن المائي والغذائي؛ فعلى مدار العقود الماضية زاد الطلب على المياه الجوفية مع فرط استغلال مستودعات المياه الجوفية السطحية التي يسهل الوصول إليها، وأدى ذلك إلى أن العديد من موارد المياه الجوفية في عدد من الأحواض المائية السورية قد تعرض لخطر الاستنفاد من خلال الضخ المفرط تلبية للزراعة المروية، حيث تجاوز سحب موارد المياه الجوفية موارد المياه المتجددة والذي استدعى الاعتماد على مصادر المياه الجوفية العميقة القديمة لضمان إمدادات موثوقة بالمياه. وبموجب الدراسات الحديثة فإن موارد المياه في خمسة أحواض مائية من أصل سبعة أحواض في طريقها إلى الاستنزاف؛ وهي: بردى والأعوج والعاصي والبادية ودجلة والخابور واليرموك. تشير الإحصاءات إلى أن المتوسط الحالي لنقص المياه يبلغ 1.7 مليار متر مكعب سنوياً. وسيصل هذا النقص إلى 6.2 مليار متر مكعب في عام 2050، كما أن انخفاض الهطول المطري وتذبذبه سوف يؤديان إلى تفاقم هذا الوضع، ما سيفضي إلى انخفاض مستويات المياه الجوفية وجفاف الينابيع وانخفاض تصريف معظم الأنهار وجفاف الوديان فضلاً عن أن نسبة من الموارد المائية هي عرضة للتلوث من مصادر مختلفة.

سيكون لتغير المناخ في منطقتنا آثار شديدة على الإجهاد المائي الإقليمي بحلول عام 2050، فمن المرجح أن يشهد الشرق الأوسط انخفاضاً في كمية الأمطار بنسبة 20-25%، وهذا الأمر سيقلل من جريان المياه السطحية بنحو 23%، وربما ينخفض تدفق نهر الفرات ما بين 25-55%. إضافة إلى ذلك قد يرتفع متوسط درجات الحرارة في الشرق الأوسط بنحو 2.5 درجة مئوية بحلول عام 2050، الأمر الذي سوف يؤثر على كميات من المياه المتبخرة، وبالتالي يمكن أن تؤدي موارد المياه الجوفية ولا سيما طبقات المياه الجوفية العميقة دوراً في التكيف مع آثار تغير المناخ وتقلباته.

إن إدارة النهج التكاملي بين المياه السطحية والجوفية والمعرفة التفصيلية لمنشأ خزانات المياه الجوفية وآليات التغذية والتقييم الكمي لنسب التغذية ونوعية المياه وزمن مكوث المياه الجوفية إضافة إلى العديد من المسائل الهيدروجيولوجية المتعلقة بتحديد نطاقات التغذية وآليات الجريان وعلاقتها مع المحددات الأساسية للمناخ (الأمطار ودرجة الحرارة) تشكل معرفة نوعية في تقييم موارد المياه الجوفية، وتُتيح إمدادات مائية موثوقة على المدى الطويل. وعطفاً على ذلك يبرز دور هيئة الطاقة الذرية في استخدام تقنيات النظائر المستقرة والمشعّة الموجودة طبيعياً في المياه الجوفية لمعرفة المزيد عن منشأ المياه الجوفية ومعدّلات تجددها. ويتم استخدام نظائر الماء (الهدروجين والأكسجين) والنظائر المشعّة (التريتيوم) والكربون المذاب (الكربون-14) لتقدير أعمار المياه الجوفية. ويعد التعامل مع تلوث المياه الجوفية أمراً أكثر تعقيداً نظراً إلى صعوبة التصدي لتلوث خزانات المياه الجوفية. وتستخدم المقتفيات النظيرية المستقرة والمشعّة (النتروجين-15 والكربون-13 والتريتيوم) للمساعدة على تحديد مصادر الملوثات وقياس عدد التحولات التي تطرأ على الملوثات الموجودة في نظم خزانات المياه الجوفية ودرجات تحلّلها الأحيائي.

الوضع المائي الحالي في سورية

تتسم موارد المياه في سورية بحكم مناخها الجاف وشبه الجاف بشحها وتذبذبها؛ إذ يقدر معدل طاقتها السنوية المتجددة بحوالي 14 مليار متر مكعب للفترة الواقعة بين 1991-2009، منها حوالي 9-10 مليار متر مكعب مياه سطحية و4 مليار متر مكعب مياه جوفية، ومن الجدير ذكره أن أكثر من 70% من مياه سورية السطحية تأتي من خارج الحدود ولا يوجد اتفاقيات ملزمة لتقاسم المياه، مع العلم أن الإمكانيات المائية المتاحة والمتجددة في حوض الفرات تشكل حوالي 50% من الإمكانية المائية المتاحة في سورية ولذا فإن حاضر ومستقبل سورية مائياً يرتبطان بنهر الفرات وبالسدود المشادة عليه. إضافة إلى ذلك يوجد مخزون مائي عذب أو مالح غير متجدد يمكن استغلاله موزع على كامل الجغرافيا السورية؛ أي المياه العميقة إلا أن مخزون هذا الحامل لم يحدد بعد نظراً لقلة الدراسات الخاصة به.

ازداد استغلال المياه الجوفية بقدر غير مسبوق في سورية خلال العقود الماضية، ويرجع ذلك أساساً إلى النمو السكاني والتوسع في الزراعة المروية التي تستهلك 87% من إجمالي المياه المستخدمة. لقد ارتفع عدد سكان سورية من نحو 3 ملايين نسمة في عام 1950 إلى أكثر من 22 مليون نسمة في عام 2012، كما انخفض نصيب الفرد من المياه المتجددة من أكثر من 5500 م^3/فرد/سنة إلى أقل من 760 م^3/فرد/سنة بحلول عام 2012 وهو أقل من مؤشر ندرة المياه؛ فعلى سبيل المثال بلغت كميات المياه المستخدمة عام 2004-2005 حوالي 19 مليار متر مكعب، وقد تجاوز بكثير معدل الطاقات المتجددة بسورية وبعجز مائي يصل 3-4 مليار م^3. وعلى الرغم من البرامج الطموحة الذي تنفذها وزارت الزراعة والموارد المائية لاستغلال الطاقة القصوى الآمنة لموارد المياه التقليدية وغير التقليدية في سورية، فإن العجز المائي سيبقى مستمراً خلال السنوات القادمة.

موارد المياه الجوفية والتأثيرات السلبية الناجمة عن الضخ الجائر

تعد المياه الجوفية المصدر الرئيس لمختلف الاستعمالات في معظم المناطق السورية وخاصة لأغراض مياه الشرب، وتصنف المياه الجوفية إلى مياه جوفية متجددة سنوياً وهي التي تتغذى من مياه الأمطار مباشرة وإلى مياه جوفية غير متجددة أو تتجدّد ببطء عبر تسرب مياه الأمطار على مدى مئات أو حتى آلاف من السنين، وهي عبارة عن مياه تكونت في عصور قديمة ومصادر تغذيتها محدودة.

تتوزع خزانات المياه الجوفية في سورية بوجه عام ضمن أربعة تشكيلات صخرية تبدأ أعمارها من الجوراسي وحتى الرباعي. تشكل المنظومة الكربوناتية الكارستية من عمر الجوراسي والكريتاسي الأعلى في سلسلة لبنان الشرقية والسلسلة الساحلية الخزان الرئيس للمياه الجوفية في كل من حوض دمشق، وحوض الساحل وجزء كبير من حوض العاصي والتي تغذي أهم الينابيع الضخمة كنبع الفيجة والسن. أما في الشمال الشرقي تشكل منظومة الباليوجين من عمر الأيوسين الأوسط في حوض الخابور الخزان الرئيس للمياه الجوفية وهو حوض جوفي مشترك مع تركيا. في حين تشكل خزانات الطبقات الرباعية والنيوجينية ذات الطبيعة الحصوية وترسبات الطمي

المروحية خزانات المياه الجوفية في غوطة دمشق وأجزاء من حوض العاصي وحوض الفرات في منطقة حلب والبليخ، وفي الجنوب يشكل الحامل البازلتي الحر من عمر الرباعي والنيوجين المستودع الرئيس للمياه الجوفية في حوض اليرموك.

تستخرج المياه الجوفية من خلال الآبار التي تحفر بأعماق مختلفة في الطبقات المائية. وقد بلغ العدد الكلي للآبار المحفورة في سورية لكافة الاستعمالات حتى عام 2010 حوالي 250 ألف بئر. وبموجب هذا العدد الضخم من الآبار فإن كميات المياه المستخرجة من المياه الجوفية حسب أقل تقدير تتجاوز 6 مليار متر مكعب سنوياً؛ أي 30 م^3/سا × 10 سا/ يوم × 100 يوم في السنة × 200 ألف بئر، وهذا يتجاوز كمية الموارد المتجددة سنوياً. إن هذا العجز في موارد المياه الجوفية سيصبح تراكمياً ويزداد مع الزمن. وتستخدم مصادر المياه الجوفية في سورية لجميع الاستعمالات بنسب متفاوتة، ويشكل الاستعمال المائي للأغراض الزراعية السواد الأعظم من إجمالي المياه الجوفية المستخرجة، ومن الجدير بالذكر أن مياه الشرب في سورية تعتمد اعتماداً شبه كلي على موارد المياه الجوفية، وتشكل ما نسبته 90% من التزود المائي المنزلي، وهذا يبين بجلاء الأهمية البالغة لهذا المورد لقطاع مياه الشرب حاضراً ومستقبلاً.

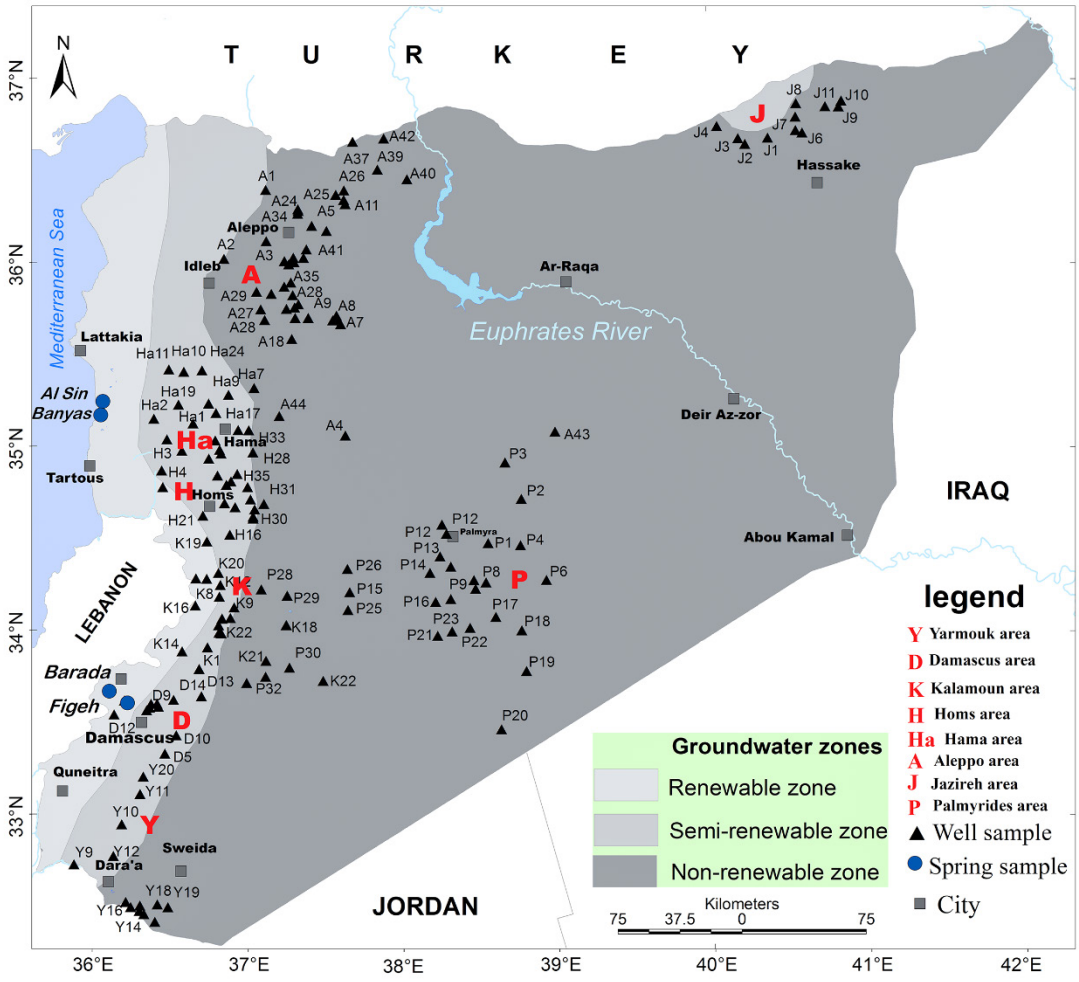
وبمعزل عن التغيرات المناخية حصلت كوارث بيئية فارقة على مدار العقود السابقة في سورية نتيجة للحفر العشوائي والمكثف للآبار والاستخراج الجائر للمياه الجوفية. لقد كانت النتائج متشابهة من ناحية جفاف الينابيع والأنهار وتناقص مناسيب المياه الجوفية. وكانت أولى تلك الكوارث في حوض السلمية، فبعد طفرة القطن في نهاية الخمسينيات من القرن الماضي جفت آبار الحوض الجوفي في المنطقة تماماً. أما الكارثة الأشد تأثيراً، كانت في حوض الخابور في نهاية الألفية الثانية وهي جفاف نبع رأس العين بتصريف 45 م^3/ثا في عقد الستينيات من القرن الماضي وهو يشكل أحد أكبر الينابيع الكارستية على مستوى العالم. وفي حوض دمشق كان لعدد الآبار المحفورة (50 ألف بئر) تأثير مباشر على جفاف عدد كبير من الينابيع وتناقص مناسيب المياه الجوفية بمعدل 1.2 م/سنوياً، والأمر مشابه تماماً في حوض اليرموك حيث جفت مجموعة ينابيع المزيريب في عام 2018 والتي كان تصريفها الوسطي 5 م^3/ثا في بداية 1990، وقد ترافق ذلك مع هبوط مناسيب المياه الجوفية، إضافة إلى تدني إنتاجية الآبار عموماً وتردي نوعية المياه إلا أن المشكلة الكبرى التي ترافقت مع هبوط المناسيب وجفاف الينابيع تجسدت في جفاف الكثير من الأنهار المرتبطة تغذيتها بالمياه الجوفية وأولها نهر الخابور والبليخ والكبير الجنوبي وبردى واليرموك والتي كان كل منها شريان حياة للكثير من التجمعات السكانية.

دور هيئة الطاقة الذرية السورية والتقنيات النووية المستخدمة

إن إحدى المشاكل التي تواجهنا في متابعة تحسين مستوى تقييم وإدارة مصادر المياه في المناطق الجافة وشبه الجافة ومنها سورية هي التمييز بين مصادر المياه الجوفية المتجددة وغير المتجددة، وهذه المشكلة هي إحدى التحديات وصلب عمل هيئة الطاقة الذرية السورية. وتمثل النظائر الأدوات الأكثر فعالية والمتاحة لدينا لتحديد المعلومات المتعلقة بمصدر المياه الجوفية ونطاقات التغذية وتقدير أعمارها، والتي تشكل جوانب ضرورية لتقييم مدى استدامة الموارد المائية الجوفية بشكل ملائم خاصة بضوء عمليات السحب الحالية أو المخطط لها؛ لذلك سيتم تسليط الضوء بشكل مختصر على أحد أهم الأعمال المنجزة في هيئة الطاقة الذرية السورية.

بموجب عمليات الاستنزاف الكبيرة التي طالت معظم الطبقات المائية الجوفية القريبة من السطح في سورية ونظراً للأهمية الاستراتيجية لموارد المياه الجوفية الإقليمية العميقة لحامل الكريتاسي الممتد على مساحة الجغرافيا السورية قامت هيئة الطاقة الذرية بتنفيذ أكبر مشروع من نوعه لمدة عشر سنوات (2000-2010)؛ وذلك من خلال اعتيان عدد كبير من الآبار والينابيع ودمج مجموعة كبيرة من القفاءات الجيوكيميائية والنظائر بشقيها المستقر والمشع ^{14}C و^{3}H و^{13}C و^{18}O و^{2}H بهدف التمييز بين مختلف المناطق الجغرافية الرئيسة للموارد الجوفية المتجددة وشبه المتجددة وغير المتجددة في هذا الحامل الإقليمي. إن من أهم نتائج هذا العمل وضع خرائط نطاقات التوزع الجغرافي للمياه الجوفية المتجددة وشبه المتجددة وغير المتجددة كما هو ملاحظ في الشكل التالي.

نهر اليرموك ومرتفعات الجولان



نطاقات المياه المتجددة ونصف المتجددة وغير المتجددة في الحامل المائي الإقليمي العميق للكريتاسي الأعلى في سورية.

ففي النطاق الأول يوجد المياه المتجددة؛ حيث تشير النتائج إلى تغذية معاصرة مع قيم لـ $\delta^{18}O$ والتريتيوم تماثل قيم مياه الأمطار الحالية وفعالية مرتفعة للكربون-14 60–80 pmc وبأعمار حديثة أقل من 100 سنة ومتوسط قيم TDS 290 ملغ/ل، وهذه المياه الجوفية تمثل نطاقات التغذية لحامل الكريتاسي إذ تبلغ مساحة هذه المنطقة 7% فقط من مساحة سورية. أما النطاق الثاني فيمثل المياه شبه المتجددة التي تقع في الجزء غير المضغوط من الطبقة العميقة، وتكون قيم تراكيب النظائر المستقرة مقاربة أيضاً لقيم الهاطل المطري الحديث وبقيم بينية من ^{14}C تبلغ 15-45 pmc وأعمار مصححة تتراوح من 1.5 إلى أقل من 10 ألف سنة قبل الآن ويُقدر متوسط قيم الملوحة TDS بـ 613 ملغ/ل. يبدو أن هذه المجموعة تشكلت نتيجة عملية خلط بين مياه جوفية من تغذية قديمة ومياه جوفية من تغذية حديثة، أما مساحة هذا النطاق فتبلغ 11% من مساحة سورية. ويعدّ النطاق الثالث نطاق المياه الجوفية غير المتجددة، ويقع في الجزء المضغوط والعميق من حامل الكريتاسي، ويتميز بنضوب كبير لقيم $\delta^{18}O$ مقارنة بقيم الهاطل المطري الحديث. وهذه المياه تخلو من التريتيوم، وتنخفض قيم النشاط الإشعاعي للكربون-14 وتقدر بين 0.6-13.5 pmc، مع أعمار مصححة تتراوح بين 10 و30 ألف سنة قبل الوقت الحالي وقيم TDS تتفاوت بين 1200-7000 ملغ/ ل، وتبلغ مساحة هذا النطاق 82% من مساحة سورية.

تشير البيانات المتكاملة التي قدمت في هذه المقالة إلى أن الجزء الأكبر من المياه الجوفية العميقة في سورية تشكلت في ظروف مناخية أكثر رطوبة، وتقع حالياً في نطاق يعاني من ظروف مناخية جافة ويتلقى القليل من التغذية الطبيعية المعاصرة. تقع مصادر المياه الجوفية غير المتجددة في معظم الأراضي السورية وتمثل مصادر مائية لا يستهان بها من أجل التنمية المستدامة، والتي تؤدي دوراً حاسماً في استراتيجيات طويلة الأجل خاصة فيما يتعلق بالإنتاج المستدام للمياه الصالحة للشرب وتحسين الإنتاج الزراعي، مع الأخذ بعين الاعتبار أن الاستثمار المفرط من هذه المصادر المائية له تداعيات سلبية على المخزون، ويجب أن يتوازن هذا الاستثمار مع الفوائد الاجتماعية والاقتصادية، كما يجب بذل كل جهد لضمان استخدام مدروس ومناسب للمياه الجوفية.

الخاتمة

إذا نظرنا إلى رصيد سياستنا المائية في سورية نجد أن لها جانبين: جانباً إيجابياً يتعلق بالمياه السطحية، ويتمثل في عمليات الحصاد المائي إذ غدت سورية من البلدان ذات التجربة الرائدة في عمليات إنشاء السدود ومد أقنية الري بالرغم من وجود بعض القرارات الخاطئة لبعض المواقع في هذين الشأنين. وثمة جانب سلبي تجاه استثمار المياه الجوفية، إذ إن الحصيلة كارثية في معظم الأحواض المائية السورية وتنذر بعواقب لا تحمد عقباها، ما يستدعي تظافر جهود جبارة وإمكانيات مادية ضخمة من أجل الإحاطة بها، ولا بد من أن تبدأ بعملية تبادلية ثنائية الجانب ما بين وعي المواطن من جهة، والسياسة المائية المدروسة للدولة من الجهة الأخرى.

لقد كتب الكثير عن الحلول الناجعة القريبة والبعيدة الأجل الرامية إلى تفادي الأزمة المائية في سورية من قبل اختصاصيين كثر في وزارات الزراعة والموارد المائية والبيئية، إضافة إلى العديد من المنظمات الدولية العاملة في سورية، ولسنا بصدد إعادة ما ذكر، لكن من المفيد تحديد العديد من الثوابت الرئيسة التي تقع في سلم الأولويات لسياسة المياه الوطنية المستقبلية في سورية.

في مجال المياه السطحية سيبقى نهرا دجلة والفرات هما حاضر سورية ومستقبلها، وينبغي للدولة بذل الجهود بغية التوصل إلى اتفاقيات ملزمة لتقاسم المياه مع جيرانها واتباع نهج تعاوني مشترك لتطوير وإدارة المياه المشتركة مع الدول المجاورة، ويمكن أن يسهم التعاون عبر الحدود لتنمية الموارد المائية وتدفقاتها مساهمة مهّمة في تعافي سورية آخذين بعين الاعتبار أن الأمن المائي سوف يؤدي دوراً حاسماً في استراتيجيات سورية لإعادة الإعمار والتنمية الطويلة الأجل ما بعد الأزمة.

أما في مجال المياه الجوفية، فإن ما يجري حالياً لا يتوافق مع استدامة موارد المياه الجوفية في أي من الأحواض المائية السورية على الإطلاق، كما أن استعادة طبقات المياه الجوفية ذات الأهمية لبعض التوازن المستدام في زمن محدد أمراً ليس سهل المنال بسبب تبعاته الاجتماعية والاقتصادية التي لا نستطيع تحمل نتائجها في الوقت الراهن على الأقل.

المراجع

- Al-Charideh A, Katta B (2016). Isotope hydrology of deep groundwater in Syria: renewable and non-renewable groundwater and paleo-climate impact. Hydrogeology. J, 24 (1): 79-98.

- Arnell NW (2004). Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios. Global Environmental Change 14: 31–52.

- Bazza M, Najib R (2003). Towards Improved Water Demand Management in Agriculture in the Syrian Arab Republic. Damascus, Arab Republic of Syria.

- Bozkurt D, Lutfi Sen (2013). Climate change impacts in the Euphrates–Tigris basin based on different model and scenario simulations. J Hydrol 480: 149–161.

- Edmunds WM (2003). Renewable and non-renewable groundwater in semi-arid and arid regions. In: A.S. Alsharhan AS, Wood WW (eds.): Water Resources Perspectives: Evaluation, Management and Policy: 265-281. Elsevier. Amsterdam.

- Gleick PH (2014). Water, Drought, Climate Change, and Conflict in Syria. American Meteorological Society. DOI: 10.1175/WCAS-D-13-00059.1.

- Hassan AA, Rid F, Telleria R, Bruggeman A (2014). The impact of food and agricultural policies on groundwater use in Syria. J Hydrology 513: 204-215.

- Mahmoud DH and Sayegh C (2017). Syrian Water Situation – Analytical Study and Future Prospects. Homs: Baath University. Mourad K, Berndtsson R (2012). Water Status in the Syrian Water Basins. Open J Modern Hydrology 2(1): 15-20.

› تأليف: **د. عبد الرحمن شريدة**، قسم الجيولوجيا، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

أصول برية سورية كنز وراثي لإنقاذ تدهور محصول القمح في العالم

يعد تغير المناخ من أخطر التحديات البيئية التي تواجه البشرية حيث يتوقع أن تكون له آثار كارثية على معظم المحاصيل الاستراتيجية في العالم؛ لذلك يلجأ العلماء في الوقت الحالي إلى البحث عن أصول وراثية نباتية من أجل تحسين أداء هذه المحاصيل تحت هذه المتغيرات الخطيرة في المناخ، ففي الولايات المتحدة الأمريكية ومع ارتفاع درجات حرارة الطقس انتقلت بعض الآفات والأمراض شمالاً إلى قلب الولايات؛ مما أدى إلى تدهور المحاصيل وتناقص غلتها الحبية، وبغية مكافحة هذه الأعداء الحيوية توجه باحثون إلى دراسة مجموعة متنوعة من الأقماح البرية المنتشرة في العالم، حيث وجدوا بعد البحث الطويل أن أحد أقارب القمح البري السوري المعروف باسم Aegilops tauschii ينتشر في بعض الأراضي السورية التي كانت تعد قديماً قلب الهلال الخصيب ومهد الزراعة المستأنسة.وبعد سلسلة من التجارب العلمية أثبت هذا الطراز الوراثي قدرتها العالية على مقاومة ذبابة هس Hessian fly المدمرة لمحصول القمح بوجود درجات حرارة مرتفعة، وبالتالي استطاع العلماء نقل مورثات المقاومة من هذا الطراز البري إلى الأقماح الأمريكية لتحسين مقاومتها ضد هذه الذبابة، ونتيجة الإنجاز العلمي الكبير تم توزيع هذا الطراز البري السوري العريق بأصالته على مربي الحبوب في الولايات المتحدة الأمريكية للاستفادة منه كمصدر وراثي واعد في برامج التربية المستقبلية.

الكلمات المفتاحية: القمح البري السوري، ذبابة هس Hessian fly، المصادر الوراثية، التغير المناخي.

مقدمة

تقع سورية في النهاية الشرقية لحوض البحر المتوسط، وتشكل جزءاً لا يتجزأ من المشرق العربي، وتبلغ مساحة الأراضي السورية 183 ألف كم^2؛ وهي عبارة عن شواطئ وسهول وسفوح جبلية وهضاب وأشباه صحراء، المناخ فيها هو مناخ البحر المتوسط، وتتساقط الأمطار في الفصول الباردة من السنة، ويعد الصيف فيها حاراً وجافاً، ويتناقص معدل سقوط الأمطار كلما انتقلنا من الغرب إلى الشرق ومن الشمال إلى الجنوب. يمكن التعرف على خمسة مناخات بيولوجية متوسطية: الرطب وشبه الرطب وشبه الجاف والجاف والصحراوي تبعاً لتناقص معدلات سقوط الأمطار، ويعدّ الغطاء النباتي في مناخ البحر المتوسط الرطب غابات دائمة الخضرة تغطي الجبال الساحلية. تضم سورية 3077 نوعاً نباتياً تتبع إلى 133 عائلة و919 جنساً غالبيتها تنتمي إلى منطقة البحر المتوسط.

تعد سورية مهد الحضارات الإنسانية وسلتها الغذائية على مر العصور، حيث تعد المهد الخصيب لنشوء عدد من النباتات التي استؤنست وأصبحت من المحاصيل الزراعية المهمة مثل نوعي القمح والشعير والعدس والحمص والكرسنّة والبازلاء والكتان، وهذه الثمانية تسمى المحاصيل المؤسسة للحضارة.إضافة إلى ذلك، نشأت في هذه المنطقة أشجار مثمرة مثل اللوز والزيتون والتين ونباتات طبية وعطرية ونباتات زينة. حسب علماء النبات، فإن أهمية بلاد الشام وخاصة سورية لا توازي أية بقعة بالمساحة نفسها على وجه الأرض، ليس بسبب الأحداث الإنسانية المهمة التي مرت عليها فحسب بل بفعل بنيتها الجيولوجية الفريدة والتنوع العظيم لتضاريسها ومناخها وحيواناتها ونباتاتها المتميزة.

يعد القمح أكثر المحاصيل الغذائية أهمية في العالم، ويعتمد ملايين الناس في جميع أنحاء العالم على الأغذية التي تصنع من حبوب القمح، ويتم طحن هذه الحبوب فتصبح دقيقاً يدخل في عمل البسكويت والخبز والكعك والبسكويت الرقيق والمعكرونة وأطعمة أخرى. والقمح يتبع الفصيلة النجيلية، وتضم هذه المجموعة أيضاً محاصيل مهمة مثل الأرز والذرة الشامية والشعير والذرة الرفيعة والشوفان والدخن.

جمع الناس القمح البري قبل بداية الزراعة بزمن طويل، ويعتقد العلماء أنه منذ حوالي 11,000 عام مضت كان القمح واحداً من أوائل النباتات التي تمت زراعتها إلا أن هذه الموارد الوراثية للقمح تعرضت عبر التاريخ والتطور الحضاري إلى ضغوطات كبيرة من طرف الإنسان أدت إلى تدهورها، ومن أهم هذه الضغوطات الحروب العديدة والاستغلال المفرط بقصد الاستزراع والبرامج الحديثة للتهجين وتطوير الإنتاج والتكثيف في الزراعة، فكان للقمح السوري رمزية مقدسة لما يحمله من أمن غذائي واستقرار اقتصادي وعادات اجتماعية محببة وطقوس دينية فريدة وأساطير خالدة، وقد تعامل السوريون مع حبة القمح بطريقتهم الخاصة بحسب مناطقهم وبيئاتهم المحلية وثقافاتهم الشعبية لتتحول إلى رمز للعطاء الفكري والمادي اللامحدود فكانت حبة القمح السوري بروحها الجامعة رمزاً من رموز الحضارة.

أهمية أصول القمح البرية السورية وتصنيفها

تمتلك سورية بامتدادها الجغرافي تنوعاً بيئياً عريضاً يتضمن تبايناً كبيراً في الأنواع النباتية، حيث يتميز رصيد الموارد الوراثية وخاصة القمح في سورية بتنوعه، وهو يشمل ثلاثة أقسام رئيسية هي:

1. القمح والأنواع القريبة والمتصالبة البرية.
2. عشائر القمح المحلية المزروعة والمتداولة منذ مئات السنين.
3. الأصناف المستوردة والمستنبطة محلياً.

وتصنف الأقماح البرية الموجودة إلى نوعين:

– القمح القاسي (أو الصلب) durum wheat (*Triticum durum*).

– القمح الطري (أو اللين أو قمح الخبز) bread wheat (*T. aestivum*).

الشكل 1. الأقماح البرية المتصالبة من جنس *Aegilops* أو حشيشة الماعز أو الماعزية.

ويعد هذان النوعان من القمح نتيجة لتطور وراثي طويل المدى إثر تهجينات طبيعية بين أنواع من القمح البرية ثنائية الصيغة الصبغية diploid وأنواع متصالبة برية أخرى؛ لذلك فإن وجود الأقماح البرية والأنواع المتصالبة بالمنطقة العربية كان ومازال ذخيرة مهمة لهذا المحصول الاستراتيجي كما هو موضح في الشكل 1، وهذه الأصناف البرية تحتوي على أقماح متصالبة برية كثيرة من جنس *Aegilops* أو حشيشة الماعز أو الماعزية، وهو جنس تهجّنت معه عديد من الأقماح البرية السابقة.

ويعرف هذا الجنس تنوعاً وراثياً غنياً بالمنطقة العربية، حيث توجد الأنواع التالية:

أ– الماعزية ثنائية الصيغة الصبغية 2n=14 *Ae. speltoides* وهي:

– *T. baeoticum* الذي يوجد بسورية والعراق مع الأصناف المرافقة التالية *T. dicoccoides* و*Hordeum spontaneum* و*H. bulbosum* و*H. glaucum* و*Avena barbata* و*A. columnaris* ويعد هذا النوع مهدداً بالانقراض في المناطق شبه الجافة.

– *Ae. squarrosa* ويسمى أيضاً *T. aegilopoides*، ويوجد بسورية والعراق وشمال الأردن مع الأصناف المرافقة *H. spontaneum* و*H. glaucum* و*Ae. crassa*، ويعدّ هذا النوع في طور الانقراض.

– *Ae. longissima* ويسمّى أيضاً *Ae. searsii* أو *T. searsii*، ويوجد مرافقاً لـ *Ae. ovata* و*H. spontaneum* و*H. glaucum* و*H. bulbosum*، ويوجد بسورية وشمال إفريقيا في تونس والجزائر، وهو مهدد بالانقراض.

– *Ae. umbellulata* ويرافقه الشعير البري والشوفان وهو مهدد بالانقراض ويوجد بسورية.

SHOT ON MI 10I

– *Ae. caudata* و*Ae. juvenalis* ويوجدان بعدة مناطق بسورية.

ب– الماعزية رباعية الصيغة الصبغية 2n=4x=28 كما هو موضح في الشكل 2، وهي: *Ae. peregrina* ويسمى أيضاً *T. peregrinum* و*T. kotschyi* ويوجد بسورية وهو مهدد بالانقراض و*Ae. lorentii* ويسمى أيضاً *Ae. biuncialis*، و*Ae. triuncialis* وهو موجود بسورية والعراق والمغرب و*Ae. ovata* الموجود بسورية وتونس والمغرب والجزائر و*Ae. triaristata* و*Ae. columnaris* و *Ae cylindrica*. الموجودة بسورية، وتعد كل هذه الأنواع مهددة بالانقراض من جراء الرعي الجائر والتكثيف.

ج– الماعزية سداسية الصيغة الصبغية 2n=6x=42؛ وهي *Ae. crassa* الذي يوجد بسورية والعراق و*Ae. vavilovii* الموجود بسورية، ويعدّ هذان النوعان من النادرة والمهددة بالانقراض.

الشكل 2. الأقماح البرية والأنواع المتصالبة بينها وأشكال السنابل المختلفة.

تاريخ القمح السوري وأهميته

قبل 11 ألف عام، كان الهلال الخصيب مصدراً هاماً للعديد من الموارد الغذائية الضرورية للبشر، حيث زرع الناس البذور في حزام كبير من الأراضي الخصبة الممتدة من مصر إلى الخليج ليتخلوا عن الصيد وجمع الثمار ويتبنوا حياة الزراعة المستقرة، فزرعوا القمح والشعير في بيئات محكومة باستعمال الري والحرث، ومع ازدياد عدد السكان ازداد الطلب على الغذاء. واليوم يعتمد 8 مليارات إنسان في العالم على هذه المحاصيل الأساسية والسلالات الوراثية المتطورة من هذه الأنواع البرية التي يتم تهجينها لتصبح أكثر إنتاجية،وصارت هذه المحاصيل هي محاصيلنا الأحادية، فحقول واسعة من القمح تنتج الكثير من الغذاء، لكنها ليست بمنأى عن الآفات والأمراض، وهذه مشكلة من مشاكل التنوع الوراثي أو غيابه في هذه الحالة، فحين بدأ أجدادنا يختارون نباتات القمح التي تنتج أكبر كمية من الغذاء صنعوا خطوطاً وراثية أحادية تفضل الأنواع ذات الإنتاج العالي، لكن القمح البري الموزع في بقعة من الأرض أكثر تنوعاً من الناحية الوراثية؛ أي أنه يمثل مجموعات مختلفة من النباتات بخصائص مختلفة قد يمتلك بعضها مورثات وظيفية هامة تمكنه من مقاومة حشرة أو مرضٍ معين والنجاح لتمرير هذه الجينات؛ لذا حين تأتي الآفة أو الوباء ستنجو بعض نباتات القمح وتوفر بعض الغذاء على الأقل، لكن حين استعمل المزارعون في العصر الحديث النوع نفسه من القمح أصبح المحصول المتجانس أكثر عرضة للكوارث، وإن لم ينتقِ المزارعون المحصول المقاوم للخطر المعين الذي يواجههم يمكن أن يفقدوا حصاد محاصيل كاملة.

يحتل محصول القمح مكانة مميزة في قائمة المحاصيل الحبية الغذائية في العالم، ويتصدر المحاصيل الحقلية من حيث المساحات المزروعة حيث يزرع في 120 دولة في العالم، كما يحتل أكبر مساحة مزروعة 17% من المساحة المزروعة عالمياً مقارنة مع محاصيل الحبوب الأخرى حيث وصلت في عام 2010 إلى 217 مليون هكتار، أنتجت ما يقارب 651 مليون طن بمتوسط إنتاجية قدره 2999.8 كغ/ هكتار. يعد القمح من أهم المحاصيل الاقتصادية إذ يغطي 23.4% من الاحتياج العالمي من الغذاء، كما يشكل مصدراً غذائياً رئيساً لحوالي 40% من سكان العالم ويغطي 20% من السعرات الحرارية والبروتين في الغذاء البشري. تنتج منطقة حوض البحر المتوسط أكثر

من 85% من إنتاج العالم من القمح القاسي، ويتراوح معدل استهلاك الفرد في هذه المنطقة من منتجات القمح القاسي ما بين 150-200 كغ/سنة، وهي أعلى المعدلات في العالم. وتعد سورية من دول المتوسط المنتجة للقمح فيزرع القمح بنوعيه الطري والقاسي على امتداد مساحات كبيرة مروياً أو بعلاً؛ ونظراً للأهمية الاقتصادية البالغة لهذا المحصول واهتماما لدولة به فقد انتشرت زراعته في جميع المحافظات السورية، وازدادت المساحة الكلية المزروعة به بنسبة 30% من 1.3 مليون هكتار عام 1991 إلى 1.7 مليون هكتار عام 2007 وأنتجت 4.04 مليون طن بمتوسط إنتاجية قدره 2423 كغ/الهكتار، فقد بلغ متوسط المساحة المخصصة لمحصول القمح 1.68 مليون هكتار وفق إحصاءات رسمية صادرة عن وزارة الزراعة السورية تشكل المساحة المروية منها 0.73 مليون هكتار؛ أي ما نسبته 43% والبعلية 0.96 مليون هكتار بنسبة 57% كما أن هناك تطوراً واضحاً من حيث ازدياد مساحة الزراعة المروية.

البنك الوراثي للبذور البرية السورية

حتى عام 2011، كانت سوريا مقراً لأحد بنوك البذور النباتية الأكثر أهمية في العالم والذي يقع على بعد حوالي 25 ميلاً إلى الجنوب من حلب في بلدة تل حديا يديره المركز الدولي للبحوث الزراعية في المناطق الجافة (ICARDA)، ويتخصص هذا المركز التابع للأمم المتحدة في حفظ البذور والبحث فيها في المناطق الحارة والجافة، وهي ظروف تواجهها الآن العديد من مناطق زراعة المحاصيل الغذائية على الأرض، وهو أيضاً مكان منشأ القمح المدجن حالياً.

تعد بنوك البذور مصدراً غنياً للمورثات النباتية المختلفة، حيث يقوم المختصون بجمع البذور وتصنيفها وحفظها ضمن عبوات بلاستيكية موثقة أو على شكل أجزاء نباتية كاملة كما هو موضح في الشكل 3، ويمكنهم بعد ذلك الاستفادة منها لتعويض النقص في المحاصيل المفقودة جراء النزاعات أو الكوارث بغية إدخال صفات جديدة في المحاصيل المزروعة مثل مقاومة الآفات أو الحرارة. ومن بين تلك الأنواع البرية المحفوظة *Ae. tauschii* الذي يتميز بأنه تطور جينياً ليحافظ على خصائصه الاستراتيجية و التي تمكنه من مكافحة الآفات في ظل الظروف المناخية الصعبة وعلى رأسها ذبابة القمح والشعير الملونة التي تشتهر بها منطقة الشرق الأوسط، وتتحرك الآن نحو الشمال لظهور الظروف الملائمة لحياتها في ولايات مثل كنساس وأوكلاهوما وتكساس وكولورادو ونبراسكا.

الشكل 3. بنك الأصول الوراثية البرية بايكاردا بحلب من الداخل، الصورة ملتقطة من قبل المؤلفين خلال زيارة علمية عام 2008.

تدهور المحاصيل الأمريكية بذبابة هس Hessian fly

تنتقل حالياً الأمراض والآفات المألوفة للمزارعين في الشرق الأوسط والأدنى شمالاً من جنوب الولايات المتحدة والمكسيك وتنتشر عبر كنساس والولايات المجاورة أوكلاهوما وتكساس وكولورادو ونبراسكا وفي بعض الحالات حتى إلينوي وداكوتا، حيث كانت ذبابة هس

موجودة منذ أكثر من قرنين.أدى ارتفاع درجات الحرارة بالفعل إلى انخفاض غلة المحاصيل في الغرب الأوسط من الولايات المتحدة، وهو ما يمكن أن يؤدي إلى مزيد من الانخفاضات بنسبة تصل إلى 4% سنوياً. في الولايات المتحدة الأمريكية تتبع الآفات والأمراض الجديدة الظروف الحارة والجافة شمالاً، وغالباً ما تتغلب على قدرة المواد الكيميائية الزراعية على مكافحتها.

ووفقاً لمركز البيانات المناخية في الفترة الواقعة بين عامي 2000 و2015 ارتفع متوسط درجات الحرارة في الغرب الأوسط من 1 إلى 2 درجة فهرنهايت فوق متوسط فترة القرن العشرين، وطوال الفترات الزمنية بين هطول الأمطار ووفقاً لتقييم عام 2016 من قبل وكالة حماية البيئة فقد بدأت الظروف في بعض مناطق الغرب الأوسط تشبه إلى حد ما الظروف السائدة في الشرق الأوسط، حيث تأثرت محاصيل القمح في تلك المناطق نظراً لارتفاع درجات الحرارة، ومن المتوقع أن تنخفض معدلات الإنتاج بنسبة 4% سنوياً لعجز المبيدات الزراعية عن مكافحة الآفات التي تصيب المحاصيل في ظل هذه الظروف المناخية، وجاء رد فعل العلماء بالبحث عن طرائق المقاومة الطبيعية للآفات في المناطق الحارة، فوجدوها في سورية.

كان الباحثون في جامعة ولاية كنساس KSU في مانهاتن يتلقون تقارير عاجلة بشكل متزايد من مزارعي القمح في الغرب الأوسط الأمريكي عن هجمات مدمرة من قبل ذبابة هس تسببت بخسارة في الغلة بمعدل 10% سنوياً، ووفقاً لمختبر Feed the Future Innovation أوضح الباحث مينج شون تشين؛ أستاذ علم الحشرات الجزيئي بجامعة الملك سعود أن يرقات الذباب كانت تُقتل بسبب برد الشتاء، لكن هذا البرد يأتي في وقت لاحق من الموسم. تعيش هذه اليرقات على النبات حيث تقوم بحقن مادة بروتينية في الأوراق وتحولها إلى نوع من الملاط المغذي الذي يمكنهم امتصاصه وهضمه، وقد أوضح تشين قائلاً: «إنهم يحولون الورقة إلى شيء يمكنهم أكله». إن لهذه المادة تأثير في إعاقة نمو النبات وتسريع عملية التمثيل الغذائي للكلوروفيل ويصبح النبات المصاب أكثر خضرة، وهي علامة مؤكدة على وجود الذبابة، انظر إلى الشكل 4. قال الباحث تشين: «مسار التمثيل الغذائي للنبات قد تغير»، إذ لم تعد النباتات تنتج العناصر الغذائية لنموها، ولكنها تنتج المغذيات للحشرات فأصبح اللون الأخضر الداكن في حقل من القمح الذهبي الآن لوناً مخيفاً في كنساس.

الشكل 4. ذبابة هس (على اليسار) حيث تظهر شرانقها (على اليمين)
في ساق نبات القمح فوق الجذور مباشرة وتتغذى على عصارة النبات مما يؤدي إلى توقف نموه.

دور القمح البري السوري بإنقاذ المحاصيل الأمريكية ومقاومة ذبابة هس

تعاون الباحث تشين خلال العقد الماضي مع عالم النبات جيسي بولاند؛ مدير مختبر جينوم القمح التطبيقي لإجراء سلسلة من التجارب ضمن دفيئات تحت ظروف محكمة، حيث قاموا بزراعة شتلات قمح تجارية أمريكية من كنساس والولايات المجاورة إلى جانب مجموعة متنوعة من الأعشاب ذات الصلة بالقمح البري التي تم الحصول عليها من بنك البذور الوراثية في سورية. وتمت تنمية الشتلات لمدة أسبوعين إلى ثلاثة أسابيع، ثم أطلق الذباب عليها. أشارت النتائج بوضوح إلى وجود مقاومة عالية للإصابة بذبابة هس فقط عند نوع القمح البري السوري *Ae. tauschii*.

يحتوي القمح على أكثر جينوم تعقيداً بين أي من المحاصيل الرئيسية في العالم، وهو أحد أسباب عدم نجاح جهود هندسة سمات القمح وراثياً حتى الآن كما هو الحال مع الذرة وفول الصويا والمحاصيل الأخرى، وهذا يعني أيضاً أن لها أقارب جينية متعددة، ويتضح أن هؤلاء الذين يطلق عليهم "الأقارب البرية للمحاصيل" هم أدوات مهمة للمربين، حيث تواجه مناطق زراعة الأغذية في جميع أنحاء العالم مجموعة غير مسبوقة من الظروف الجديدة. يقول الباحث جيسي بولاند: "يرتبط أقارب القمح ارتباطاً وثيقاً بما تم تهجينه، الاختلاف هو أن التهجين المختار للمورثات والسمات التي تزيد الإنتاجية، لكن خلال تلك العملية فقدوا صفات مقاومة الأمراض والحشرات". إن هذه الأصناف عالية الإنتاجية، وهي تعتمد على معززات الكيماويات الزراعية، وتظهر ضعفها في مواجهة الأمراض والآفات الجديدة؛ لذا فإن المربين يتعمقون في تاريخ القمح كما هو الحال بالنسبة للمحاصيل الأخرى لإعادة بعض تلك الخصائص المفقودة والتي أهمها مقاومة الأمراض، وبالتالي فإن تهجين القمح البري السوري مع قمح أمريكي قابل للإصابة سيعطي بالنتيجة صنف قمح مقاومكما هو موضح الشكل 5.

الشكل 5. العشب البري *Ae. tauschii* (على اليمين) ومخطط لتهجين القمح الحساس مع العشب البري المقاوم ليعطي قمحاً مقاوماً لذبابة هس (على اليسار).

البذور السورية تعمل بقوة في ظل الظروف المجهدة

ساعدت البذور القادمة من سورية المزارعين الأمريكيين على مواجهة التغيرات المناخية في أماكن أخرى من الغرب الأوسط للولايات المتحدة الأمريكية، فعلى سبيل المثال في إلينوي وداكوتا يؤدي ارتفاع درجات الحرارة مع هطول أمطار غزيرة إلى تكاثر الفطريات الممرضة ولفحة الذبول الفيوزاريوم التي تزداد في الظروف الحارة والرطبة وتدمر نباتات القمح، ويبدو أن البذور السورية تعمل بقوة في ظل ظروف الغرب الأوسط المجهدة، حيث وجد العلماء أن أصناف القمح تتحمل هذه الظروف بشكل جيد. وما زالت الجهود جارية في جامعة نورث داكوتا من أجل إدخال الأصول الوراثية السورية التي تظهر مقاومة عالية لفطر *Fusarium*، وتعد هذه الأصناف المعدلة المحتوية على مورثات مقاومة لأضرار الممرضات والحشرات وعلى رأسها ذبابة هس ذات قيمة كبيرة ومتزايدة لأن الضغوط المناخية تؤدي إلى زيادة عدم الاستقرار البيئي كما هو موضح في الشكل 6.

وفي الختام إن مورثات القمح القديمة المقاومة ستكون ذات قيمة كبيرة تستحق الدراسة؛ مما يسمح لنا متابعة التغيُّرات التي طرأت على المحاصيل عبر الزمن فيما يتعلق بالتنوُّع الوراثي وإمكانية الاستفادة منه ككنز وراثي داعم من أجل تحسين أصناف وطنية معتمدة ومنتشرة في القطر.

الشكل 6. نبات القمح الذي يحتوي على مورثات مقاومة لأضرار ذبابة هس تم إدخالها من *Ae. tauschii*
(على اليسار) مقارنة بالقمح غير المعدل الذي أوقف الذباب نموه (على اليمين).

على الصعيد العالمي أعلنت منظمة الأغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة أن ثلاثة أرباع أنواع المحاصيل في العالم التي كانت موجودة في أوائل القرن العشرين قد انقرضت بحلول عام 2015، وربما ستستخدم أقارب المحاصيل البرية لتعزيز الزراعة الصناعية، في حين أن الزراعة الصناعية نفسها هي واحدة من أكبر الضغوط التي تواجه البيئة، إذ يؤكد الباحث بولاند أن الجولة الأخيرة من تجارب ذبابة هس التي اكتملت في أوائل العام الفائت دعمت خطة جامعة كنساس لإدخال النباتات الناجية من وباء حشرة الذباب في برامج التهجين مع أصناف القمح التجارية الأمريكية، وبعد الانتهاء من التصنيف والموافقة الحكومية الملائمة سيوزع النوع *Ae. tauschii* على محطات إكثار البذور الأمريكية لتنتهي فيما بعد في حقول الغرب الأوسط الأمريكي.

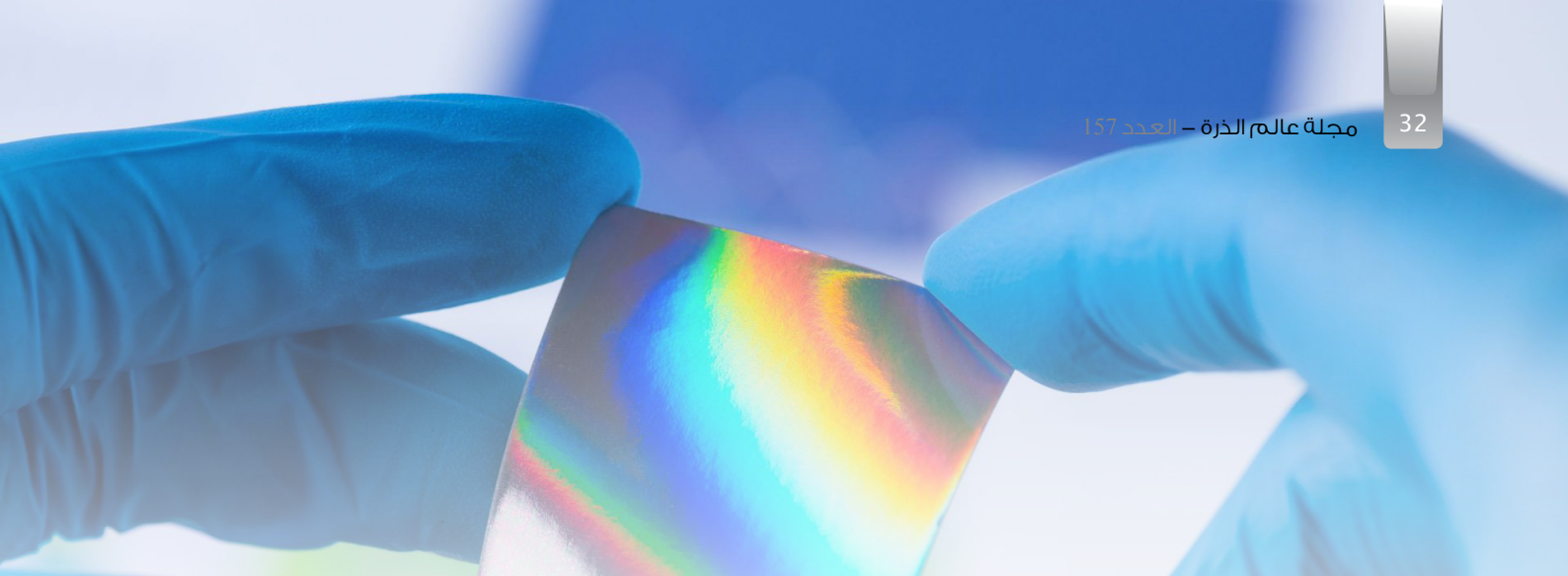
المراجع

– المنظمة العربية للتنمية الزراعية (2002). الدراسة القطرية حول الأصول الوراثية النباتية في الجمهورية العربية السورية.

- Schapiro M.(2018). How seeds from war-torn Syria could help save American wheat. Published at the Yale School of the Environment. New Haven, CT 06511.

- Westengen OT et al. ((2020.Safeguarding a global seed heritage from Syria to Svalbard. NatPlants. Available at: https://doi.org/10.1038/s41477-020-00802-z (accessed 15 Nov 2021).

تأليف: **م. محمد جوهر و م. إياد الشحادة**، قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية، هيئة الطاقة الذرّية السورية.



تطبيق التقنيات الذرية والنووية في تحليل السطوح وسبر العمق العنصري في الأفلام الرقيقة

يتفاعل سطح المادة الصلبة مع البيئة المحيطة، وقد يخضع لتغيرات تلقائية ناتجة عن تفاعل مع الوسط المحيط مثل تآكل المعادن على سبيل المثال أو تغيرات تجري بشكل ممنهج كترسيب أفلام ضمن منشآت صناعية من أجل الحصول على أفلام رقيقة بمواصفات محددة لتحسين السطوح أو حمايتها، ويمكن إجراء مثل هذه التغييرات السطحية عن طريق الزرع الأيوني أو تقنيات ترسيب الأفلام الرقيقة الحديثة، ومن الضروري في كل الحالات السابقة توصيف السطح أو الطبقة أو منظومة الطبقات أو الطبقات البينية المحضرة وتحليلها من أجل التحكم في العملية التي تفي في النهاية بالمتطلبات التكنولوجية لسطح تم تغييره بشكل ممنهج، وتتوافر عدة طرائق تحليلية حديثة تقوم بهذه المهمة تتطلب العناية باختيار الطريقة المناسبة مع الإلمام بها من أجل دراسة منظومة الفلم الرقيق المحضرة، وتعد التقنيات النووية والذرية واحدة من أوسع الطرائق استعمالاً في تحليل السطوح وسبر العمق العنصري في الأفلام الرقيقة.

الكلمات المفتاحية: الأفلام الرقيقة، تحليل السطوح، سبر العمق، تقنيات نووية.

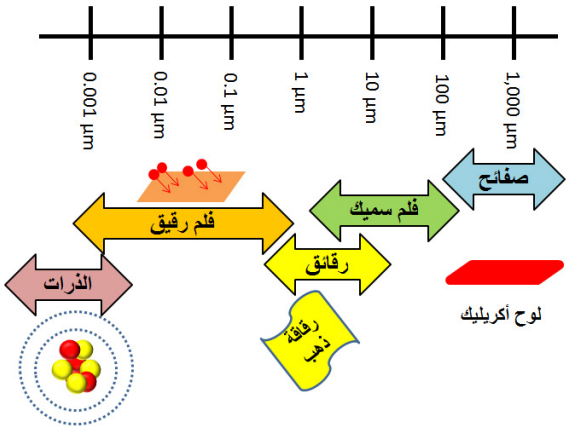
مدخل إلى الأفلام الرقيقة

تعريف الفلم الرقيق

تعدّ السطوح الصلبة الخارجية والسطوح البينية مواقع مهمة تحدث فيها تفاعلات كيميائية مختلفة. تحدث على السطوح الصلبة –وهي عملياً سطوح بينية صلب/غاز– عمليات امتصاص الجزيئات ونمو الأغشية الرقيقة والأكسدة والتفاعلات الكيميائية التحفيزية وغيرها، إضافة إلى التأثيرات البيئية المختلفة مثل عمليات التآكل والتفاعل مع الضوء والمجالات الكهرومغنطيسية. من وجهة نظر تقنية فإن تصغير المكونات الميكانيكية والإلكترونية والبصرية والإلكترونية الضوئية على شكل أفلام رقيقة يزيد بشكل عام من نسبة السطح إلى الحجم للمواد المدروسة، حيث تكتسب الخصائص السطحية أهمية متزايدة. غالباً ما تختلف الخصائص الميكانيكية والكيميائية والضوئية والإلكترونية المطلوبة في الأفلام الرقيقة مع تلك المتعلقة بالمادة الأم bulk.

لا يمكن تحديد حد فاصل لتعريف الأغشية الرقيقة والسميكة بشكل عام، على الرغم من أن الأدبيات العالمية تعطي أحياناً قيمة افتراضية قدرها مكرومتر واحد للأفلام الرقيقة. يمكن في الواقع وصف الفلم بأنه رقيق عندما تختلف خصائصه كفلم رقيق بشكل كبير عن تلك المتعلقة بالمادة الأم bulk. يعرض الشكل 1 مخططاً شائعاً للأبعاد التي تقع ضمنها أبعاد الأفلام الرقيقة مقارنة بالصفائح

والرقائق، ويمكن القول أن الفلم الرقيق عبارة عن طبقة من المواد تتراوح سماكتها من عدة نانومترات أحادية الطبقة إلى عدة مكرومترات في السماكة، كما يُطلق مفهوم سطح بيني interface على كل حد بين الأطوار التي يمكن تمييزها بشكل واضح، ويمكن أن يكون هذا السطح البيني بين الركازة والفلم مثلاً أو بين طبقة طلاء المادة والبيئة الخارجية، ويمكن أن يتخطى ذلك لنصل للحدود بين الحبيبات grains البلورية ضمن مادة صلبة، وبناء على ما سبق فإن مفهوم السطح الخارجي لفلم ما هو إلا سطح بيني بين الفلم والوسط المحيط به سواء كان سائلاً أم غازاً أم خلاء.



الشكل 1. مخطط شائع للأبعاد التي تقع ضمنها أبعاد الأفلام الرقيقة.

تطبيقات الأفلام الرقيقة

تدخل الأفلام الرقيقة في مجالات متعددة نظراً لخصائصها الفيزيائية المميزة التي تختلف بشكل كبير عن تلك الخاصة بالمواد الأم؛ إذ تدخل الأفلام الرقيقة في تطبيقات هندسية متنوعة تشمل الطلاءات الواقية على السطوح المعدنية من أجل كبح عمليات التآكل والطبقات السطحية للمواد الصلبة الخاصة بأدوات القص والقطع والأفلام الخاصة بإنقاص فعالية passivatioin السطوح والطلاءات الداعمة للمعادن وتلك المقاومة للصهر على فوهات الصواريخ والبوتقات والأنابيب وفي منظومات العزل الحراري، كما تدخل الأفلام الرقيقة مجال التطبيقات البصرية من أوسع أبوابه، فهي تستعمل كطلاءات في الحفازات البصرية والطلاءات المضادة للانعكاس في البصريات المتعددة الطبقات والطلاءات الفائقة الانعكاسية في المرايا الليزرية وفي البصريات المدمجة، كما توجد الأفلام الرقيقة في الإلكترونيات الضوئية الحديثة، فهي مكونات أساسية في أجهزة الكشف الضوئي ونقل الصور والذواكر الضوئية والعناصر الإلكترونية مثل المقاومات والمكثفات والوصلات البينية والترانزستورات والثنائيات والدوائر المتكاملة IC وفي النواقل الدقيقة الفائقة ومنظومات الطاقة الشمسية والخلايا الشمسية، وتدخل الأفلام الرقيقة أيضاً في تطبيقات مغنطيسية متنوعة تشمل الذواكر ورؤوس القراءة والكتابة المغنطيسية وأجهزة الاستشعار والقياس عن بعد، كما تعدى تطبيقها ليدخل تطبيقات طبية تشمل المستشعرات البيولوجية في الطب الحيوي والطلاءات المزروعة المتوافقة حيوياً والمستشعرات العصبية وغيرها، ويعرض الشكل 2 مخططاً لبعض التطبيقات التي لا تكاد تنتهي للأفلام الرقيقة.

الشكل 2. مخطط لبعض تطبيقات الأفلام الرقيقة.

تحضير الأفلام الرقيقة

يمكن تقسيم عملية ترسيب الفلم إلى ثلاث مراحل أساسية هي: تحضير المادة المشكلة للفلم (ذرات، جزيئات، ...) ونقل المادة من المنبع إلى الركازة وامتزاز المادة على الركازة ونمو الفلم، ويمكن اعتبار هذه المراحل إما مستقلة أو مؤثرة على بعضها اعتماداً على طريقة الترسيب المعتمدة وعلى شروط الترسيب المطبقة، ولا يتسع المجال هنا للخوض في طرائق الترسيب المتنوعة والمتفرعة، ويمكن للقارىء التوسع في هذا المجال بالرجوع للمراجع المتخصصة بذلك، كما يمكن لطرائق التحليل المعروفة ترسيب أفلام بسماكات تتراوح بين أقل من نانومتر وحتى عدة ملّيمترات.

دراسة السطوح وسبر العمق في الأفلام الرقيقة

تنوعت الطرائق التحليلية التي تعطي توصيفاً لسطوح العينات ومعلومات تسبر عمقها، وسنحاول في الفقرات التالية تسليط الضوء على أهم هذه التقنيات، علماً أن المذكور هنا هو غيض من فيض، ولا يتسع المجال هنا للخوض في الكثير منها، ويترك للقارىء الاستزادة من خلال الرجوع للكتب المرجعية في هذا المجال.

تقنية الإلكترون الضوئي الصادر بفعل أشعة سينية X-ray photoelectron spectroscopy (XPS)

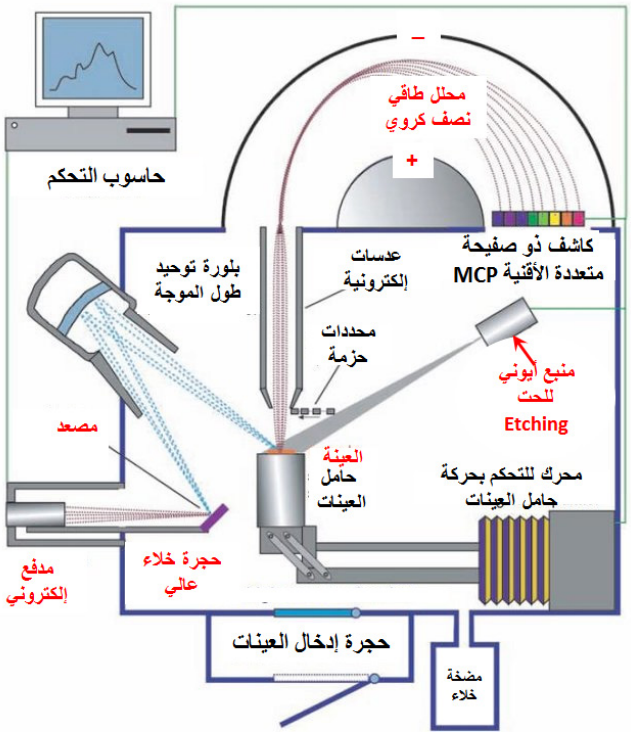
تنتمي تقنية XPS إلى عائلة المطيافيات المتعلقة بالتحريض بالانبعاث الضوئي photoemission التي يتم فيها الحصول على أطياف الإلكترون عن طريق تشعيع مادة بحزمة من الأشعة السينية، وتستنتج الحالات الكيميائية للذرات من قياس الطاقة الحركية للإلكترونات المتحررة وعددها، كما تعتمد هذه التقنية -المعروفة أيضاً باسم المطيافية الإلكترونية في التحليل الكيميائي ESCA- على قذف عينة ما بحزمة أشعة سينية لإحداث تأينات فيها وإطلاق إلكترونات حرة، وترتبط طاقات هذه الإلكترونات الحرة بطاقات ارتباطها في الذرة الأصلية، ومن خلال قياس هذه الطاقات المميزة يحدد تحليل XPS العناصر الكيميائية الموجودة في العينة إضافة إلى حالاتها الكيميائية وارتباطاتها ضمن الطبقة السطحية في العينات الصلبة. تتراوح الحساسية ضمن المجال 0.01-1% atom حسب العنصر والشروط التجريبية المطبقة، وتمكّن هذه التقنية من إجراء سبر العمق العنصري بشكل غير تخريبي حتى سماكة 100 Å مع إمكانية كشف جميع العناصر باستثناء H وHe، وتطبَّق هذه التقنية عادة في دراسة العمليات الكيميائية في المواد لدى تعرضها للمؤثرات السطحية الميكانيكية منها أو الحرارية أو تعرضها للغازات أو المواد الكيميائية أو الفوتونات أو عمليات الزرع الأيوني، كما تتطلب تقنية XPS العمل ضمن خلاء عالٍ من رتبة 10^{-10} *mbar* من أجل منع الكبح الإلكتروني، ويجري حالياً تطوير المنظومات لتمكين إجراء القياس ضمن الضغط الجوي.

تستثمر تقنية XPS بشكل روتيني لتحليل المركبات غير العضوية في حالتها الصلبة مثل السبائك المعدنية وأنصاف النواقل والبوليميرات والزجاج والسيراميك والأوراق والغرسات الطبية والمواد الحيوية وفي الأفلام الرقيقة والمواد اللاصقة وغيرها الكثير، كما يمكن استخدام XPS بشكل أقل إلى حد ما في تحليل الأشكال المائية للمواد مثل الهلامات المائية والعينات البيولوجية عن طريق تجميدها بالنتروجين السائل.

تمتاز تقنية XPS بحساسيتها في تحليل السطوح، وينتج هذا من حقيقة أن جميع الإلكترونات الضوئية المنبعثة تصدر تقريباً عن الطبقات الذرية السطحية؛ أي بضع طبقات ذرية على أكثر تقدير. وتسمح حساسية السطح العالية هذه بالكشف بسهولة عن معظم العناصر على السطح والتي لا يمكن اكتشافها بهذه الحساسية العالية بوساطة التقنيات الأخرى المتعلقة بالأشعة السينية مثل انعراج الأشعة السينية XRD أو الأشعة السينية المتفلورة XRF أو المتعلقة بالإلكترونات مثل السبر المكروي الإلكتروني electron microprobe.

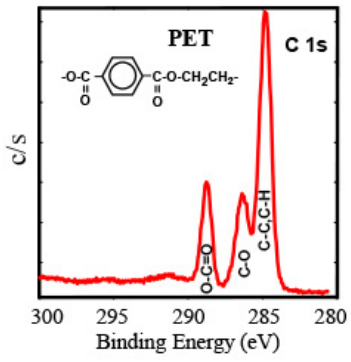
توصف تقنية XPS بأنها غير تخريبية لدى دراسة السطوح، حيث تستخدم حزمة أشعة سينية ذات طاقة منخفضة تنتج الحد الأدنى من تأثيرات الطاقة على العينة أثناء التحليل، ويعطي تحليل XPS مزيداً من المعلومات حول العناصر المكتشفة، حيث يمكن أن تسبب التغييرات في البيئة الكيميائية أو حالة الأكسدة للذرة تغيرات مقابلة في طاقات الإلكترونات الصادرة، ومن خلال قياس هذه التغيرات يمكن في معظم الحالات تعيين البيئة الكيميائية لعنصر معين بدقة، كما تمتاز تقنية XPS بقدرتها على تحليل العينات العازلة بسهولة نسبية نظراً لأن الحزمة الواردة من الأشعة السينية لا تتكون من جسيمات مشحونة، ولا يحدث تراكم شحنة من حيث المبدأ بسبب حزمة التحليل الواردة نفسها، وإنما ينتج نتيجة عن الإلكترونات المتولدة في الخلاء، ويجري التخلص منها بسهولة عن طريق استخدام مدفع إلكتروني ضمن الحجرة التحليلية.

تستدعي الحاجة في كثير من الأحيان الحصول على معلومات حول توزيع التركيب الكيميائي على أعماق أكبر من المعلومات التحليلية السطحية، وتوفر الطرائق غير التخريبية مثل تغيير زاوية الإصدار أو تغيير طاقة فوتون الإثارة الوارد إمكانية الحصول على معلومات العمق، لكنها تقتصر في الممارسة العملية على تقييم أعماق صغيرة لا تتجاوز 5 نانومترات فقط، وللحصول على معلومات ضمن أعماق أكبر فإن ذلك يستدعي استعمال طرائق تخريبية تتمثل في إزالة السطح التدريجي باستعمال طريقة الحتّ الأيوني etching ion، فتعطي المزامنة الدقيقة بين إزالة السطح عن طريق الحتّ وإجراء تحليل XPS سبراً عنصرياً ضمن عمق المادة المدروسة، ومن الناحية العملية يتم تنفيذ إجراء الحتّ عن طريق استعمال مدفع أيوني لغاز خامل مثل الأرغون لتقليل التأثيرات الكيميائية، ويسمح محلل طاقي نصف كروي موضوع أعلى منظومة XPS بفصل الإلكترونات الصادرة حسب طاقتها الحركية وتوجيهها إلى كاشف متعدد الأقنية MCP، حيث يعمل على تسجيل الإشارات الكهربائية وفصلها طاقياً للحصول على طيف XPS المميز، ويعرض الشكل 3 مخططاً نموذجياً لمطيافية XPS.



الشكل 3. شكل تخطيطي نموذجي لمطيافية XPS.

يمثل طيف XPS النموذجي عدد الإلكترونات المكتشفة بدلالة طاقة الارتباط، وينتج كل عنصر مجموعة من قمم XPS المميزة التي تتوافق مع التركيب الإلكتروني للإلكترونات داخل الذرات وضمن الجزيئات، ويعطي هذا التركيب تحليلاً كيفياً لها، على سبيل المثال يعرض الشكل 4 جزءاً من طيف XPS للبوليمير polyethylene terephthalate (PET)، حيث تظهر قمة 1s للكربون الناتجة عن تراكب ثلاث قمم ذات انزياحات كيميائية مختلفة؛ أي طاقات ارتباط الإلكترونات ضمن المدار 1s مختلفة، وتعود للروابط C-O، O-C=O، C-H/C-C.



الشكل 4. قمة C 1s من أجل PET.

يرتبط عدد الإلكترونات المكتشفة في كل قمة ارتباطاً مباشراً بكمية العنصر، ويمثل هذا مبدأ التحليل الكمي بهذه التقنية. ونظراً لأن طاقة الأشعة السينية ذات الطول الموجي المحدد معروفة بدقة، ولأن الطاقات الحركية للإلكترونات الصادرة تُقاس بوساطة مطيافية XPS، فإنه من الممكن تحديد طاقة الارتباط لها باستخدام معادلة المفعول الكهروضوئي التالية:

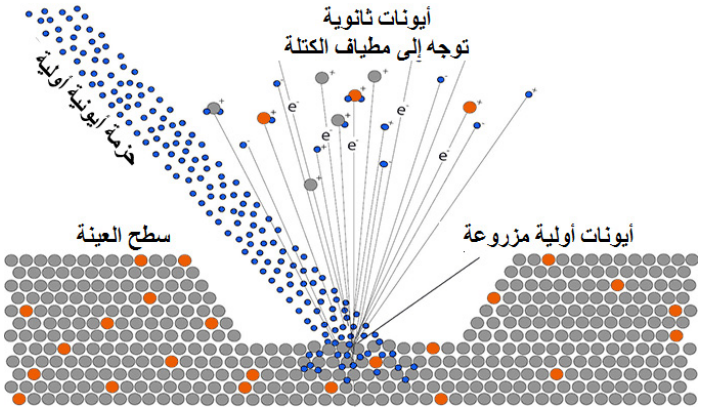
$$E_{binding} = E_{photon} - (E_{kinetic} = \Phi)$$

حيث $E_{binding}$ هي طاقة الارتباط للإلكترون ضمن المدار الجزيئي و E_{photon} هي طاقة فوتونات الأشعة السينية المستخدمة و $E_{kinetic}$ هي الطاقة الحركية للإلكترون والمقيسة بتقنية XPS، وتمثل Φ معامل تصحيح من أجل تعويض إمكانية خسارة طاقة حركية صغيرة من رتبة eV لدى إصدار الإلكترون من الوسط وامتصاصه في الكاشف، وتمكّن البرمجيات الحديثة من أتمتة المعلومات السابقة من أجل معالجة أطياف XPS وفكّ تراكب القمم ضمن الأطياف، ومن ثم الحصول على التراكيز النسبية المئوية للعناصر مع إسهاماتها في الروابط التي تشكلها ضمن الجزيئات في العينة المدروسة.

تقنية مطيافية الكتلة للأيونات الثانوية secondary ion mass spectrometry (SIMS)

توصف مطيافية الكتلة للأيونات الثانوية بأنها واحدة من تقنيات تحليل السطوح الرئيسة، وأداة فعالة في تقصّي التركيب الكيميائي في عمق العينة، وقد توسع استخدامها بشكل متسارع في العديد من المجالات التحليلية، وتعدّ أكثر تقنيات تحليل السطح العنصري والجزيئي والنظيري حساسية.

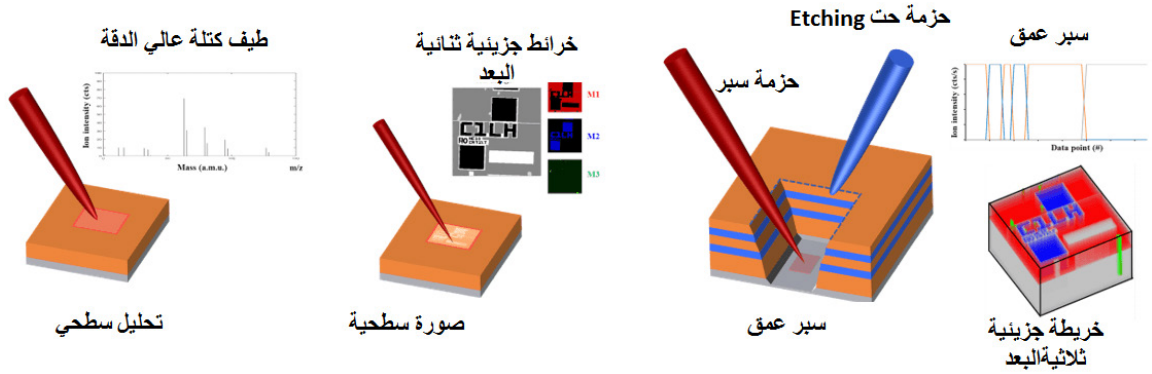
يتسبب سقوط حزمة من الأيونات الموجبة ذات طاقة من رتبة keV على سطح ما بحدوث مجموعة من التفاعلات التي تؤدي إلى إصدار أنواع مختلفة من الجسيمات التي تخضع لعملية رشرشة sputtering (تبعثر أو طرد) بما في ذلك إلكترونات ثانوية وإلكترونات أوجيه وفوتونات وجسيمات معتدلة الشحنة في حالتها الأرضية أو المثارة وأيونات ثانوية موجبة أو سالبة كما يظهر في الشكل 5، وينصب الاهتمام لدى تطبيق تقنية SIMS على النوعين الأخيرين من هذه الأيونات الثانوية الموجبة والسالبة، حيث يجري تحليلها باستعمال مطياف كتلة، مما ينتج عنه أطياف تتكون من مجموعة قمم مميزة تعود للمجموعات الأيونية المتشظية نتيجة القذف الأيوني الأولي للسطح، حيث تعطي نتائج التحليل معلومات مهمة عن التركيب العنصري والنظيري والجزيئي للطبقات السطحية. تختلف مساحات القمم في الطيف والعائدة للأيونات الثانوية الناتجة اختلافاً كبيراً تبعاً للبيئة الكيميائية للمادة المدروسة وشروط القذف الأيوني الأولي من حيث نوع الأيون والطاقة وزاوية الورود... إلخ.



الشكل 5. شكل تخطيطي لعملية الرشرشة الأيونية.

عندما يستهدف جسيم مشحون ثقيل بطاقة (1-15 keV) سطحاً ما، فلن توقفها الطبقة الأولى من الذرات عن متابعة طريقها، لكنها تتابع طريقها ضمن المادة حتى تتوقف نتيجة فقدان الطاقة energy loss الذي تسببه عمليات التشتت straggling الذري والإلكتروني، حيث تزيح الحزمة الأيونية الواردة بعض الذرات من مواقعها الطبيعية على طول طريقها ضمن بنية المادة، ويترافق مع ذلك إزاحة ذرات إضافية؛ مما يؤدي إلى حدوث سلسلة معقدة من الاصطدامات، واعتماداً على الطاقة الممتصة في أي تصادم فردي يتم إزاحة بعض الذرات بشكل دائم من مواقعها الطبيعية، في حين يعود البعض الآخر بشكل مرن بعد الإزاحة المؤقتة، ويُطلق على هذا التسلسل من الاصطدامات اسم تسلسل الاصطدام collision cascade، ونظراً لأن تقنية SIMS تعتمد على إزالة الذرات من السطح، فهي بطبيعتها تقنية تخريبية،

ولكن هذا الأمر مناسب بشكل مثالي لتطبيقات سبر العمق، ويجري تسجيل أطياف SIMS بشكل متسلسل حيث تتوافق هذه الأطياف مع كل طبقة يجري حتُّها تدريجياً بوساطة الحزمة الأيونية الساقطة. إن شدة كل قمة في طيف الكتلة الذي يجري تجميعه والموافقة لجزيء معين أو ذرة محددة بدلالة الزمن هي انعكاس مباشر للتغير في تركيزها مع العمق تحت السطح، ونظراً لأن عملية الاختراق تؤدي إلى حتّ العينة بشكل تدريجي، فإن منظومة SIMS تعطي معلومات تسبر عمق العينات أثناء التحليل بشكل ديناميكي أو ما يسمى DSIMS، ومن أجل الحصول على دقة أفضل لسبر العمق تستعمل عادة حزمتان منفصلتان، حيث تقوم الأولى بعملية الحتّ من أجل توليد حفرة تدريجية في سطح العينة قيد الدراسة، في حين يتم استعمال نبضات قصيرة من الحزمة الثانية لتحليل السطح المحفور عن طريق تحليل الأيونات الثانوية الصادرة نتيجة عملية الرشرشة. يبيّن الشكل 6 مخططاً يظهر الإمكانيات التحليلية السطحية وفي العمق لتقنية SIMS.



الشكل 6. مخطط يظهر الإمكانيات التحليلية السطحية وفي العمق لتقنية SIMS.

تؤمن منظومات مطيافية الكتلة الحديثة فصلاً جيداً لنواتج عملية الرشرشة الأيونية المذكورة آنفاً، ومنها فلاتر الكتلة رباعية الأقطاب quadrupole mass filter، أو باستعمال طرائق زمن الطيران TOF، وتتفوق الأخيرة بدقة الفصل الكبيرة مع إمكانية فصل كتل عالية. يقوم مطياف الكتلة بفصل الأيونات الثانوية، حيث يفرزها تبعاً لنسبة الكتلة إلى الشحنة التي يشار إليها بالرمز m/e معبراً عنها بواحدة وحدة كتل ذرية amu ويقوم بحسابها. تعطي النسبة m/e دلالة على العنصر أو المركب بناءً على الوزن الذري أو الجزيئي، وتظهر بشكل قمة منفصلة في الطيف، ويعطي تعداد هذه القمة معلومات حول التركيز.

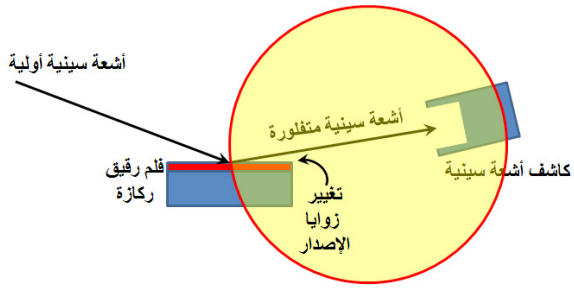
توفر تقنية SIMS مزيجاً فريداً من الحساسية العالية لجميع العناصر من الهدروجين إلى اليورانيوم بحدود كشف تصل حتى مستويات جزء في البليون ppt للعديد من العناصر، إضافة إلى إمكانية إجراء سبر للعمق بدقة مكانية عالية تصل لرتبة نانومتر، وهذه التقنية تخريبية بطبيعتها نتيجة حدوث عملية الرشرشة السطحية، ويمكن تطبيقها على أي نوع من المواد الصلبة، سواء كانت عوازل أم أنصاف نواقل أم معادن، وتجري في خلاء عال.

سبر العمق العنصري بتقنية التفلور بالأشعة السينية X-ray fluorescence (XRF)

تعدّ تقنيات الأشعة السينية أدوات أساسية حديثة من أجل توصيف المواد، ويعتمد مبدأ تقنية XRF على إثارة ذرات العناصر المكونة للعينة الهدف باستعمال حزمة أشعة سينية أولية صادرة عن منبع مشع أو من بلورة أشعة سينية، ويسبب تفاعل الإشعاع السيني الأولي انتزاع إلكترون من طبقة إلكترونية؛ مما يؤدي إلى حدوث فراغ في هذه الطبقة لا يلبث أن يملأ من قبل أحد الإلكترونات من الطبقات الأعلى، ويصدر الفرق في الطاقة على شكل فوتون أشعة سينية مميز ذي طاقة محددة.

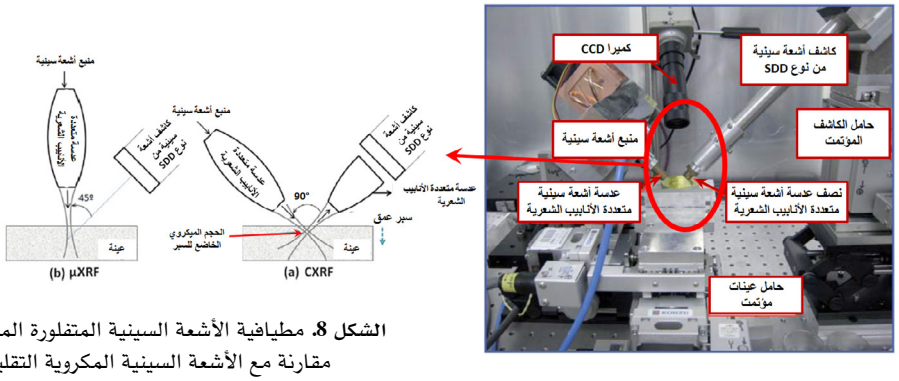
إن التحليل الذي تقدمه حزم الأشعة السينية المكروية μ-XRF بشكل خاص من أجل إجراء التحليل العنصري للمواد مفيد جداً نظراً للميزة اللاتخريبية لهذا التحليل مع الكشف المتعدد العناصر وبدقة عالية وحدود كشف تصل ما دون الجزء في المليون. طورت منظومات بصريات الأشعة السينية بشكل كبير خاصة تلك المتعلقة بعدسات الأشعة السينية المتعددة القنوات الشعرية polycapillary للوصول لأبعاد حزمة تصل ما دون الميكرون، وقاد هذ التطور لظهور الخرائط العنصرية السطحية ثنائية البعد باستعمال هذه الحزم المكروية، وقد توجه الاهتمام إلى أبعد من ذلك من أجل الحصول على خرائط عنصرية تشمل سبراً ضمن عمق العينات للحصول على خرائط عنصرية ثلاثية البعد، ولم يكن إجراء ذلك بالأمر السهل في البدء، حيث جرى اقتراح العديد من الوسائل، كان أولها طريقة قياس الأشعة السينية الصادرة عن العينة بزوايا كشف صغيرة جداً، وعندها يكون كشف الأشعة السينية المتفلورة حساساً عند سطح العينة، وتدعى هذه

الطريقة مطيافية الأشعة السينية ذات زوايا الكشف المماسية grazing-exit x-ray spectrometry، (انظر الشكل 7)، وتبعاً لذلك يسبب تغيير زاوية كشف الأشعة السينية في تغيير سبر العمق العنصري، حيث يسمح تغيير زاوية الكشف هذه بتغييرعمق المعلومات العنصرية التي تعطيها الأشعة السينية المتفلورة عندها، كما تعطي شدة الأشعة السينية المتفلورة المقيسة تحت زوايا إصدار مختلفة معلومات مختلفة حول توزع العناصر ضمن العمق، وإذا ما ترافق ذلك مع إجراء مسح الأشعة السينية على السطح فإن الحصول على خرائط عنصرية ثلاثية البعد هو أمر ممكن، ويمكن من التحكم بعمق السبر من رتبة النانومتر حتى المكرومتر، وجدير بالذكر أن هذه الطريقة في سبر العمق هي غير تخريبية للعينة، ومع ذلك من الصعب بشكل عملي إجراء تحليل انتقائي للعمق بشكل مباشر بوساطة هذه التقنية لأن شدة الأشعة السينية الصادرة بزاوية إصدار كبيرة تتضمن معلومات متداخلة عن كل السطح وما تحته؛ أي الشدة المقيسة تحتوي على معلومات متكاملة تنشأ عن كامل الحجم الذي تسبره الحزمة الأولية، وإن تغيير زاوية الكشف يغير فقط ترجيح المساهمات من أعماق مختلفة وبالتالي فإن التحدي الرئيس لهذه الطريقة هو إعادة بناء معلومات العمق من مجموعة بيانات كبيرة تشمل معلومات شدة التفلور التابعة لزاوية الكشف.



الشكل 7. مطيافية الأشعة السينية ذات زوايا الكشف المماسية.

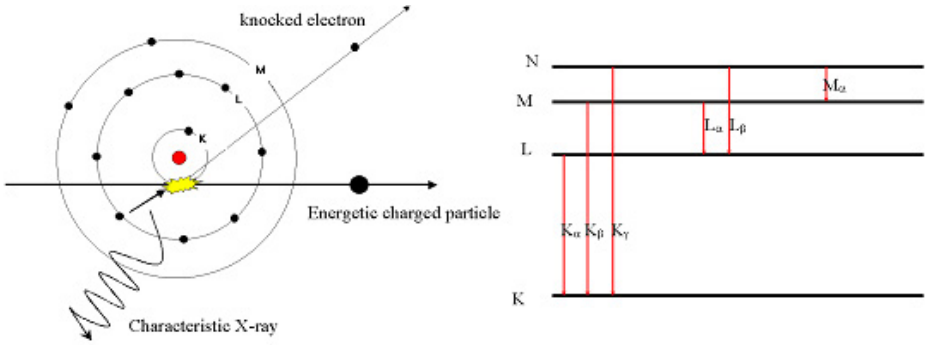
من جهة أخرى يسمح إجراء بعض التعديلات الهندسية وإضافة بعض التجهيزات الإضافية في جعل تقنية µ-XRF أكثر كفاءة وذات تحليل انتقائي للعمق في الأفلام الرقيقة، وفي هذا الترتيب تسقط الأشعة السينية الأولية ذات الحجم المكروي على العينة باستعمال منظومة بصرية تتضمن عدسة متعددة القنوات الشعرية polycapillary، ويجري تجهيز منظومة بصرية متجانسة ثانية متعددة القنوات الشعرية أمام كاشف الأشعة السينية، كما يجري ضبط نقطتي التبئير لكل من الشعاع الأولي الوارد والشعاع المتفلور لتكونا في الموقع المحرقي confocal نفسه وعلى العمق ذاته، وهو ما يسمى بـ "النقطة البؤرية" كما هو موضح في الشكل 8. وتسمح منظومة محركات خطوة مؤتمتة بدقة عالية تعديل موقع النقطة البؤرية ضمن العمق من أجل استنتاج معلومات العمق العنصرية ضمن حجم صغير من العينة من رتبة الميكرون المكعب بشكل غير تخريبي، وتسمى هذه الطريقة مطيافية الأشعة السينية المتفلورة المتحدة المركز confocal x-ray fluorescence. وفي ظل هذا الترتيب الهندسي ذي البؤرتين المتحدتين من الممكن الحصول على شدة XRF للتحليل في منطقة صغيرة مكانياً تؤدي إلى رسم خرائط عناصر ثلاثية الأبعاد دون تداخلات كتلك التي أشير إليها في الطريقة السابقة التي تعتمد على تغيير زوايا الورود للأشعة السينية الأولية، وتسمح المزاوجة بين العدسة المتعددة القنوات الشعرية وأنبوب الأشعة السينية المكروية المركزة بدقة، بالحصول على قدرة فصل مكاني تصل حتى عدة عشرات من الميكرومترات في القطر وذات شدة كافية لإجراء سبر عمق عنصري مخبرياً. وفي النهاية جدير بالذكر أن إشعاع مسرع السنكروترون هو أكثر المصادر المرغوبة لحزمة الأشعة السينية الدقيقة؛ لأنه يسمح بالحصول على أشعة سينية عالية الشدة وأحادية الطاقة. ومع ذلك، فإن مشكلة الحصول على وقت لإجراء التجارب ضمن منظومة ضخمة كهذه هو أمر بالغ الصعوبة، ناهيك عن التكلفة الباهظة لاستثمارها.



الشكل 8. مطيافية الأشعة السينية المتفلورة المتحدة المركز (a) CXRF مقارنة مع الأشعة السينية المكروية التقليدية µ-XRF (b).

تقنية مطيافية الأشعة السينية المتحرضة بجسيمات مشحونة particle induced X-ray emission (PIXE)

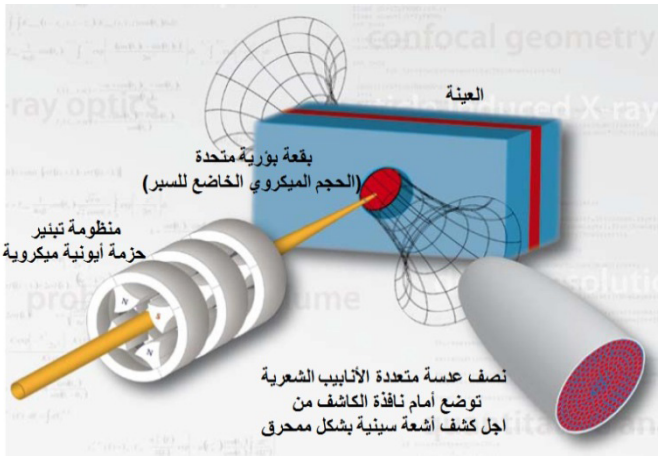
طورت تقنية إصدار الأشعة السينية بالجسيمات المشحونة PIXE على مدار الأربعين عاماً الماضية من أجل إجراء التحليل الكمي للمواد، وغطت مجالاً واسعاً للعناصر في الجدول الدوري بالكامل تقريباً بحدود كشف تصل إلى أقل من جزء في المليون، ويوضح الشكل 9 مخططاً للمبدأ العام لتقنية PIXE؛ إذ يعتمد مبدأ تقنية PIXE على إثارة ذرات العناصر المكونة للعينة الهدف بصدمها بجسيمات مشحونة ذات طاقة عالية غالباً ما تكون بروتونات أو جسيمات ألفا، ويحدث ذلك من خلال اصطدام الجسيم المشحون المسرع بأحد الإلكترونات الذرية نازعاً إياه من الطبقة الإلكترونية التي كان يشغلها؛ مما يؤدي إلى حدوث فراغ في هذه الطبقة، وبما أن الذرات في الطبيعة تميل إلى الاستقرار يقوم أحد الإلكترونات من الطبقات الأعلى بملء هذا الفراغ مصدراً الفرق في الطاقة على شكل فوتون ذي طاقة محددة، وتعادل الفرق في الطاقة بين السويتين.



الشكل 9. مخطط يوضح المبدأ العام لتقنية PIXE (على اليسار) مع خطوط الأشعة السينية الحاصلة لدى الانتقالات الإلكترونية (على اليمين).

أدى تطور منظومات الحزم الأيونية المكروية في الحصول على خرائط عنصرية ثنائية البعد لسطح العينات بدقة مكانية من رتبة المكرومتر. إن الوصول إلى خرائط عنصرية ثلاثية الأبعاد تدعم دراسة العمق باستعمال هذه التقنية ليس بالأمر البسيط وما زال العلماء يعملون للوصول إليها حتى يومنا هذا. جرى العديد من المحاولات المهمة في كثير من الدراسات التي تهدف إلى توفير منهجيات تحليلية لسبر العمق العنصري بهذه التقنية، وقد استثمرت معظم هذه الدراسات مبدأ تغيير زاوية ورود الجسيم المشحون وبالتالي تغيير عمق دخوله ضمن الفلم الرقيق المدروس، ومن ثم دراسة الارتباط القوي بين طاقة البروتون والمقطع العرضي لإصدار الأشعة السينية، وأدى ذلك إلى بروز منهجية جديدة تسمى تحليل PIXE التفاضلي differential PIXE في العقد الأخير من القرن الماضي. إن أكثر المواد دراسة في هذا المجال هي طبقات الطلاء وتصفيح الأدوات المعدنية الأثرية، وهذه الطريقة مناسبة للسبر العنصري في طبقات مختلفة، لكنها لا تحقق سبراً عنصرياً تفصيلياً في العمق.

فتح تطوير عدسات الأشعة السينية المتعددة القنوات الشعرية التي سبق ذكرها في الفقرة السابقة خلال العقد الماضي حقبة جديدة في مجال التحليل المجهري للأشعة السينية. وقد استثمرت هذه المنظومات البصرية في منظومات الكشف لتقنية PIXE أسوة بتلك التي أدخلت في منظومات كشف الأشعة السينية المتفلورة عن أشعة سينية مكروية أولية μ-XRF، وقد نقل مفهوم الترتيب الهندسي المتحد البؤر confocal geometry بنجاح إلى مجال تقنية PIXE المكروية μ-XRF من خلال وضع نصف عدسة متعددة الأنابيب الشعرية أمام كاشف الأشعة السينية والاستفادة من الدقة المكانية الممتازة التي توفرها منظومات الحزم الأيونية المكروية في تبئير الحزمة الأيونية الواردة (انظر الشكل 10)، كما أظهرت التطبيقات الأولى التي تستخدم حزمة البروتون المكروية في الخلاء وتحت الضغط الجوي إمكانيات هذه التقنية في تحليل المواد الطبقية من أجل سبرها في العمق، ودفعت ميزة المسح السطحي الخاصة بالحزم الأيونية المكروية إلى إجراء دراسات عنصرية ثلاثية الأبعاد، وطورت النماذج النظرية للتحليل الكمي في الترتيب الهندسي المتحد البؤر في تقنية μ-XRF، كما استثمرت تقنية confocal PIXE بنجاح في عدة دراسات كتلك المتعلقة بفلاتر الهواء aerosol من أجل الحصول على صور ثلاثية الأبعاد لجزيئات ملوثات الهواء الملتقطة ضمن هذه الفلاتر.



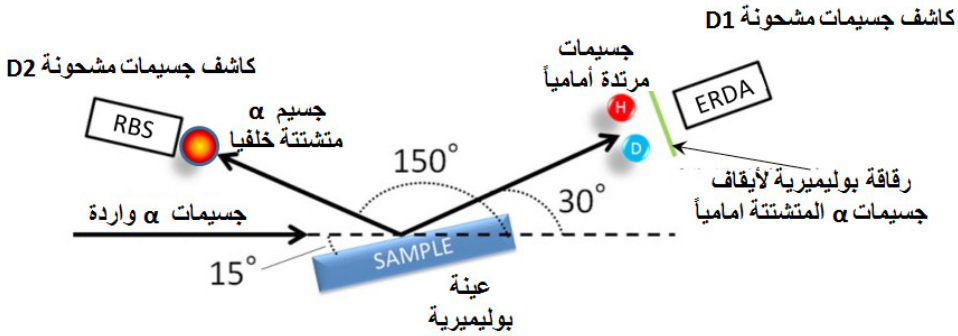
الشكل 10. الترتيب الهندسي لتقنية μ-XRF متحدة البؤر.

تقنيات التحليل العنصري بالحزم الأيونية المتعلقة بكشف جسيمات مشحونة

إذا ما تمّ قصف عينة بحزمة من الأيونات العالية الطاقة، فإن جزءاً صغيراً منها يخضع لتصادم مباشر مع نوى الذرات في الطبقة العلوية من العينة، ولا ينطوي هذا الاصطدام في الواقع على اتصال مباشر بين الأيون الساقط وذرة الهدف بل يحدث تبادل طاقي ينطوي على عملية تشتت للجسيمات بسبب القوى الكولونية بين النوى على مقربة بعضها من بعض، ويمكن نمذجة التفاعل بدقة على أنه تصادم مرن باستخدام قوانين الفيزياء الكلاسيكية، وتعتمد طاقة الجسيم المتشتت بزاوية معينة على عاملين رئيسيين؛ الأول فقدان الجسيمات لطاقتها أثناء مرورها عبر العينة قبل الاصطدام وبعده، ويعتمد مقدار الطاقة المفقودة على قدرة إيقاف تلك المادة stopping power، ويتمثل العامل الثاني في فقدان الجسيم للطاقة نتيجة الاصطدام نفسه، ويعتمد فقدان الطاقة بعملية الاصطدام على كتلة الجسيم الساقط وذرات المادة الهدف، وعندما يتشتت جسيم وارد ذو طاقة $E_{incident}$ وذو كتلة M_1 بشكل مرن عن نواة الهدف M_2 ضمن زاوية تشتت θ، فيمكن التعبير عن طاقته بعد التشتت $E_{scattered}$ عن طريق ما يسمى بالعامل الحركي kinematic factor، وهو النسبة بين طاقة الجسيم الوارد قبل التشتت وبعده، ويعطى بالعلاقة:

$$K = \frac{E_{scattered}}{E_{incident}} = \left[\frac{[1-(M_1/M_2)^2 \sin^2\theta]^{1/2} + (M_1/M_2)\cos\theta}{1+(M_1/M_2)}\right]^2$$

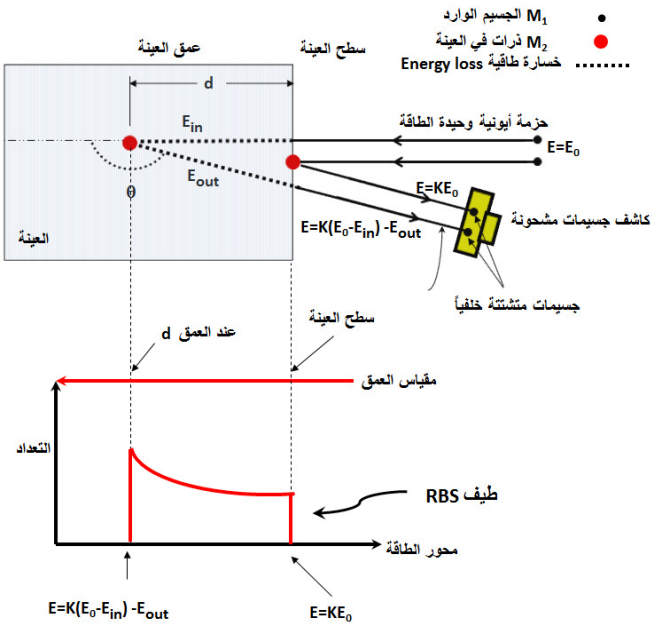
يساعد مفهوم العامل الحركي K في فهم آليات التشتت للأيونات عن نوى العناصر ضمن العينة المدروسة، وتبين حسابات العامل الحركي أن كشف الجسيمات المتشتتة ضمن زوايا خلفية يعزز من قدرة الفصل الطاقي بين الجسيمات المتشتتة عن ذرات مختلفة في الكتلة، ويعزز هذا الفصل بينها كتلياً، وقد أدى ذلك إلى ولادة مفهوم مطيافية التشتت المرن الخلفي لرذرفورد Rutherford backscattering spectrometry (RBS)، كما تبين الحسابات أن دقة الفصل الطاقي للعناصر تزداد بازدياد كتلة الأيون الوارد، وتصبح أفضل من أجل العناصر الثقيلة. ومن المهم الإشارة إلى أن عملية التشتت الخلفي لا تحدث إلا في نوى الذرات الأثقل في العينة من نوى ذرات الحزمة الأيونية الواردة، في حين ترتد نوى العناصر الأخف في العينة في مسارات أمامية وبطاقة كبيرة حيث تخضع لعملية ارتداد أمامي forward recoiling، وبالتالي لا يمكن اكتشاف هذه العناصر باستخدام RBS الكلاسيكي، ويمكن من خلال وضع كاشف جسيمات مشحونة في الاتجاه الأمامي تسجيل أحداث الارتداد الأمامية هذه، ويمكن قياس هذه العناصر الخفيفة كمياً باستخدام مبادئ RBS نفسها، ونتج عن ذلك ولادة تقنية جديدة رديفة لتقنية RBS وهي التحليل بكشف الارتداد المرن elastic recoil detection analysis (ERDA)، ويمكن الاستفادة من كشف هذه النوى المرتدة الخفيفة في الحصول على معلومات عنصرية قيمة عنها باستعمال كاشف جسيمات مشحونة موضوع في زاوية كشف أمامي بشكل متزامن مع وجود كاشف جسيمات مشحونة آخر موضوع باتجاه كشف خلفي، وتجري عادة إمالة العينة ضمن الحجرة التحليلية وإسقاط الحزمة الواردة عليها ضمن زاوية ورود معينة ووضع كاشفي جسيمات مشحونة بالترتيب الهندسي الذي يوضحه الشكل 11 ويضاف فلتر مناسب أمام كاشف الجسيمات المشحونة الخاص بتقنية ERDA من أجل كبح الجسيمات المتشتتة بزوايا أمامية والسماح فقط بمرور الجسيمات الخفيفة المرتدة أمامياً وبالتالي الحصول على طيف ERDA، وتجدر الإشارة هنا إلى أنه يجري تجميع الأيونات المتشتتة خلفياً للحصول على طيف التشتت الخلفي RBS بشكل متزامن مع الكاشف الأول.



الشكل 11. مخطط يبين الترتيب الهندسي لكواشف الجسيمات المشحونة ضمن الحجرة التحليلية لتجميع أطياف RBS وERDA بشكل متزامن.

وعندما تكون طاقة الأيونات الواردة كبيرة بشكل كاف بحيث تجتاز حاجز النواة الكولوني وتتفاعل معها، فإن الصدم يوصف بأنه غير مرن، وينتج عن هذا التفاعل نواتج تفاعل جديدة تتضمن نوى جديدة وجسيمات مشحونة جديدة وأشعة غاما ونترونات، إضافة إلى انتشار أو امتصاص كمية حرارة Q، ويعطي كشف هذه النواتج معلومات كمية ونوعية مهمة عن العناصر الموجودة ضمن العينة فيما يسمى تقنية تحليل التفاعل النووي nuclear reaction analysis (NRA). تجدر الإشارة إلى أن تقنية NRA هي أكثر حساسية من EBS بالنسبة للعناصر الخفيفة حيث إن المقاطع العرضية للتشتت صغيرة عليها مقارنة بالمقاطع العرضية الكبيرة للتفاعلات النووية نتيجة صغر الحاجز الكولوني لنواها، ويشار إلى أن تقنية NRA هي تقنية مكملة لتقنيتي RBS وERDA المذكورتين آنفاً، ويجري تجميع أطيافها جميعاً بشكل متزامن.

تمتلك تقنيات ERDA وNRA وRBS ميزة فريدة، وهي إمكانية الحصول على معلومات سبر العمق العنصري depth profiling في الأفلام الرقيقة بشكل غير تخريبي، ويوضح الشكل 12 كيف يمكن لتقنية RBS مثلاً تحديد مدى عمق ذرات عناصر معينة وتركيزها ضمن فلم رقيق متوضع على ركازة، وعندما تنتقل الأيونات الواردة عبر العينة من السطح إلى العمق فإنها تفقد طاقتها، وتُترجم هذه المعلومات في طيف EBS على النحو التالي؛ إذ تتوافق الحافة الطويلة اليمنى في كل قمة في الأطياف مع الأيونات المتشتتة عن السطح، وتفقد الأيونات التي تخترق العمق المزيد من الطاقة، وتكون طاقتها نتيجة التشتت أقل وتميل إلى اليسار في الطيف باتجاه الطاقات الأقل، وبالتالي فإن مقياس الطاقة في أطياف RBS (المحور الأفقي) هو مقياس لعمق الذرات في العينة في حين يقابل مقياس التعداد (المحور العمودي) كمية هذه الذرات في ذلك العمق.

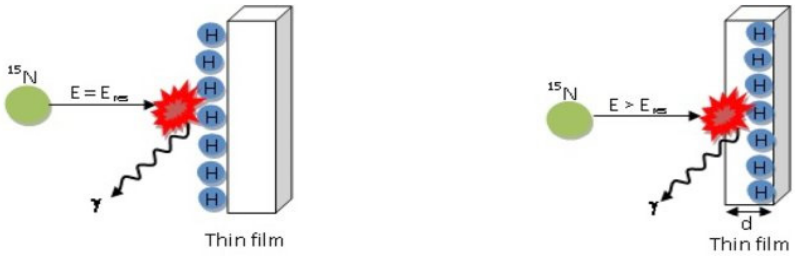


الشكل 12. توصيف طيف التشتت الخلفي RBS للحصول على معلومات سبر العمق العنصري.

تقنيات التحليل العنصري بالحزم الأيونية المتعلقة بكشف أشعة غاما لحظية

يمكن أن تؤدي التفاعلات النووية إلى ظهور نواتج تفاعل جديدة، كما أشير إلى ذلك سابقاً بما في ذلك إنتاج جسيمات مشحونة وأشعة غاما و/أو نترونات، ويمكن كشف نواتج التفاعل هذه باستعمال كواشف أشعة مناسبة لإعطاء معلومات عنصرية قيمة كون جميع نواتج التفاعل ناتجة عن تفاعلات مميزة بين الأيون الوارد ونوى ذرات العناصر الموجودة في العينة، وهي ذات طاقات محددة ومعروفة مسبقاً، ويمكّن كشف أشعة غاما اللحظية المتحرضة بالأيونات الواردة ومقارنة أطيافها الطاقية مع أطياف أشعة غاما للمواد المرجعية المختارة من إجراء تحليل كمي للحصول على تركيز العناصر الخفيفة تحديداً في العينة، وتسمى هذه التقنية تحليل أشعة غاما المتحرضة بالجسيمات particle induced gamma-ray emission (PIGE).

قد يترافق التفاعل النووي المترافق بإصدار أشعة غاما لحظية بحدوث طنين أي تجاوب عند طاقة محددة للجسيمة الواردة، وعندها يمكن استثمار هذا التفاعل التجاوبي في تحديد تراكيز العناصر الخفيفة على أعماق مختلفة عن طريق تغيير عمق حدوث التجاوب بتغيير طاقة جسيمات الحزمة الواردة، ويمكن تطبيق التفاعلات النووية التجاوبية بشكل رائع واستثنائي في سبر عمق الهدروجين مثلاً في الأفلام الرقيقة، ويعرض الشكل 13 على سبيل المثال طريقة إجراء سبر العمق العنصري للهدوجين باستثمار التفاعل النووي $^{1}H(^{15}N, \alpha\gamma)\ ^{12}C$؛ إذ يتم إرسال حزمة الـ ^{15}N بطاقة تعادل طاقة التجاوب 13.35 MeV لإحداث تفاعل تجاوب مع الهدروجين عند السطح وتجميع طيف أشعة غاما الناتجة عند القمة ذات الطاقة 4.43 MeV في طيف أشعة غاما، ثم يتم زيادة طاقة الحزمة بشكل مدروس بحيث تخضع لعملية تناقص في الطاقة ضمن العينة حتى تصل لطاقة التجاوب لكن على عمق معين في العينة، ويتم تجميع الطيف ثانية، ثم يتوالى إرسال الحزمة بطاقات متزايدة في كل مرة لإحداث تفاعل تجاوب على أعماق مختلفة، وتمكّن البرمجيات الحديثة المتعلقة بحسابات الخسارة الطاقية للحزمة الواردة من حساب العمق الذي يحدث عنده تفاعل التجاوب، وتربط بينه وبين تعداد أشعة غاما أي تركيز الهدروجين والحصول في نهاية المطاف على سبر العمق للهدروجين في العينة بطريقة مطلقة.



الشكل 13. طريقة إجراء الـ depth profiling للهدوجين باستثمار التفاعل النووي.

سبر العمق العنصري بالنترونات neutron depth profiling (NDP)

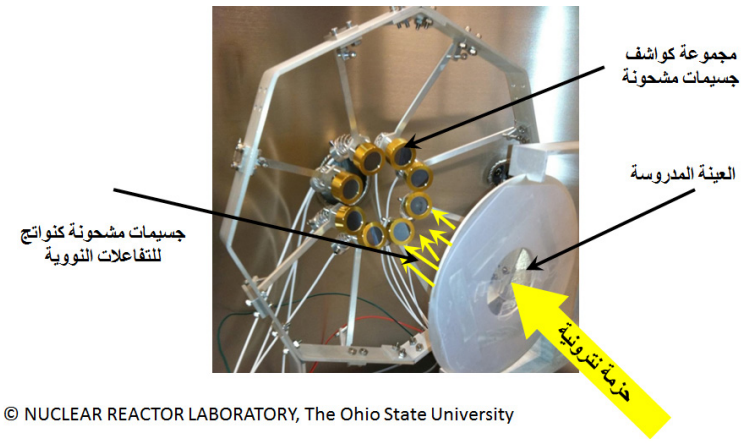
يعد سبر عمق الأفلام الرقيقة باستعمال النترونات NDP تقنية تحليلية سطحية تُستخدم بشكل شائع للحصول على معلومات التركيز لبعض العناصر الخفيفة كتابع للعمق في الأفلام الرقيقة ضمن أي ركازة، وقد اقترحت هذه التقنية أول مرة عن طريق العالم Ziegler من أجل تحديد تركيز شوائب البورون في ركائز السليكون، ثم طورت لاحقاً لتتحسن قدراتها التحليلية بشكل كبير. يمرّ في هذه التقنية شعاع نتروني حراري أو بارد عبر مادة ما، ويتفاعل مع النظائر فيها تفاعلاً نووياً ينتج عنه إصدار جسيمات مشحونة تكون عادة إما بروتونات أو جسيمات ألفا، إضافة إلى إصدار نواة عنصر متبقٍ كناتج إضافي للتفاعل النووي، وتنبعث الجسيمات المشحونة في جميع الاتجاهات، وتخضع لحركيات التفاعل النووي reaction kinematics. يعرض الجدول 1 أهم التفاعلات النووية للنترونات مع بعض نظائر العناصر والمعلومات المتعلقة بكل تفاعل.

نظراً لاستعمال نترونات منخفضة الطاقة فإنه لا يوجد انتقال كبير لشعاع الدفع من الحزمة النترونية إلى المادة، و يكون التحليل غير تخريبي عملياً، وتعطي الصفة المعتدلة كهربائياً للنترونات قدرة أكبر على سبر أعماق العينات دون الخضوع لتأثيرات الشحنات الكهربائية من إلكترونات أو نوى الذرات ضمن المادة، وهذا يمكّن من الحصول على معلومات ضمن أعماق أكبر من تلك التي تسبرها الجسيمات المشحونة الأولية كما سبق ذكره في الفقرة السابقة، وتتحرك الجسيمات المشحونة الناتجة عن التفاعل النووي مع حزمة النترونات الأولية عائدة نحو السطح، وتتباطأ أثناء عودتها نتيجة فقدانها للطاقة، ويرتبط مقدار فقدان الطاقة ارتباطاً مباشراً بالسماكة التي يخترقها

الجسيم المشحون وبمكونات المادة المدروسة، وبشكل عملي تقاس طاقات الجسيمات المشحونة الناتجة وناتج النواة المتبقية عند كل عمق بوساطة كاشف جسيمات مشحونة، ويتم الحصول على طيف يمثل المحور الطاقي الأفقي فيه مقياساً للعمق في حين يمثل المحور الآخر مقياساً لتعداد الحوادث ضمن زاوية صلبة محددة، والتي تعبر عن تركيز الذرة المتفاعلة ضمن المادة، ويتيح استعمال مجموعة من كواشف الجسيمات الصلبة المرتبة ضمن مصفوفة array كما هو موضح في الشكل 14 من زيادة الزاوية الصلبة للكشف عن الحوادث النووية الحاصلة؛ مما يزيد من كفاءة الكشف ويقلل زمن تجميع الأطياف. يمكن استنتاج عمق موقع التفاعل عن طريق استعمال البرمجيات الحديثة التي تأخذ بالحسبان معلومات قدرة الإيقاف ومعلومات الركازة matrix والشروط الهندسية والمقاطع العرضية للتفاعلات النووية وغيرها من المعلومات.

الجدول **1**. أهم التفاعلات النووية للنترونات مع بعض نظائر العناصر والمعلومات المتعلقة بكل تفاعل.

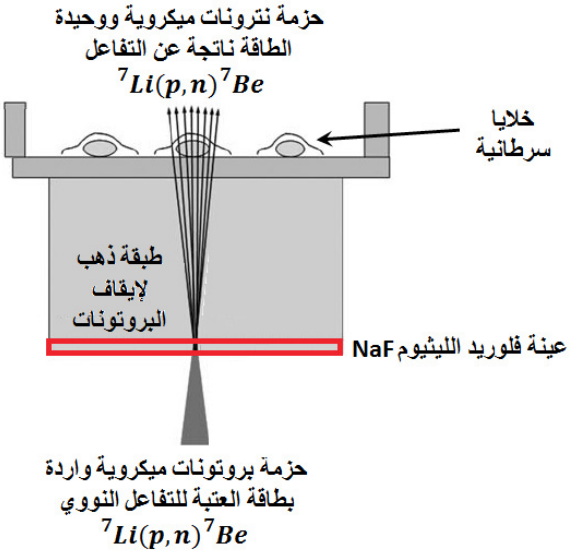
العنصر	التفاعل النووي	الوفرة النسبية %	عمر النصف	طاقة الجسيمات الصادرة		المقطع العرضي للتفاعل (Barn)	حد الكشف Atom/cm²
He	$^{3}He\ (n, p)\ ^{3}H$	0.00014	stable	572	191	533	1.01×10^{14}
Li	$^{6}Li\ (n, \alpha)\ ^{3}H$	7.5	stable	2055	2727	940	5.71×10^{14}
Be*	$^{7}Be\ (n, p)\ ^{7}Li$	$[2.5 \times 10^{14}]^{\dagger}$	53 d	1438	207	48000	1.12×10^{13}
B	$^{10}B\ (n, \alpha)\ ^{7}Li$	19.9	stable	1472	840	3837	1.40×10^{14}
N	$^{14}N\ (n, p)\ ^{14}C$	99.6	stable	584	42	1.83	2.93×10^{17}
O	$^{17}O\ (n, \alpha)\ ^{14}C$	0.038	stable	1413	404	0.24	2.24×10^{18}
Na*	$^{22}Na\ (n, p)\ ^{22}Ne$	$[4.4 \times 10^{15}]^{\dagger}$	2.6 y	2247	103	31000	1.73×10^{13}
S	$^{33}S\ (n, \alpha)\ ^{30}Si$	0.75	stable	3081	411	0.19	2.83×10^{18}
Cl	$^{35}Cl\ (n, p)\ ^{35}S$	75.8	stable	598	17	0.49	1.10×10^{18}
K	$^{40}K\ (n, p)\ ^{40}Ar$	0.012	stable	2231	56	4.4	1.22×10^{17}
Ni*	$^{59}Ni\ (n, \alpha)\ ^{56}Fe$	$[1.3 \times 10^{20}]^{\dagger}$	80,000 y	4757	340	12.3	4.37×10^{16}



الشكل 14. مبدأ تقنية NDP مع الترتيب الهندسي لكواشف الجسيمات المشحونة الناتجة.

تتنوع مصادر النترونات، ولعل أهمها تلك الصادرة عن المفاعلات النووية البحثية أو المسرعات الأيونية. يعد استثمار التفاعل النووي $^{7}Li(P, n)\ ^{7}Be$ طريقة معروفة للحصول على حزم نترونية لحظية، إنه تفاعل ماص للحرارة ولا يمكن حدوثه إلا إذا تجاوزت طاقة البروتونات الواردة قيمة العتبة البالغة 1882.42 keV، وعندها تتركز النترونات المتحرضة في اتجاه الحزمة الواردة بشكل كامل وبطاقة وحيدة، ومع زيادة الطاقة فوق قيمة العتبة يحدث انتشار زاوي للنترونات عند الزوايا الأمامية، ويشكل إنتاج النترونات بطاقة وحيدة وباتجاه وحيد عند طاقة العتبة للبروتون ميزة استثنائية لهذا التفاعل، كما يمكن إسقاط حزمة أيونية من مسرع أيوني ذات أبعاد مكروية micro-beam على هدف من الليثيوم وإجراء مسح أيوني عليه، وهذا يسبب إصدار حزمة نترونات تبعاً للتفاعل $^{7}Li(P, n)\ ^{7}Be$ ذات أبعاد مكروية قابلة للمسح تبعاً لحركة البروتونات الأولية الساقطة، وهو أمر يصعب تحقيقه بالمنابع النترونية التقليدية. يظهر الشكل 15 مخططاً لإنتاج حزمة نترونية وحيدة الطاقة بأبعاد مكروية يمكن استثمارها في عدة تطبيقات كتلك التي يمكن إسقاطها على خلايا سرطانية من أجل معالجتها

بتقنية الأسر النتروني بالبورون boron neutron capture therapy (BNCT)، كما يمكن الحصول على خرائط عنصرية سطحية أو ثلاثية البعد لعينات مختلفة بدقة مكانية من رتبة الميكرون باستعمال حزمة النترونات المكروية الناتجة عن التفاعل المذكور.



الشكل 15. إنتاج حزمة نترونية وحيدة الطاقة بأبعاد مكروية تسقط على خلية سرطانية.

تعدّ العناصر الخفيفة مثل الهليوم والليثيوم والبورون والنتروجين مكونات أساسية في المواد التي تتيح تخزين الطاقة وفي بطاريات أيون الليثيوم والعوامل الحفازة والخلايا الشمسية ومواد الاندماج النووي. تمتاز طريقة NDP بحساسيتها العالية لكشف نوى العناصر الخفيفة المستقرة منها والمشعة وبحدود كشف تصل ما دون الجزء في المليون، وتعدّ مثالية من أجل سبر هذه العناصر الخفيفة في المواد المذكورة؛ فعلى سبيل المثال يتيح استعمال حزمة مركزة من النترونات الباردة الحصول على توزيع الليثيوم بشكل ديناميكي أثناء عمليات شحن بطاريات الليثيوم وتفريغها بشكل متكرر، وبهذه الطريقة تمكن الباحثون من تحسين أداء هذه البطاريات، وقد استثمرت هذه التقنية بكفاءة في دراسة العناصر الخفيفة الأخرى مثل البورون في المواد السليكونية وتقصّي المواد العازلة ضمن أنصاف النواقل ودراسة الألياف البصرية واحتباس الهيليوم في مواد الاندماج ضمن المفاعلات وتحديد التوزعات العنصرية في الزجاج ودراسة الطبقات الخارجية الرقيقة. أخيراً تمتاز طريقة NDP بحساسيتها العالية لكشف نوى العناصر الخفيفة المستقرة منها والمشعة وبحدود كشف تصل ما دون الجزء في المليون.

المراجع

- Bubert H, Jenett H (2002). Surface and Thin Film Analysis: Principles, Instrumentation, Applications. Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany.
- Czanderna AW, Madey TE, Powell CJ (2002). Beam Effects, Surface Topography, and Depth Profiling in Surface Analysis. Kluwer Academic Publishers (KAP), Alphen aan den Rijn, Netherlands.
- Riviere JC , Myhras S (2009). Handbook of Surface and Interface Analysis: Methods for Problem-Solving. CRC Press, Boca Raton, USA.
- Seah M and Chiffre L (2006). Surface and Interface Characterization. In: Springer Handbook of Materials Measurement Methods. Springer Handbooks (eds Czichos H, Saito T, Smith L). Springer, Berlin/Heidelberg, Germany.

تأليف: **د. محمد صلاح ريحاوي**، قسم الفيزياء، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

العلاج بالأضداد وحيدة النسيلة كتدخل علاجي فعال لمرض كورونا المستجد COVID-19

شهد العقد المنصرم انتشار العديد من الأوبئة ذات المنشأ الفيروسي والتي مثلت تهديداً خطيراً للحياة البشرية بما في ذلك ثلاثة أنواع من عائلة الفيروسات التاجية الشديدة العدوى وهي: MERS-CoV وSARS-CoV ومؤخراً الحالة المرضية المصاحبة للعدوى بفيروس كورونا المستجد SARS-CoV-2 والمسماة بـ COVID-19، وقد بينت الدراسات المتلاحقة بوجود أوجه شبه عديدة فيما بين السمات السريرية والوراثية والوبائية للفيروسات المذكورة وبالتالي فإن التطورات والنتائج البحثية الخاصة في علاج العدوى بـ SARS-CoV قد تساعد في فهم إمراضية فيروس كورونا المستجد وتطوير وسائل علاجية أو وقائية فعالة لمكافحة العدوى. تمثل الأضداد وحيدة النسيلة monoclonal antibodies الفئة الرئيسية من الأدوات الحيوية النوعية للعلاج المناعي المنفعل حيث تم إثبات الإمكانات العلاجية الهائلة لهذه الأضداد في الكشف عن العديد من الأمراض بما فيها MERS-CoV وSARS-CoV وعلاجها، وفي المقالة الحالية نلخص التدخل العلاجي المحتمل لـ COVID-19 المستند إلى الأضداد وحيدة النسيلة من خلال النظر في المعرفة الحالية حول قدرة الأضداد على تحييد فيروسات كورونا المماثلة لـ SARS-CoV وMERS-CoV، كما يمكّن المزيد من البحث عن أسباب العدوى بـ COVID-19 من تحديد الأهداف العلاجية المناسبة لتطوير مضادات فيروسات نوعية ضد هذا العامل المرض الناشئ حديثاً.

الكلمات المفتاحية: فيروس الكورونا، داء السارس، المُستقبِل الخلوي ACE2، الأضداد وحيدة النسيلة، تحييد، المعالجة.

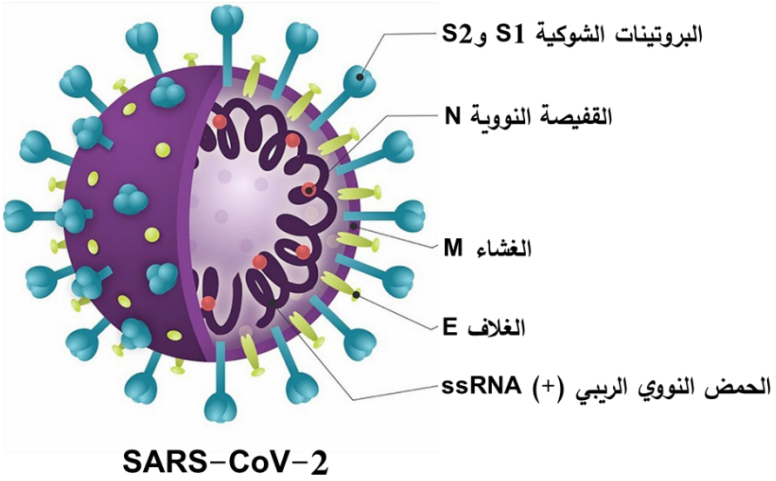
مقدمة

مع مطلع القرن الحادي والعشرين تمكن نوعان من الفيروسات التاجية corona viruses هما فيروس كورونا المسبب للمتلازمة التنفسية الحادة الوخيمة severe acute respiratory syndrome (SARS-CoV) وفيروس كورونا المسبب للمتلازمة التنفسية الشرق أوسطية middle east respiratory syndrome (MERS-CoV) من عبور حاجز التنوع الحيوي فيما بين الحيوانات والبشر؛ مما أدى إلى انتشار عدوى تتميز بحدوث التهابات مميتة في الجهاز التنفسي، وفي أواخر عام 2019 تم الإبلاغ عن حالات التهاب رئوي مجهولة السبب في مدينة ووهان بمقاطعة هوبي بالصين واكتُشف لاحقاً أنها ناجمة عن فيروس ثالث ينتمي لعائلة فيروسات الكورونا SARS-CoV-2 يمكنه الانتقال من شخص لآخر. لقد انتشر الوباء الذي يُطلق عليه الآن داء كورونا-2019 (COVID-19) بسرعة وتحول إلى جائحة عالمية تهدد حياة البشر واقتصادات الدول، حيث تم لغاية تشرين الثاني من عام 2021 تسجيل ما يقارب 261 مليون إصابة وأكثر من 5 ملايين حالة وفاة في مختلف

أنحاء العالم، ومن الجدير بالذكر رغم الاعتقاد الشائع بأن فيروس SARS-CoV-2 قد نشأ وتطور في الخفافيش إلّا أن المصدر الدقيق لنشوئه والخزان الحيوي للفيروس وأنماط انتقال العدوى تظل غير مؤكدة، ومن جهة أخرى فإن التداعيات الخطرة المتكررة لفيروسات كورونا في البشر إلى جانب اكتشاف العديد من فيروسات كورونا في الخفافيش بما في ذلك العديد من فيروسات كورونا المرتبطة بالسارس SARSr-CoVs قد تشير إلى احتمال استمرار ظهور جوائح جديدة في المستقبل ذات منشأ حيواني.

التوصيف الجزيئي للفيروسات التاجية

تنتمي الفيروسات التاجيّة لعائلة family Coronaviridae وتحت العائلة Orthocoronavirinae subfamily وتضم مجموعة كبيرة من الفيروسات المتنوعة ظاهرياً phenotypically ووراثياً genotypically، ويمكن أن تسبب العدوى في الطيور والثدييات بما فيها البشر. إن الفيروسات التاجية عبارة عن فيروسات مغلّفة enveloped تتألف مادتها الوراثية من شريطة أحادية الجديلة من الحمض النووي الريبي RNA موجب التوجه single-stranded positive-sense RNA والمرمّز إلى البروتينات الهيكلية structural وغير الهيكلية non-structural، حيث تؤدي البروتينات الهيكلية كالغشاء M والغلاف E وبروتينات القفيصة النووية N والبروتين الشوكي S دوراً مهماً في آلية اقتحام الفيروس لخلايا العائل وتكاثره داخلها كما هو موضح في الشكل 1.



الشكل 1. بنية الفيروس SARS-CoV-2. يتكون الفيروس بشكل أساسي من البروتينات الهيكلية كالبروتينات الشوكية S والغشاء M والغلاف E وبروتينات القفيصة النووية N. تحاط البروتينات S وM وE بالغلاف الفيروسي، وهو عبارة عن طبقة ثنائية الدهون مشتقة من غشاء خلية العائل. يرتبط البروتين N مع الحمض النووي الريبي الفيروسي RNA في لب الفيروس.

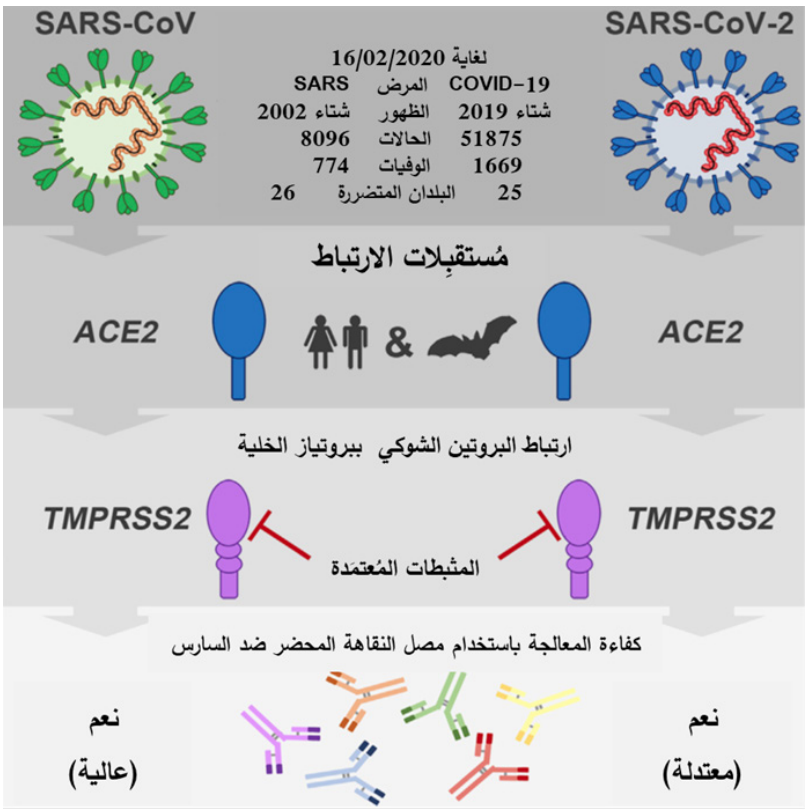
الأعراض وطرق العدوى

تحدث العدوى بالاتصال المباشر من إنسان لإنسان وبالرذاذ المنبعث من الجهاز التنفسي للمريض، وقد وثّق العديد من التقارير والملاحظات الطبية ظهور عدد من الأعراض لدى الإصابة تتراوح من خفيفة إلى حادة، ولكن من الملاحظ أن العارض الرئيسي لداء كورونا المستجد هو متلازمة ضيق التنفس الحادة acute respiratory distress syndrome (ARDS) تماماً كالأعراض الناجمة عن فيروسي SARS-CoV وMERS-CoV. تظهر الأعراض عادة بعد طور الحضانة الممتد من 2-14 يوماً من التعرض للفيروس وتشمل الحمى والسعال وضيق التنفس والالتهاب الرئوي، وفي الحالات الشديدة تظهر مضاعفات تنفسية وكبدية وجهازية معوية وعصبية يمكن أن تؤدي إلى الوفاة.

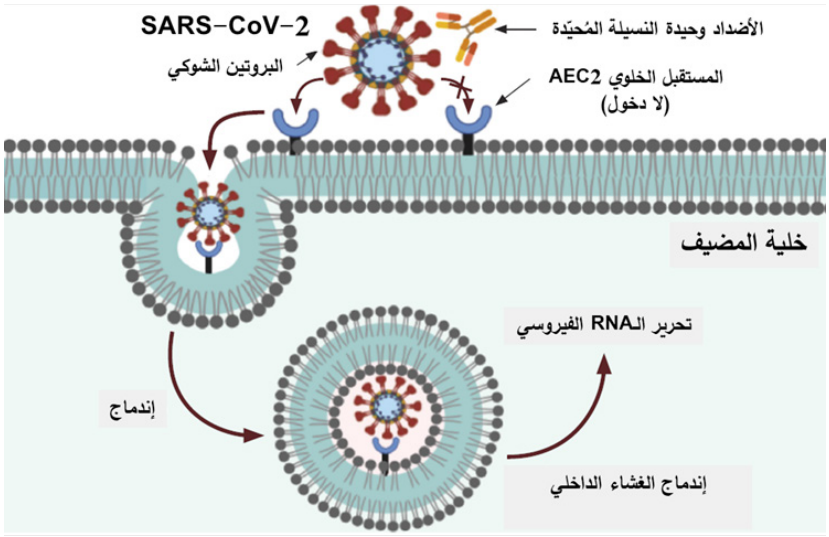
فيروس جديد لكنه مُستقبِل مألوف

نظراً إلى معدل الوفيات المرتفع لـ COVID-19 –أي ما يعادل 6.7% في جميع أنحاء العالم– فقد بات من الملح تطوير طرق علاجية فعالة ذات جودة عالية لدرء هذا الوباء، وفي هذا الإطار أُجري العديد من الأبحاث العلمية للتعرف على بنية الفيروس وعوامل ضراوته حيث بينت النتائج الخاصة بالتوصيف الجيني والوبائي وجود نسب من التشابه بين التسلسل الجيني genome sequence للفيروس SARS-CoV-2 مع فيروسي الكورونا الآخرين؛ إذ بلغت نسبة المطابقة الجينية حوالي 80% مع الفيروس SARS-CoV و50% مع MERS-CoV. ومن المثير للاهتمام أن SARS-CoV-2 قد تطابق بنسبة 90% تقريباً على مستوى كامل الجينوم مع اثنين من فيروسات كورونا الخفافيش

وهما bat-SL-CoVZC45 وbat-SL-CoVZXC21 واللذين تم اكتشافهما شرق الصين، ومن ناحية أخرى بينت الاختبارات الخاصة بسلسلة البروتينات protein sequencing أن للفيروس SARS-CoV-2 سبعة مجالات محفوظة غير هيكلية conserved non-structural domains تماماً كالفيروس SARS-CoV مما يشير إلى أن كلا الفيروسين التاجيين متقاربان إلى حد كبير. إضافة إلى ذلك يحتوي SARS-CoV-2 على بنية لمجال الارتباط بالمستقبلات receptor-binding domain (RBD) مماثلة لتلك الموجودة في SARS-CoV كما هو موضح في الشكل 2 رغم التباين في بعض ثمالات الأحماض الأمينية الرئيسية، كما لوحظ أن SARS-CoV-2 يرتبط بالمُستقبِل الخلوي للأنزيم المحول للأنجيوتنسين angiotensin converting enzyme II ACE2 لاجتياح خلايا العائل وغزوها والتسبب بالعدوى تماماً كالفيروس SARS-CoV (انظر إلى الشكل 3)، ولتأكيد التشابه في مسار العدوى بين الفيروسين SARS-CoV وSARS-CoV-2 أُجري عدد من اختبارات عدوى الفيروس على مستنبتات خلوية ذات أصول بشرية وحيوانية في الزجاج *in vitro* وذلك بتعريض طبقات من الخلايا للعدوى بالفيروس SARS-CoV-2 متضمنة الخط الخلوي البشري HeLa cell line ببنيتها الطبيعية أو نظيرتها المعدلة وراثياً؛ حيث تفقد القدرة على عرض المُستقبِل الخلوي ACE2 على سطحها، وتبين أن الفيروس استطاع دخول الخلايا التي تعرض المُستقبِل ACE2 وإحداث العدوى في حين لم يستطع دخول الخلايا المعدلة وراثياً والفاقدة للمستقبل ACE2، كما بيّنت التجارب المناعية أن الأضداد النوعية والمحضرة ضد المسُتقبل الخلوي البشري ACE2 تمكنت من تحييد neutralization ومنع ارتباط الفيروس بالمُستقبل الخلوي كما في الشكل 3، مما يشير إلى أنه كنظيره الفيروس SARS-CoV فإن SARS-CoV-2 يستخدم فقط جزيئات المُستقبِل ACE2 كموقع للارتباط وإحداث العدوى في الخلايا. من ناحية أخرى بينت بعض الدراسات المشابهة بأن SARS-CoV-2 لم يستطع اقتحام الخلايا الفاقدة للمُستقبِل ACE2 والمعدلة وراثياً حيث تعرض على سطحها أحد المُستقبَلين dipeptidyl peptidase 4 (DPP4) أو aminopeptidase N (APN) الضروريين لاقتحام الفيروسين MERS-CoV وHCoV-229E، على التوالي. لقد اتضحت وبشكل واف الاستراتيجيات التي يتبعها SAR-CoV-2 لإحداث العدوى، ويستخدم الفيروس المنطقة S1 region من البروتين الشوكي S protein للارتباط بالمستقبل الخلوي للكائن المضيف ومن ثم يحدث اندماج فيما بين غشائي الفيروس والخلية المضيفة باستخدام الموقع الثاني S2 region subunit للبروتين الشوكي، تتطلب هذه الآلية تدخل عدد من الأنزيمات والبروتينات المنتَجة من خلايا العائل كأنزيم transmembrane serine protease 2 (TMPRSS2) اللازم لإنفلاق cleavage البروتين الشوكي S عند حدود الوحدات الفرعية S1 وS2 كما هو موضح في الشكلين 2 و3.



الشكل 2. مقارنة بين فيروسي SARS-CoV وSARS-CoV-2. شكلت العدوى بهذين الفيروسين تهديداً خطيراً للصحة العامة والحياة البشرية. وقد بينت تجارب هوفمان وزملائه –أنه كما هو الحال بالنسبة لـ SARS-CoV- أن العدوى بـ SARS-CoV-2 تعتمد على المُستقبِل الخلوي السطحي ACE2 وTMPRSS2 للعائل كما هو حال العدوى بالفيروس SARS-CoV، ومن الممكن تحييد الفيروسين وحصارهما باستخدام الأضداد النوعية.



الشكل 3. آلية غزو الفيروس SARS-CoV-2 لخلايا العائل وإمكانية تثبيطها بالأضداد وحيدة النسيلة. يتطلب الغزو ارتباط البروتين الشوكي الفيروسي S مع المستقبل الخلوي ACE2 مما يسمح بحدوث الاندماج الغشائي membrane fusion وغزو الفيروس لخلية العائل، وبالمقابل يمكن منع الارتباط باستخدام الأضداد وحيدة النسيلة التي تستهدف البروتين الشوكي وبالتالي منع عملية الغزو.

التدخلات العلاجية لداء الكورونا

منذ نشوء الوباء بُذلت جهود كبيرة لتطوير تدخلات علاجية فعالة ضد عدوى فيروس كورونا، حيث ركّز العديد من الأبحاث على تحديد الجزيئات المناعية الذاتية المضادة antibodies التي تستهدف البروتين الشوكي للفيروس –على اعتبار أن هذا البروتين يعد من أهم العوامل الممرضة والذي يتوسط mediate دخول عدوى الفيروس لخلايا العائل– وقدرتها على تحفيز الاستجابة المناعية وتحسينها لدى الأفراد المصابين. في الحقيقة ولاعتبارات عدة منها عدم وجود وقت كاف للتقييم والنقص في التمويل ولكثرة متحورات الفيروس لم يتم الاعتماد بشكل نهائي على أي من اللقاحات المنتجة أو الأدوية النوعية لعلاج هذا الداء، بل يركز النهج الحالي في إدارة داء الكورونا على تقديم اللقاحات ذات الفعالية الجزئية وأدوية الرعاية الداعمة، وتعد التدخلات السريعة للصحة العامة باستخدام الأضداد أو الأدوية المضادة للفيروسات أو استراتيجيات اللقاح الجديدة ضرورية للغاية لاحتواء الفيروس وانتقال المرض حيث تعد المعالجة المناعية المنفعلة passive immunotherapy من الطرائق الواعدة في هذا المجال، ويمكن للتحصين المنفعل passive immunization أن يخفف من شدة العدوى والتقليل من تكاثر الفيروس في المريض وذلك لأن الأضداد النوعية تستطيع التعرف على مواقع المعينات المستضدية epitopic regions للفيروس الغازي وحصارها مما قد يؤدي إلى تحييد الفيروس، ويمكن عزل الأضداد للعلاج المناعي المنفعل من دماء المرضى المصابين أو يمكن تصنيعها مخبرياً حيث يعد العلاج المناعي المنفعل فعالاً في تحييد الفيروس لدى البشر ومنع المزيد من العدوى ويتم ذلك عن طريق نقل مصل النقاهة convalescent sera المتمثل بالنقل المبكر لبلازما النقاهة أو الغلوبولين المناعي immunoglobulin من المرضى أو من أولئك الذين تحتوي دماؤهم على عيار عال من الأضداد بعد الشفاء إلى مرضى مصابين، وبناءً على الأدلة العلمية المثبتة والخبرات السابقة في علاج عدد متنوع من العدوى الفيروسية الأخرى كالإنفلونزا والسارس ومتلازمة الشرق الأوسط التنفسية والإيبولا، فمن المحتمل أن يقلل هذا الأمر من الحمولة الفيروسية ومعدل الوفيات لدى الإصابة بفيروس كورونا المستجد ولكن كما في جميع الطرائق العلاجية يوجد عدد من التحديات التي يجب حلّها قبيل الشروع باستخدام المعالجة المناعية المنفعلة ومصل النقاهة على نطاق واسع مثل توافر عدد كافٍ من المتبرعين والحالة السريرية للمريض والحركية الفيروسية viral kinetics والتفاعلات فيما بين الكائن المضيف والفيروس، وبالرغم من التطورات الملموسة والخاصة بتطوير استراتيجيات تدخل وقائية وعلاجية محددة بما في ذلك اللقاحات والأضداد وحيدة النسيلة والببتيدات وعلاجات الإنترفيرون interferons والأدوية صغيرة الجزيئات small-molecule drugs لمكافحة داء الكورونا فقد يتطلب الأمر شهوراً وسنوات لاختبار فعالية الأدوية المقترحة مخبرياً *in vitro* أو في حيوانات التجارب وهذا يستند بشكل كبير على نتائج التجارب السريرية، إلاّ أن التقارب الوراثي الملحوظ فيما بين SARS-CoV-2 وSARS-CoV قد يجعل من السهل الاستفادة من المعرفة الحالية وتكييف اللقاحات أو النماذج العلاجية المتاحة التي تم تطويرها ضد فيروسات كورونا الأخرى لاستهداف الجوانب الفريدة لـ SARS-CoV-2.

المعالجة المناعية المنفعلة

تعد المعالجة المناعية المنفعلة من طرائق العلاج الفعالة في علاج العديد من الأمراض المعدية وغير المعدية وجاءت تقنية إنتاج الأضداد وحيدة النسيلة كطريقة حديثة مثلت حقبة جديدة وأداة متطورة للعلاج المناعي. لقد أدى إدخال monoclonal antibodies (Mabs) في البروتوكولات العلاجية للأمراض المعدية والسرطانات إلى تحسن كبير في نوعية الاستجابة العلاجية وإلى التغلب على العديد من العوائق المتعلقة باستخدام الأمصال serums البشرية في العلاج وتحضير الغلوبولينات المناعية للحقن الوريدي كالنوعية والنقاوة وانخفاض مخاطر إصابة المرضى بعدوى نتيجة تلوث الأمصال المستخدمة في العلاج وارتفاع مستوى الأمان الحيوي للجزيئات العلاجية. لقد تم إدخال الـ Mabs كمستحضرات دوائية واستخدامها بنجاح من قبل شركات صناعة الأدوية حيث يمكن أن توفر تدخلاً علاجياً فعالاً ذا نوعية عالية تستهدف فقط الخلايا والأعضاء المريضة كما تم تطوير العديد من الـ Mabs كمستحضرات دوائية لعلاج العديد من الأمراض ذات المنشأ الفيروسي.

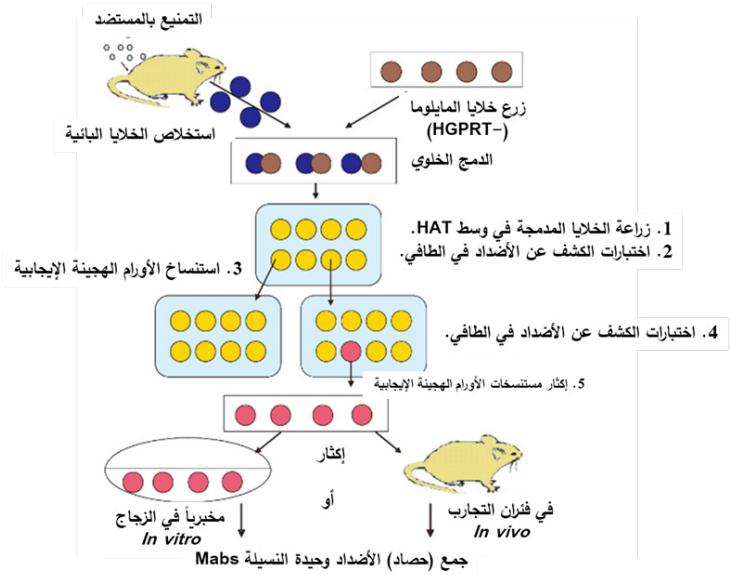
توصيف الضد antibody

الضد والمعروف أيضاً بالغلوبولين المناعي immunoglobulin عبارة عن جزيء بروتيني سكري glycoprotein ضخم نسبياً عادة ما يتخذ شكل حرف Y، يُنتج من قبل نوع من الخلايا المناعية تسمى خلايا البلاسما plasma cells المشتقة من الخلايا البائية B cells بهدف التعرف على العناصر غير الذاتية للكائن الحي أي مسببات الأمراض والأجسام الغريبة والقضاء عليها، ويتكون الضد بشكل أساسي من منطقتين أساسيتين ترتبطان مع بعضها بروابط كبريتية disulfide bounds؛ الأولى منطقة fragment antigen binding (Fab) وتؤلف ذراعي شكل الـ Y للضد وهي المنطقة التي ترتبط مع العوامل الممرضة والمنطقة الثانية fragment crystallizable (Fc) وتؤلف قاعدة شكل Y، وهي المنطقة التي ترتبط مع مختلف الجزيئات المناعية والتي تحدد نوع الاستجابة المناعية ضد العوامل الممرضة، وبسبب تنوع الخواص البيولوجية والوظيفية فقد قسمت الأضداد إلى فئات وهي: IgA ولها نوعان وIgD ولها نوع واحد وIgE ولها نوع واحد و IgG ولها أربعة أنواع وIgM ذات نوع واحد إضافة إلى IgY التي وجدت عند الطيور والزواحف ولها نوع واحد وIgW الموجودة لدى القروش وبعض الأسماك الأخرى، وللأضداد داخل جسم الكائن الحي وظائف مهمة يمكن تلخيصها كما يلي: **1)** تحييد العوامل الممرضة عبر الارتباط بالمعينات المستضدية على سطح العوامل الممرضة وبالتالي إبطال عملها، **2)** تجميع الكائنات الممرضة ضمن كتلة واحدة جذابة للخلايا البالعة أي تفعيل التراص agglutination، **3)** ترسيب المستضدات المنحلة في المصل وتجميعها في كتل جذابة للخلايا البالعة، **4)** تفعيل عمل المتممة complement activation حيث يؤدي ارتباط الأضداد بالكائنات الغازية إلى مهاجمتها بواسطة مركب الهجوم الغشائي membrane attack complex، **5)** المساهمة في تنشيط خلايا الذاكرة المناعية وتفعيلها. لقد استفاد العلماء من الخواص المهمة للأضداد وتم البدء باستخلاصها من مضادات الأمصال antiserum ومن ثم إنتاجها مخبرياً في الزجاج من خلال تطبيق تقنية إنتاج الأضداد وحيدة النسيلة واستخدامها في مختلف الأبحاث والتطبيقات البيولوجية.

تقنية إنتاج الأضداد وحيدة النسيلة

تستند عملية إنتاج الأضداد وحيدة النسيلة إلى مبدأ الدمج الخلوي cell fusion حيث إن لصق خليتين معاً وإحداث اتصال فيما بين غشاءيهما يؤدي إلى دمجهما والحصول مبدئياً على خلية واحدة غير مستقرة بنواتين تدعى heterokaryon، ولاحقاً تدمج النواتان ببعضهما لتتشكل خلية جديدة تسمى الورم الهجين hybrid وتحتوي الخلية الجديدة على المعلومات الوراثية من كلا الخليتين الأم كما هو مبين في الشكل 4. لقد استفاد العالمان Kohler وMilstein عام 1975 من هذه الخاصية وقاما بإنتاج أول أضداد وحيدة النسيلة، ونتيجة لذلك حصلا على جائزة نوبل عام 1984؛ مما فتح الباب لعدد كبير من مراكز البحث العلمي لإنتاج هذه الأضداد النوعية وتطويرها. لقد تم البدء فعلياً بإنتاج الأضداد وحيدة النسيلة وتحسينها في منتصف الثمانينيات، ومنذ التسعينيات أدخلت الأضداد بشكل كبير في إنتاج أطقم التشخيص المخبري ولاحقاً أنتج عدد كبير من الأضداد التي تستخدم في علاج مختلف أنواع السرطانات والأمراض المعدية خاصة في الولايات المتحدة وأوروبا حيث تضخ استثمارات هائلة في هذا المجال تقدر بعشرات المليارات من الدولارات. إن الأضداد وحيدة النسيلة عبارة عن أضداد عالية الألفة متماثلة ومنتجة بكميات كبيرة يمكنها الارتباط والتعرف على معين مستضدي epitope محدد ووحيد على سطح المستضد antigen على اعتبار أنها ناشئة من مستنسخ clone خلية بائية واحدة يسمى بالورم الهجين أو هيبريدوما hybridoma، وتتم عملية إنتاج الهيبريدوما بواسطة دمج خلايا بائية سرطانية فأرية من نوع المايلوما myeloma غير منتجة للأضداد مع خلايا بائية

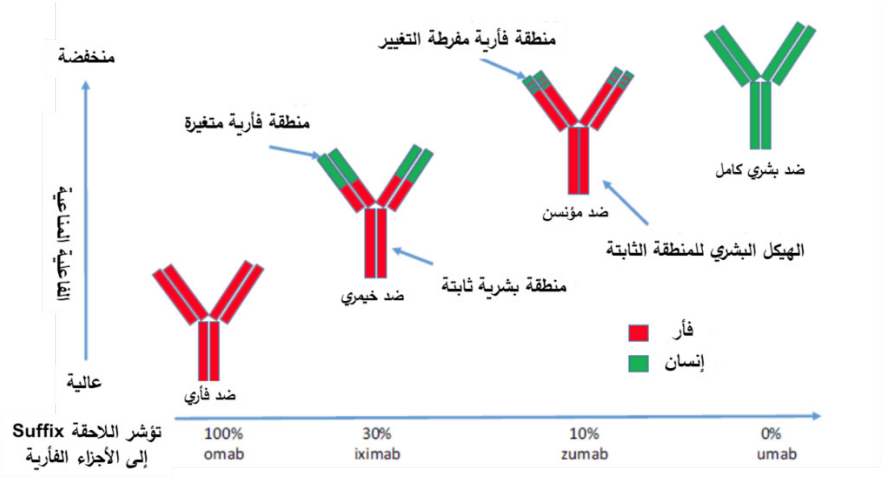
مستخلصة من طحال فأر الـ BALB/c ممنع بالمستضد الهدف حيث تتمتع الخلية المدمجة أو الهيبريدوما بخواص الخلايا الأم وهي القدرة على الانقسام بلا نهاية وبشكل متطابق كالمايلوما وبالوقت ذاته تتمتع بإنتاج الأضداد النوعية ذات الألفة العالية كالخلايا البائية للفأر الممنع (انظر إلى الشكل 4). تتميز المايلوما المستخدمة في تقنية إنتاج الأورام الهجينة بقدرتها فقط على اتخاذ الطريق التركيبي التجديدي *de novo* synthesis في تركيب البروتينات اللازمة لعمليات الانقسام ولا تستطيع اتخاذ الطريق الإنقاذي salvage pathway وذلك بسبب عوزها وعدم قدرتها على إنتاج الأنزيم hypoxanthine-guanine-phophoribosyl transferase (HGPRT)، وبالتالي عند تعريض الخلايا لنظير حمض الفوليك المسمى بالأمينوبترين aminopterin يُكبَح عمل الأنزيم dihydrofolate reductase (DHFR) ويمنع الخلايا من الانقسام. لقد استفاد الباحثون من هذه الخاصية للمايلوما بشكل كبير في ناتج عملية الدمج حيث إنه عند إضافة الوسط الانتقائي selective medium المحتوي على مركبات الهيبوكسانثين hypoxanthine والأمينوبترين aminopterin والتيميدين thymidine (HAT) لأوساط الاستنبات الخلوي سوف تنمو فقط الخلايا المدمجة المنتجة للأضداد وسوف تمنع خلايا المايلوما من الانقسام.



الشكل 4. مراحل إنتاج الأضداد وحيدة النسيلة. يتم أولاً تمنيع فئران التجارب بالمستضد الهدف ومن ثم تجرى عملية دمج خلوي لخلايا البلاسما من طحال الفأر مع خلايا المايلوما باستخدام مادة بولي إيثيلين غليكول PEG كعامل للدمج. تجرى عمليات غربلة لاختيار الأورام الهجينة hybridoma المنتجة للأضداد الهدف ويتم الحصول على كميات كبيرة من الـ Mabs إما من خلال تنمية الأورام الهجينة ضمن فئران التجارب أو بتنميتها على أوساط الاستنبات الخلوي الصنعية في المخابر.

للأضداد وحيدة النسيلة مزايا عديدة مما يعطيها تفوقاً واضحاً على نظيراتها كالأضداد الموجودة ضمن مضادات الأمصال أو الأضداد متعددة النسيلة polyclonal antibodies، ويؤهلها لأداء دور أكبر في التطبيقات الطبية المختلفة نذكر منها: **1)** تعدّ تقنية إنتاج الأضداد وحيدة النسيلة إلى الآن الطريقة الوحيدة لإنتاج الأضداد بشكل مستمر خارج نطاق *in vitro* جهاز المناعة للكائن الحي، وجميع الطرق اللاحقة والمتضمنة هندسة الخلايا البائية المنتجة للأضداد إنما تنطلق أولاً من إنتاج الأضداد وحيدة النسيلة بالطريقة المذكورة أعلاه، **2)** تشتق الـ Mab من مستنسخ خلية بائية وحيدة وبالتالي تنتج نوعاً واحداً فقط من الأضداد وضد معينة مستضدية واحدة بينما تنتج مضادات الأمصال أو الأضداد متعددة النسيلة عدة أنواع عشوائية من الأضداد، **3)** يؤدي إنتاج الـ Mabs إلى الحصول على مصدر مستقر ومستمر عالي الإنتاجية من الأضداد ذات الألفة العالية يمكّن من التحكم به مخبرياً بينما تخضع عملية إنتاج الأضداد متعددة النسيلة ومضادات الأمصال التي عادة ما يتم الحصول عليها من حيوانات التجارب للمتغيرات من دفعة لأخرى ومن حيوان لآخر مما يؤثر على فعاليتها ونشاطها وبالتالي يجب أمثلة الشروط التطبيقية باستمرار، **4)** بسبب ألفتها العالية وإنتاجيتها الكبيرة تعدّ الـ Mabs مصدراً ممتازاً وموثوقاً آمناً في البحوث العلمية والتطبيقية.

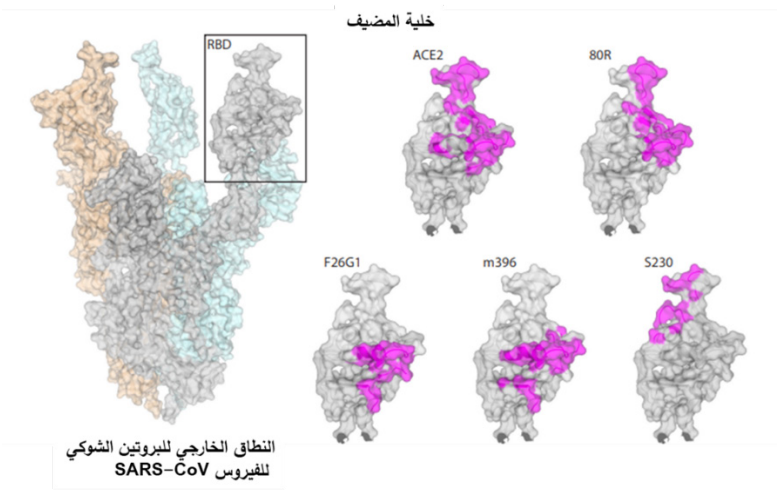
مع التقدم العلمي الهائل في مجال التنسيل الجزيئي molecular cloning خضعت الأضداد وحيدة النسيلة لبعض التعديلات الوراثية وأتت تقنية أنسنة الأضداد humanization of Mabs لتلبي الحاجة إلى استخدامها في العلاج البشري على اعتبار أن الأضداد المنتجة عبارة عن أضداد فأرية من الصعب استخدامها كأداة علاجية في بني البشر للعديد من الأسباب على رأسها الاستجابة والرفض المناعي للمتلقي. لقد ظهرت عدة طرق للأنسنة ويبين الشكل 5 مراحل تحول الأضداد من فأرية إلى بشرية باستخدام طرائق التقنية الحيوية المتعددة.



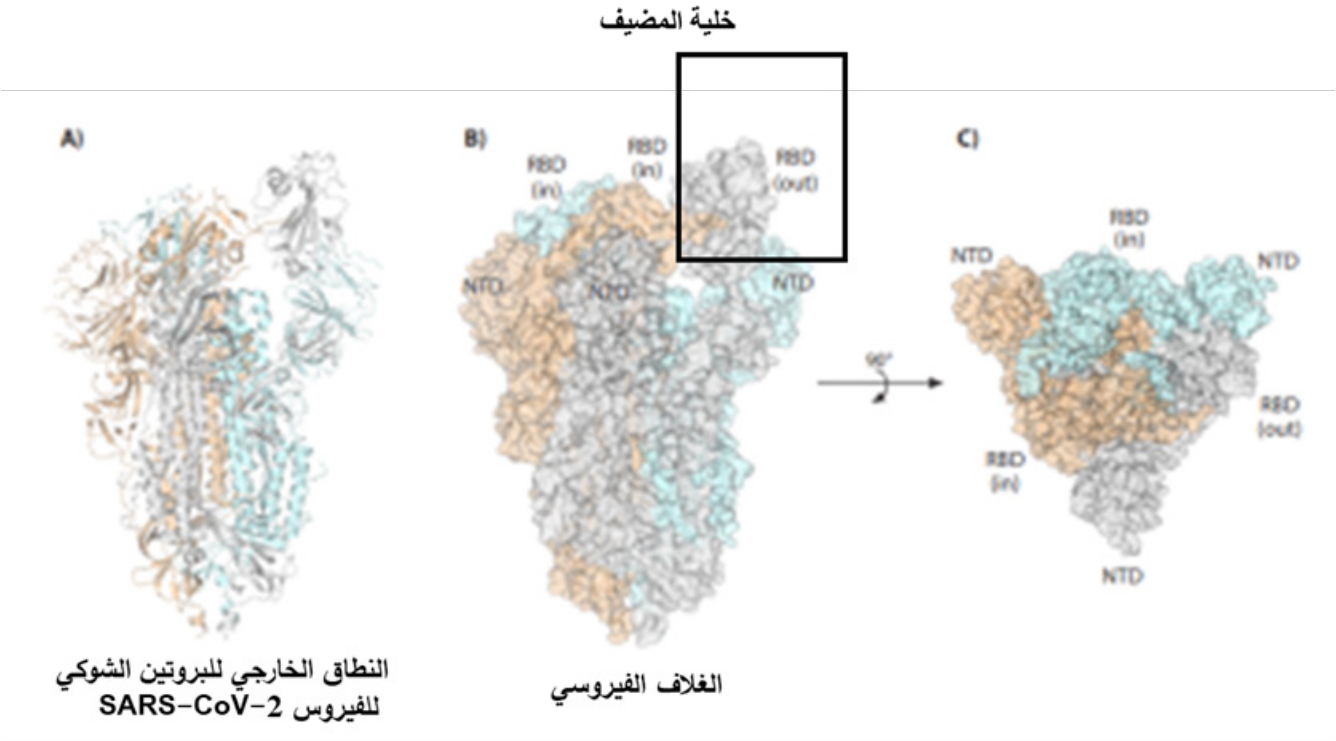
الشكل 5. مراحل تحويل أنسنة الأضداد الفأرية إلى أضداد بشرية تامة fully humanized Mabs والتغيرات في القدرة المناعية للأضداد نتيجة للأنسنة.

الأضداد وحيدة النسيلة وفيروس SARS-CoV-2

بالنظر إلى ما تقدم، فإن الخيارات العلاجية الفعالة ضد SARS-CoV-2 تستند إمّا على استخدام الأدوية المضادة للفيروسات واسعة الطيف أو استخدام جزيئات علاجية محددة يمكن أن تستهدف مواقع ارتباط الفيروس بالمُستقبلات الخلوية للكائن المضيف، وتثبط بشكل مباشر دخول الفيروس للخلايا والارتباط بها، وبالتالي تعطل أي مرحلة من مراحل دورة حياة الفيروس. يمكن تحقيق ذلك عن طريق استخدام الـ Mabs أو ما يسمى بمثبطات الاندماج الببتيدية peptidic fusion inhibitors إمّا ضد SARS-CoV-2 أو ضد المُستقبِل ACE2 كمثبطات أنزيمية، كما يؤدي البروتين الشوكي المتوضع على الغشاء الفيروسي دوراً حيوياً في دخول الفيروس فهو بشكل أساسي مسؤول عن تحفيز الاستجابة المناعية النوعية لدى المضيف، وبالتالي فقد عُدَّ هدفاً رئيسياً لتطوير علاجات فعالة محتملة ضد العدوى بفيروس كورونا. تبين نتائج الدراسات المختلفة أنه كما في الفيروس SARS-CoV فإن موقع ارتباط المستقبل receptor binding motif والموجود ضمن نطاق الارتباط RBD للوحدة الفرعية S1 للبروتين الشوكي للفيروس SARS-CoV-2 يتفاعل مع المستقبل الخلوي ACE2 ويتوسط التصاق الفيروس بخلية العائل، وبالتالي يمكن لـ Mabs الموجهة ضد كل من البروتين الشوكي أو المُستقبِل الخلوي ACE2 أن تمنع ارتباط الفيروس بالخلية. يوضح الشكلان 6 و7 بنية البروتين الشوكي لكل من الفيروسين SARS-CoV وSARS-CoV-2 ومناطق ارتباط الأضداد وحيدة النسيلة به حيث تم إنشاء البنية الرقمية بنظام التصور الجزيئي PyMOL وتبين أن كلا الفيروسين يستخدمان المُستقبِل الخلوي ذاته.



الشكل 6. البنية السطحية ثلاثية الأبعاد للبروتين الشوكي S للفيروس SARS-CoV في منطقة مجال الارتباط بالمستقبلات RBD (PDB ID 6NB7). يظهر موقع ارتباط الفيروس بالمُستقبل ACE2 وكذلك مواقع الارتباط من قبل بعض الأضداد وحيدة النسيلة المنتجة 80R وF26G1 وm396 وS230 ضد البروتين الشوكي والموضحة باللون الأرجواني كما هو مبين في الجدول 1.



الشكل 7. بنية المجال الخارجي للبروتين الشوكي S للفيروس SARS-CoV-2 (PDB ID 6VSB). A- شكل شريطي ثلاثي الأبعاد للبروتين. B- منظر سطحي جانبي للبروتين S. C- يتكون سطح البروتين S المواجه للخلية المضيفة من المجال الطرفي الأميني NTD ومجال الارتباط بالمستقبلات RBD. يمكن أن يتشكل RBD داخلياً أو خارجياً حيث تم اقتراح التشكّل الخارجي كموقع للتفاعل مع مُستقبِل المضيف ACE2.

التطلعات والآفاق المستقبلية

لقد تم مسبقاً إنتاج عدد من الأضداد وحيدة النسيلة الفأرية والمؤنسنة تستهدف المنطقة RBD للبروتين S للفيروس SARS-CoV كما هو مبين في الجدول 1 وتمت تجربة بعضها للعلاج من داء كورونا المستجد من خلال التجارب في الزجاج وفي حيوانات التجارب حيث ظهرت نتائج واعدة من حيث قدرة الجزيئات المناعية المنتجة على منع ارتباط الفيروس بخلايا الكائنات الحية وبالتالي منع الغزو والعدوى كما هو موضح في الشكل 3، كما يمكن التنبؤ بأن استخدام خليط من الـ Mabs المختلفة في العلاج والتي تستطيع التعرف على معينات مستضدية مختلفة على سطح الفيروس قد يؤدي إلى زيادة فعالية العلاج المناعي والتعرف على طيف واسع من سلالات الفيروس المختلفة بما فيها السلالات الجديدة الطافرة التي يمكنها الهروب من العلاجات التقليدية. لقد أدى التطور الكبير في مجال إنتاج البروتينات العلاجية إلى تيسير وخفض تكاليف إنتاج الأضداد وحيدة النسيلة بأسعار معقولة حيث تم التعرف على التسلسل الجيني للـ Mabs الفعالة ضد SARS-CoV واستنساخها cloning ومن ثم عُبّر عنها في نظام تعبير مناسب مثل أنظمة الثدييات أو الخمائر أو النبات وبالتالي أُنتجت Mabs مأشوبة recombinant واختُبرت كأداة فعالة للعلاج من SARS-CoV-2.

الجدول 1. الأضداد وحيدة النسيلة المنتجة والمحيدة للفيروس SARS-CoV وآليات عملها

Mab	آلية العمل
80R	– ترتبط بالمعينة المستضدية التوافقية (ثمالات الأحماض الأمينية 426-492) لجزيء S1 لـ SARS-CoV. – تمنع ارتباط الوحدة الفرعية S1 بالمستقبل الخلوي ACE2 باستخدام 6 مناطق تكميلية محدّدة complementary determining region (CDR) من خلال نتائج التجارب في الزجاج وعلى حيوانات التجارب (فئران).
CR3014	– ترتبط بثمالات الأحماض الأمينية 318-510 والثمالة 565 وهي ذات ألفة affinity عالية لجزيء S1 لـ SARS-CoV. – تمنع ارتباط الوحدة الفرعية S1 بالمستقبل الخلوي ACE2 من خلال نتائج التجارب في الزجاج وعلى حيوانات التجارب (السنوريات).
CR3022	– ترتبط بثمالات الأحماض الأمينية 318-510 لجزيء S1 لـ SARS-CoV. – تمنع ارتباط الوحدة الفرعية البروتينية S1 (RBD) بالمستقبل الخلوي ACE2 من خلال نتائج التجارب على حيوانات التجارب.
F26G18	– ترتبط بالمعينة المستضدية التوافقية (ثمالات الأحماض الأمينية 362-359 و392-391 و427-424 و492-486) لجزيء S1 لـ SARS-CoV. – تمنع ارتباط الوحدة الفرعية S1 بالمستقبل الخلوي ACE2 من خلال نتائج التجارب في الزجاج.
m396	– ترتبط بالمعينة المستضدية التوافقية (ثمالات الأحماض الأمينية 426-492) لجزيء S1 لـ SARS-CoV. – تمنع ارتباط الوحدة الفرعية البروتينية S وذلك من خلال ارتباط الأضداد بحلقات الـ H3 CDR وH2 وH1 وL3 الفيروسية بالمستقبل الخلوي ACE2 من خلال نتائج التجارب في الزجاج.
1A9	– ترتبط بالمكررات اللولبية الكبرية hepated repeat loops متضمنة النطاقات HR1 وHR2 على الوحدة الفرعية البروتينية S2. – تمنع ارتباط الوحدة الفرعية S2 بالمستقبل الخلوي ACE2 من خلال نتائج التجارب في الزجاج.
201	– ترتبط بثمالات الأحماض الأمينية 490-510 لجزيء S1 لـ SARS-CoV. – تمنع ارتباط الوحدة الفرعية S1 بالمستقبل الخلوي ACE2 من خلال نتائج التجارب في الزجاج وعلى حيوانات التجارب (الهامستر السوري).
68	– ترتبط بثمالات الأحماض الأمينية 130-150 لجزيئات لـ SARS-CoV في الزجاج وعلى حيوانات التجارب.
4D4	– ترتبط بثمالات الأحماض الأمينية 12-261 لجزيئات لـ SARS-CoV والنهايات الأمينية لـ RBD. – تمنع آلية ما بعد الارتباط أثناء غزو الفيروس لخلية العائل في الزجاج.
S230	– ترتبط بالحلقات المتداخلة جزئياً مع أشكال ربط المستقبلات في النطاق B للفيروس SARS-CoV.

إن الانتشار السريع لجائحة COVID-19 وظهور العديد من طفرات الفيروس SARS-CoV-2 وما نتج عنها من تأثيرات سلبية على الحياة البشرية والاقتصاد العالمي وإمكانية ظهور جوائح جديدة مصدرها الفيروسات التاجية يبين الحاجة الماسة إلى تطوير أدوية تستند إلى العلاج المناعي المنفعل القائم على الأضداد وحيدة النسيلة لتوفير استجابة علاجية سريعة، وعلى الرغم من إحراز تقدم كبير نحو تطوير بروتوكولات علاجية باستخدام الأضداد وحيدة النسيلة لعدوى فيروس كورونا المستجد إلا أنه تم اعتماد أعداد قليلة منها للعلاج حتى اللحظة الراهنة. وقد يؤدي الفهم المتزايد لمتلازمة MERS.CoV وفيروس السارس إلى الاستفادة من نتائج البحوث العلمية وتحفيز المجتمع البحثي لإحراز تقدم كبير في تصميم علاج فعال لعدوى COVID-19 في وقت قياسي من خلال اعتماد الأضداد وحيدة النسيلة كأنظمة علاجية فعالة أظهرت نتائج واعدة ضد هذين الفيروسين، كما قد يؤدي المزيد من الفهم لتفاصيل الآليات الإمراضية التي يتخذها فيروس SARS-CoV-2 إلى زيادة فرص التصميم الواقعي للعلاجات الخاصة بهذا الفيروس المستجد.

المراجع

- Coughlin MM, Prabhakar BS (2012). Neutralizing human monoclonal antibodies to Severe acute respiratory syndrome coronavirus: target, mechanism of action and therapeutic potential. Reviwes in Medical Virology 22(1): 2-17.

- Hirano T, Murakami M (2020). COVID-19: A new virus, but a familiar receptor and Cytokine release syndrome. Immunity 52, DOI: https://doi.org/10.1016/j.immuni.2020.04.003.

- Hoffmann M, Kleine-Weber H, Schroeder S, Kruger N, Herrler T, Erichsen S, Schiergens TS, Herrler G, Wu NH, Nitsche A, et al. (2020). SARS-CoV-2 Cell Entry Depends on ACE2 and TMPRSS2 and Is Blocked by a Clinically Proven Protease Inhibitor. Cell 181: 271–280.

- Lu R, Zhao X, Li J, Niu P, Yang B, Wu H, Wang W, Song H, Huang B, Zhu N, et al. (2020). Genomic characterisation and epidemiology of 2019 novel coronavirus: implications for virus origins and receptor binding. Lancet 395: 565–574.

- Marasco WA, Sui J (2007). The growth and potential of human antiviral monoclonal antibody therapeutics. Nature Biotechnology 25(12): 1421-34.

- Masters PS (2006). The molecular biology of coronaviruses. Advances in Virus Research. 66: 193-292.

- Shanmugaraj B, Siriwattananon K, Wangkanont K, Phoolcharoen W (2020). Perspectives on monoclonal antibody therapy as potential therapeutic intervention for Coronavirus disease-19 (COVID-19). Asian Pacific Journal of Allergy and Immunology 38: 10-18.

- Santos IA, Grosche VR, Goulart Bergamini FR, Sabino-Silva R, Jardim CG (2020). Antivirals against coronaviruses: Candidate drugs for SARS-CoV-2 treatment? Frontiers in Microbiology 11: 1818.

- Singh S, Tank NK, Dwiwedi P, Charan J, Kaur R, Sidhu P, Chugh VK (2018). Monoclonal antibodies: A review. Current Clinical Pharmacology 13(2): 85-99.

- Song Z, Xu Y, Bao L, Zhang L, Yu P, Qu Y, et al. (2019). From SARS to MERS, thrusting coronaviruses into the spotlight. Viruses 11(1): 59.

- Sparrow E, Friede M, Sheikh M, Torvaldsen S (2017). Therapeutic antibodies for infectious diseases. Bulletin of World Health Organization 95(3): 235-7.

- Walls AC, Xiong X, Park Y-J, Tortorici MA, Snijder J, Quispe J, et al. (2019). Unexpected receptor functional mimicry elucidates activation of coronavirus fusion. Cell 176(5): 1026-39.

- Wang D, Hu B, Hu C, Zhu F, Liu X, Zhang J, et al. (2020). Clinical characteristics of 138 hospitalized patients with 2019 prefusion conformation. Science 367(6483): 1260-1263.

تأليف: **د. حسام الحاج علي**، قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

كوفيد-١٩ والعمل من المنزل:
التحويل الرقمي للقوة العاملة

أدى انتشار وباء كوفيد-19 في أرجاء العالم إلى إجبار شركات الأعمال والمنظمات على ابتكار وتغيير الطريقة التي تقوم فيها بتسيير عملها، فقد أصبحت المكاتب أقل أهمية وفجأة أصبح العمل من المنزل إلزامياً. هذه الحاجة المفاجئة للعمل من المنزل كان من شأنها أن تسرع في التحول الرقمي للقوة العاملة وتطوير بيئة العمل بسرعة غير مسبوقة. لقد أصبح الاعتماد على العمل عن بعد تحولاً مهماً في العمل مع انتشار الفيروس. تبحث هذه المقالة في الأثر غير المسبوق لوباء الفيروس التاجي على الطلب المفاجئ للعمل من المنزل والاتجاه نحو التحول الرقمي للقوى العاملة.

الكلمات المفتاحية: كوفيد-19، فيروس كورونا، التحول الرقمي، القوة العاملة.

مقدمة

لقد كان التحول الرقمي في السنوات القليلة الماضية واحداً من أكثر الموضوعات التي تتم مناقشتها من قبل أرباب الأعمال ومعلمي الإدارة، حيث كانت عدّة منظمات مع تفهمها لأهمية التحول الرقمي والخوض في هذا المجال الجديد بطيئة في تنفيذ تغيير وضعها الراهن والتسبب في عرقلة محتملة وتبني التحول الحتمي . لقد انصبت الجهود على المشاريع الصغيرة والتغييرات الطفيفة والتعلم من الآخرين وانتظار لوقت أكثر ملائمة لإحداث تغيير جذري. ومع انطلاقة عام 2020 وانتشار جائحة كوفيد-19 وجدت المنظمات نفسها قد فوجئت بأنها غير مستعدة بما يكفي للتغييرات التي سببتها حقيقة فيروس كورونا. ومع لجوء ملايين الناس إلى أمان العالم الافتراضي من أجل الحصول على معلوماتهم وتسليتهم وتعليمهم وتواصلهم وعملهم عن بعد أصبح التحول الرقمي أمراً حتمياً بالغ الأهمية[1].

كوفيد-19

مع نهاية شهر كانون الأول من عام 2019 عمل موظفو الصحة في الصين على إخبار منظمة الصحة العالمية (WHO) عن مجموعة من المرضى يعانون من التهاب رئوي غامض. وفي 30 كانون الثاني من عام 2020 أعلنت منظمة الصحة العالمية عن انتشار مرض

كوفيد-19 كحالة طوارئ في الصحة العامة ذات اهتمام دولي. وفجأة أصبحت كلمة جائحة تغرق حياتنا اليومية ويتداولها الناس أفراداً وعائلات وأصبح من المألوف لدينا تعريفها بأنها مرض معدٍ خطير ينتقل من شخص إلى آخر، وقد انتشر في عدة دول حول العالم في وقت واحد[2]، وأصبح مألوفاً للجميع.

وخلال أيام من انتشار المرض أصبح العمل من المنزل الذي كان يقوم به بعض الشركات والمنظمات بشكل متقطع حتمياً وأصبحت المسألة مسألة بقاء مادي ومالي، وكإجراء من أجل منع انتشار الفيروس وحماية العمال توجهت الحكومات عبر العالم نحو وضع تعليمات للموظفين بإغلاق مكاتبهم وتمكين العاملين من العمل من المنزل إلى العمل عن بعد، ليقدّر أن أكثر من أربعة من كل خمسة أشخاص؛ أي 81% من القوة العاملة في الكون التي تقدّر بـ 3.3 مليار شخص قد تأثروا بإغلاق كلي أو جزئي لأماكن عملهم[3].

لقد كان لدى العديد من الموظفين وأرباب العمل على حد سواء خبرة محدودة بمسألة العمل من المنزل WFH على هذا النطاق الواسع قبل انتشار الفيروس، حيث كانت الشركات مرتاحة باتباع معايير العمل المكتبي وكان الموظفون مرتاحين لمسألة التقسيم ما بين العمل والحياة المنزلية، وفجأة وجدت الشركات نفسها في مواجهة الاحتمالية الحقيقية لخسارة إيراداتها وأعمالها، ومع وجود الخوف والحيرة من الفيروس كان تعطيل العمل ضخماً ومرهقاً ومؤلماً ومن هنا أصبح العمل من المنزل هو الحل المحتمل لتخفيف الضرر.

العمل من المنزل

تم استعمال مصطلح العمل من المنزل منذ انتشار وباء كوفيد-19، ويمكن تعريفه بشكل عام أنه عبارة عن موظفون يعملون خارج نطاق مكاتب الشركة والمنظمة، ليتضمن أربع خصائص أساسية وهي:

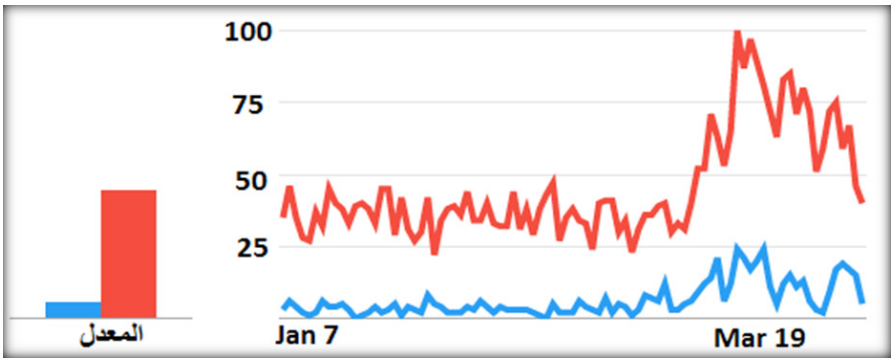
أولاً: شخص موظف في شركة أو عضو في كادر عمل لمنظمة ما.

ثانياً: ارتباط فعلي بالعمل في شركة أو منظمة للقيام بمهام معينة.

ثالثاً: عمل يتم القيام به خارج مباني الشركة.

رابعاً: الاتصال عن بعد مع رب العمل.

والجدير ذكره أنّ ثمة مصطلحين آخرين شائعين يستخدمان غالباً كمرادف لوصف العمل من المنزل وهما الاتصال عن بعد والعمل عن بعد. يظهر الشكل التالي اتجاهات البحث في غوغل التي تمت عبر العالم في الأشهر الثلاثة الماضية عن مصطلحي العمل بالاتصال عن بُعد telecommuting والعمل عن بُعد remote work، وكان مصطلح العمل عن بعد هو الأكثر استعمالاً كما هو موضح في الشكل التالي.



اتجاهات غوغل لتواتر عمليات البحث بالاتصال عن بعد (باللون الأزرق) مقابل العمل عن بعد (باللون الأحمر)، من 7 كانون الثاني/يناير إلى 6 نيسان/آبريل 2020.

إن عمليات البحث التي استعملت عبارة العمل عن بعد هي ليست الأكثر تكراراً فحسب بل وفرت مصادر معلومات تم فيها ذكر مصطلح العمل عن بعد بشكل أكبر. ثمة حوالي 17.2 مليون صفحة ويب فيها مصطلح العمل عن بعد مقابل 13.9 مليون صفحة ويب أيضاً فيها مصطلح الاتصال عن بعد، وعلى نحو معاكس يقدم علماء غوغل 51000 مقالة حول موضوع الاتصال عن بعد ونحو 13.700 مقالة حول موضوع العمل عن بعد، فغالباً ما يتم استعمال العمل عن بعد والاتصال عن بعد بالتبادل، ولهما اختلافات طفيفة في المعنى، مما يشير إلى نهجين مختلفين لمفهوم العمل من المنزل. ومن أجل التوضيح لابد من تعريفهما بمزيد من التفصيل.

الاتصال عن بعد

هو تنظيم للعمل حيث يعمل فيه الموظف من خارج المكتب، ويعني ذلك غالباً العمل من المنزل أو من مواقع قريبة من المنزل مثل المقاهي أو المكتبات أو فضاءات العمل المشترك[4]. وبدلاً من الذهاب إلى المكتب يعمل الموظفون بالتنقل باستعمال أدوات تكنولوجيا المعلومات والبقاء على تواصل مع الشركاء وأرباب العمل بواسطة الأجهزة المحمولة والهواتف والمحادثات عبر الإنترنت والمؤتمرات المرئية ومنصات الاشتراك والبريد الإلكتروني. ففي عام 2015 قام كل من Allen وGolden وShockley بإجراء مراجعة شاملة لدراسات التواصل عن بعد فوجدوا أن أغلب تعريفات الاتصالات عن بعد لديها عاملان مشتركان وهما:

الأول: العمل من مكان غير المكتب التقليدي.

الثاني: استعمال تكنولوجيا المعلومات لتنفيذ مهام العمل.

وبناء على ذلك فقد قاموا بتحديد ثلاثة أمور تختلف فيها التعريفات وهي:

1 – فترة الاتصال عن بعد: مثلاً مرة واحدة في الشهر أو مرة في الأسبوع أو كامل الوقت.

2 – نوع علاقة العمل: مثلاً يمكن أن يكون العامل أحد أفراد كادر العمل أو متعاقداً أو مستشاراً مستقلاً أو موظفاً لحسابه الذاتي.

3 – مكان العمل عن بعد: مثلاً المنزل أو مكتباً فرعياً أو المقهى[5].

فمن فوائد ومزايا الاتصال عن بعد لأرباب العمل والموظفين إضافة إلى توفير المال وزيادة الرضا في العمل نلاحظ الإنتاجية المتزايدة والمرونة وتخفيض تكاليف ومتطلبات المكتب وزيادة الاحتفاظ بكادر العمل وتحسين التوازن بين العمل وحياة الموظف والحفاظ على الأجيال الأكبر سناً في القوى العاملة فضلاً عن الفوائد البيئية. ومع ذلك يوجد أيضاً عيوب مثل: التحديات الاجتماعية والنفسية الناجمة عن الوحدة وساعات العمل الطويلة وعدم الفصل ما بين العمل والمنزل، حيث يتطلب الاتصال عن بعد الانضباط الذاتي والاعتماد على أدوات تكنولوجيا المعلومات الشخصية والتواصل إضافة إلى المصادر الأخرى.

ثمة أيضاً مسألة التكاليف التي تقع على عاتق المؤسسات والمنظمات عند الانتقال إلى أساليب العمل والتدريب الجديدة، جنباً إلى جنب مع حاجة الموظفين للالتزام والارتباط بثقافة المؤسسة والمنظمة التي يعمل فيها والقيم التنظيمية لها. ويجب عدم إغفال أهمية الأخطار المتزايدة لمسالة الخصوصية والأمن، ويذكر بعض المؤلفين أيضاً الأخطار المتزايدة التي يواجهها المجتمع وذلك من جراء إنتاج creation أشخاص مستقلين بالرأي[6-7].

العمل عن بعد

ثمة نوع آخر من العمل من المنزل والذي يبدو مرادفاً لمصطلح الاتصال عن بعد إلا أنه يوجد فارق طفيف بين هذين المصطلحين في الوقت الذي يعني فيه مصطلح العمل عن بعد أن يكون العمل خارج نطاق المكتب وعادة ما يكون من المنزل إلا أن مصطلح الاتصال عن بعد يتضمن حقيقة أن الموظف يعيش خارج محيط المقر أو المكتب الرئيسي للمؤسسة والمنظمة، وأن هذا التمييز الجيوغرافي قد يبدو غير مهم إلا أنه في الحقيقة يتطلب تغييراً في الإدارة والارتباط بالقوة العاملة؛ لذلك يحتاج المديرون إلى تبني أساليب مختلفة في الإدارة والاتصال وبذل جهود إضافية لقيادة العمل لتحسين مستوى الإنتاجية للقوة العاملة عن بعد، حيث إن تشكل أمور التشريع المختلفة للعمل والالتزامات المالية والخلفيات الثقافية والمناطق الزمنية والجدولة والتوقعات ليس سوى بعض من أوجه الاختلاف بين العمل عن بعد والاتصال عن بعد. وغالباً ما يكون العاملون عن بعد يعملون على مسؤوليتهم فهم مستقلون كذلك المقاولون مستقلون أيضاً وهؤلاء يقضون أوقاتهم خارج مكاتب العمل التقليدية.

لقد اختصرت مزايا القوة العاملة الموزعة عالمياً في العدد الهائل من المهن التخصصية والمكاسب المالية التي حدثت وفق معايير مختلفة للعيش والدفع المحلي للرواتب ليكون غالباً لدى الموظفين المعينين عن بعد مزايا مالية كبيرة حيث إن رواتبهم أعلى وظروف العمل أفضل إضافة إلى الانتشار الدولي.

قد تكون عيوب الاتصال عن بعد هي نفسها عيوب العمل عن بعد وقد تزيد أو تقل بشكل بسيط إلا أن العيوب الخاصة بالعمل عن بعد تتضمن الصحة العاطفية emotional well-being والفرص المحدودة لتطوير المهنة والعمل خارج نطاق ساعات العمل الاعتيادية، ويعود

ذلك إلى فرق التوقيت والتحيز المهني أو حتى الجغرافي والاستياء العاطفي emotional resentment لدى زملاء العمل والزملاء المحليين.

التحول الرقمي

إن الحقيقة المرة لتأثير كوفيد-19 على الاقتصاد وحياة الناس وضع مفهوم التحول الرقمي في دائرة الضوء، وكان هذا الوضع خاصةً لدى القوة العاملة وذلك لأن العمل من المنزل أصبح حتمياً، وبناء عليه فقد كان لابد من تطوير نماذج عمل جديدة ونشرها بسرعة، وقد ظهرت مصطلحات مثل:

الاتصال عن بعد والعمل عن بعد والعمل من المنزل working from home (WFH) والعمل في المنزل working at home والعمل عن بعد working remotely والعمل الافتراضي virtual work والعمل الإلكتروني e-work والاتصال الإلكتروني e-commuting والعمل بالهاتف الجوال mobile work ومكان العمل المرن flexible workplace والرحالة الرقميين digital nomads والعمل الحر freelancing، وقد أصبحت جميع هذه المصطلحات تستعمل لوصف أساليب العمل الحالية لتحدث قفزة نوعية في بدء التحول الرقمي للقوة العاملة.

إن التحول الرقمي هو القيام بالعمل بأسلوب مختلف وذلك لإنشاء أساليب عمل جديدة باستعمال تقنية المعلومات وبرمجيات الحاسوب الجديدة، وهذا يزيد من المعرفة الموجودة في المؤسسة والمنظمة مما يتيح تغيير جوهر هذه المنظمة أو تلك المؤسسة من حيث ثقافتها واستراتيجيتها في الإدارة ومن حيث مزيجهما التقني والتجهيز التشغيلي، ليضع العميل في محور الإحاطة بقراراته وأفعاله[8].

ولكن سرعان ما أصبحت أفكار وحلول الصناعة –نحو التحول الرقمي بالنسبة للكثيرين– حلاً سحرياً لانتشار كوفيد-19 في مجال الصناعة والأعمال، فأصبح تغيير أساليب وإجراءات العمل ورفع استعمال تقنية المعلومات الحديثة IT والمطالبة بإجراء تعديلات على الثقافة والسلوك التنظيمي وتعديل توقعات وأدوار القوى العاملة جميعاً هي القواعد الجديدة للعبة.

يمكن رؤية أثر كوفيد-19 على القوة العاملة في عدة مستويات من حيث تغيير طبيعة العمل وتنوعه وحجمه وسرعته وقيمته؛ فالتحول الرقمي هو أكثر من كونه مجرد تطبيق لتقنية جديدة بل يتطلب تبني "عقلية القوى العاملة الرقمية"[9]، إذ تتضمن العقلية الرقمية فهماً عميقاً بأن قوة التقنيات الحديثة يمكنها أن ترسي قواعد الديمقراطية على كل شكل من أشكال العمل والتفاعل وتسريع وتيرته، لنجد من أهم الصفات الرئيسية للعقلية الرقمية: الوفرة والنمو وخفة الحركة والراحة والعقل المستكشف والتعاون وتقبل التنوع.

كما يتضمن التحول الرقمي للقوى العاملة المتطلبات التالية[10]:

- محو الأمية الرقمية والمعرفة التقنية digital literacy and technical knowledge.
- التعلم الدقيق والمستمر مدى الحياة مع التطوير الذاتي lifelong micro learning and personal development.
- الارتباط بالعمل engagement.
- قوة الآلة المتنقلة والعمل عن بعد mobile force and remote work.
- الفجوة بين الأجيال generation gap.
- الأخلاقيات الرقمية digital ethics.

وحتى قبل تفشي فيروس كورونا قدّر المنتدى الاقتصادي العالمي عام 2018 أنه بحلول عام 2022 سوف يحتاج ما يزيد عن 50% من الموظفين الى إعادة المهارات وتطويرها، وذلك من شأنه أن يشكل مهمة كبيرة للموارد البشرية والمديرين خاصة وأن 85% من وظائف عام 2030 غير موجودة بعد[11].

الاستنتاج

باجتياح موجة كوفيد-19 العالم نجد أنفسنا مجبرين على تغيير الطرق التي نعمل بها وابتكار طرق جديدة[12]، فقد أصبحت المكاتب أقل أهمية وأصبح العمل من المنزل ضرورة حتمية وإلزامية، وقد أدت الحاجة المفاجئة للعمل من المنزل إلى تسريع التحول الرقمي للقوة العاملة وتطوير بيئة العمل بسرعة غير مسبوقة، وأصبح التبني الكبير للعمل عن بعد تغيراً حيوياً في العمل منذ انتشار الفيروس وهذا التغيير سيكون دائماً.

وفي غضون أيام من انتشار المرض كان على المنظمات والشركات أن تطور من قدراتها طويلة الأمد من أجل التعاون من مسافات بعيدة كمؤتمرات الفيديو والشراء الإلكتروني عبر الإنترنت وعمليات التوصيل الخاصة والتشخيص والمعالجة الطبية عن بعد والتعلم الإلكتروني والتجارة الإلكترونية والتسويق الإلكتروني والبث المرئي وغيره من العمليات التي تتم عبر تكنولوجيا المعلومات لنجد أن جميعها قد خضعت للتحول الافتراضي وحلت محل ممارسات العمل التقليدي، وليغطي التحول الرقمي مجالاً واسعاً بما في ذلك رفع استعمال تكنولوجيا المعلومات إلى الحد الاقصى، ولقد اكتسب ذلك أهمية كبيرة بسبب انتشار كوفيد-19 ليتم الاعتراف به على نطاق واسع وقبوله من قبل الموظفين وأرباب العمل.

يشكل التحول الحالي للطاقة العاملة نحو التحول الرقمي خطوة حاسمة؛ فالمنظمات التي حسّنت قدراتها من ناحية تكنولوجيا المعلومات وأشركت موظفيها عن بعد أصبحت بوضع أفضل بكثير مما كانت عليه ليس للبقاء في هذه الظروف غير المسبوقة فحسب بل سوف تتمكن من التغلب على التحديات التي تواجهها على المدى القريب البعيد.

المراجع

1 The Coronavirus and Public Service Media: Why digital transformation matters now more than ever. Sasha Scott. EDU Blog. 31 March 2020. https://bit.ly/3aAZUIb

2 Coronavirus: What is a pandemic and why use the term now? BBC, 11 March 2020. https://www.bbc.com/news/health-51358459

3 ILO: COVID-19 causes devastating losses in working hours and employment. 7 April 2020. https://bit.ly/2XjoxFu.

4 Doyle, A. (2020). What is telecommuting? The balance careers: Basics – Glossary. https://bit.ly/2y9MuVd.

5 Allen, T. D., Golden, T. D., & Shockley, K. M. (2015). How effective is telecommuting? Assessing the status of our scientific findings. Psychological Science in the Public Interest: A Journal of the American Psychological Society, 16(2), 40–68. https://doi.org/10.1177/1529100615593273.

6 Harpaz, Itzhak (2002). Advantages and Disadvantages of Telecommuting for the Individual, Organization and Society. Work Study 51(2):74-80, April 2002. https://bit.ly/2VmJJb2.

7 Vaganay, Arnaud; Canónico, Esther; Courtin, Emilie (2016). Challenges of work-life balance faced by working families. European Commission, Evidence Review. May 2016. https://bit.ly/2RtJ0Ul.

8 Savić, Dobrica (2019). From Digitization, through Digitalization, to Digital Transformation. 43/2019. 36-39. https://bit.ly/3aO3Gy3.

9 Chattopadhyay, Sahana (2016). 7 Characteristics of a Digital Mindset. People Matters. https://bit.ly/2mzNpIZ

10 Savic, Dobrica (2020). Digital Transformation and Grey Literature Professionals. Grey Journal, February 2020 16(Special Winter Issue):11-17. https://bit.ly/2XeMA8u.

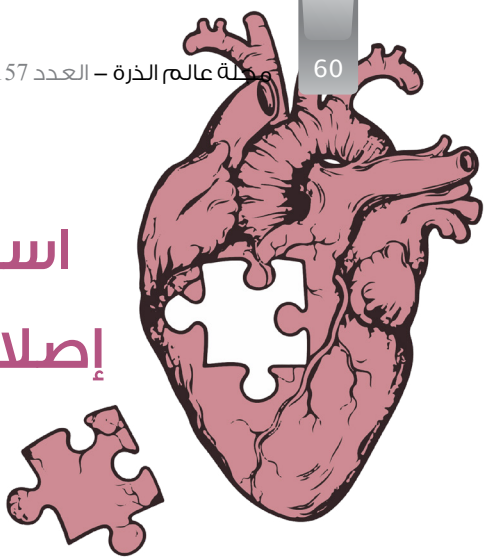
11 DELL Technologies (2018). Realizing 2030: A Divided Vision of the Future. https://bit.ly/2FvF1yi.

12 Marr, Bernard (2020). 9 Future Predictions For A Post-Coronavirus World. Forbes, April 3 2020. https://bit.ly/2JNWPsx.

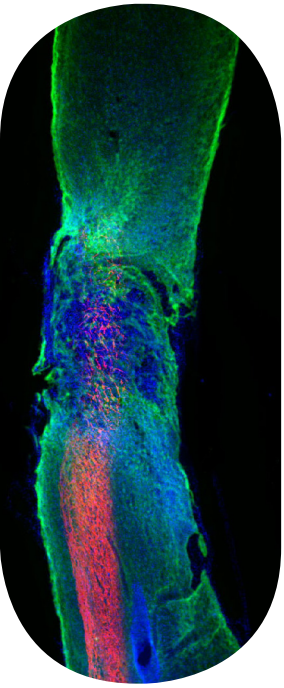
المقالة المترجمة بعنوان:

Savic D (2020). COVID-19 and Work from Home: Digital Transformation of the Workforce. The Grey Journal 16(2): 101-104. https://www.researchgate.net/publication/341493908_COVID-19_and_Work_from_Home_Digital_Transformation_of_the_Workforce.

ترجمة: **ناظم سخيطة وغادة سمير**، قسم الخدمات العلمية، هيئة الطاقة الذرّية السورية.



استخدام الأنسجة الاصطناعية من أجل إصلاح القلوب والعضلات والحبال الصوتية



من خلال الدمج بين المعرفة بالكيمياء والفيزياء والبيولوجيا والهندسة طور علماء من جامعة ماكجيل مادة حيوية قوية بما يكفي لإصلاح القلب والعضلات والحبال الصوتية؛ مما يمثل تقدماً كبيراً في الطب التجديدي regenerative medicine.

"غالباً ما يواجه الأشخاص الذين يعانون من أذية قلبية رحلة طويلة وصعبة من أجل الشفاء، فالشفاء يمثل تحدياً بسبب الحركة المستمرة التي يجب أن تتحملها الأنسجة مع ضربات القلب بشكل دائم، وينطبق الشيء نفسه على الحبال الصوتية. حتى الآن لم تتوفر مادة قابلة للحقن قوية بما يكفي من أجل هذه الوظيفة" على حد قول جوانغيو باو Guangyu Bao طالب دكتوراه في قسم الهندسة الميكانيكية في جامعة ماكجيل McGill University.

قام الفريق بقيادة البروفيسور لوك مونغو Luc Mongeau والأستاذ المساعد جيانيو لي Jianyu Li بتطوير هيدروجيل جديد قابل للحقن لإصلاح الجروح؛ الهيدروجيل هو نوع من المواد الحيوية التي توفر مساحة للخلايا لتعيش وتنمو، وبمجرد حقنها في الجسم تشكل المادة الحيوية بنية مستقرة ومسامية تسمح للخلايا الحية بالنمو أو المرور لإصلاح الأعضاء المصابة.

يقول جوانغيو باو: "النتائج واعدة، ونأمل أن يتم استخدام الهيدروجيل الجديد يوماً ما كفرسة لاستعادة صوت الأشخاص الذين يعانون من الحبال الصوتية التالفة، كالناجين من سرطان الحنجرة على سبيل المثال".

اختبر العلماء متانة الهيدروجيل في آلة طوروها لمحاكاة الميكانيكا الحيوية الشديدة للأحبال الصوتية البشرية وذلك بالاهتزاز بمعدل 120 مرة في الثانية لأكثر من 6 ملايين دورة، حيث بقيت المادة الحيوية الجديدة سليمة بينما تكسرت الهلاميات المائية القياسية الأخرى إلى أجزاء غير قادرة على التعامل مع إجهاد الحمل.

"لقد كنا متحمسين للغاية لرؤيتها تعمل بشكل مثالي في اختبارنا. قبل عملنا لم يكن أي هيدروجيل قابل للحقن يتمتع بمسامية عالية وصلابة في نفس الوقت، لحل هذه المشكلة أدخلنا بوليميراً مكوناً للمسام إلى صيغتنا" يقول جوانغيو باو.

يقول العلماء إن هذا الابتكار يفتح أيضاً طرقاً جديدة لتطبيقات أخرى مثل توصيل الأدوية وهندسة الأنسجة وإنشاء أنسجة نموذجية لفحص الأدوية، ويتطلع الفريق حتى إلى استخدام تقنية الهيدروجيل لتصنيع رئتين بغية اختبار أدوية COVID-19.

قال البروفيسور جيانيو لي الذي يشغل كرسي الأبحاث الكندي في المواد الحيوية وصحة العضلات والعظام: "يسلط عملنا الضوء على التآزر بين علوم المواد والهندسة الميكانيكية والهندسة الحيوية في إنشاء مواد حيوية جديدة بأداء غير مسبوق، ونتطلع إلى ترجمتها سريرياً".

ترجمة: د. رامي جرجور، هيئة الطاقة الذرية السورية.

Science Daily, 30.11.2021

https://www.sciencedaily.com/releases/2021/11/211130150456.htm

أطلقت ناسا تلسكوب ويب لرؤية المجرّات الأولى والعوالم البعيدة

أُطلق تلسكوب جيمس ويب الفضائي التابع لناسا في 25 كانون أول/ديسمبر من ميناء الفضاء الأوروبي في غيانا الفرنسية في أمريكا الجنوبية. تتمحور مهمة مرصد ويب في الحصول على الضوء من المجرات الأولى في بدايات الكون واستكشاف نظامنا الشمسي إضافة إلى الكواكب التي تدور حول نجوم أخرى والتي تسمى الكواكب الخارجية.

بجهد مشترك بيّن وكالة الفضاء ESA الأوروبية ووكالة الفضاء الكندية، يعدّ مرصد ويب المهمة الرائدة الثوريّة لناسا للبحث عن الضوء القادم من المجرات الأولى المتشكلة في بداية الكون وكذلك لاستكشاف نظامنا الشمسي والكواكب التي تدور حول نجوم أخرى يطلق عليها الكواكب الخارجية.

قال مدير ناسا بيل نيلسون: "يمثل تلسكوب جيمس ويب الفضائي الطموح الذي تسعى إليه ناسا وشركاؤنا لدفعنا إلى الأمام في المستقبل. إنّ الأمل من ويب ليس ما نعرف أنّنا سنكتشفه، بل ما لم نفهمه بعد أو لا يمكننا فهمه عن كوننا. لا أطيق الانتظار حتى أرى ما سيكشفه".

بدأت فرق المراقبة الأرضيّة في تلقّي بيانات القياس عن بعد من ويب بعد حوالي خمس دقائق من الإطلاق، في حين نفّذ صاروخ أريان الفضائي–أريان 5 أداءه المتوقع على أتمّ وجه، وانفصل عن المرصد بعد 27 دقيقة من الرحلة، وتحرّر المرصد على ارتفاع 75 ميلاً (120 كيلومتر)، ثمّ بدأ نشر المصفوفة الشمسيّة بعد الإطلاق بحدود 30 دقيقة، وأكّد مديرو البعثة أن المصفوفة الشمسية سوف توفر الطاقة اللازمة للمرصد، وبعد نشر المصفوفة الشمسية سيقوم مشغلو البعثة بإنشاء روابط اتصالات مع المرصد عبر محطة مالينديي الأرضية في كينيا، وسوف يُرسل التحكم الأرضي في معهد علوم تلسكوب الفضاء بالتيمور الأوامر الأولى إلى المركبة الفضائية.

سوف يقوم المهندسون ووحدات التحكم الأرضيّة بإجراء العمليات الثلاث الأولى لتصحيح دورة المسار بعد انقضاء حوالي 12 ساعة و30 دقيقة من الإطلاق من خلال تشغيل محرّكات دفع ويب لوضع المركبة الفضائية على المسار الأمثل نحو وجهتها في مدار يبعد حوالي مليون ميل عن الأرض.

قال توماس زوربوشن المدير المساعد لمديرية المهام العلمية في مقر ناسا بواشنطن: "أود أنّ أهنئ الفريق على هذا الإنجاز الرائع– يمثل إطلاق ويب لحظة مهمة ليس فقط بالنسبة لناسا، ولكن بالنسبة لآلاف الأشخاص حول العالم الذين كرّسوا وقتهم ومواهبهم لهذه المهمة على مر السنين". "الوعد العلمي لويب أصبح الآن أقرب مما كان عليه في أي وقت مضى. نحن على أهبة الاستعداد لوقت مثير حقاً لاكتشاف أشياء لم نرها أو نتخيلها من قبل".

سيبدأ تشغيل أكبر مرصد لعلوم الفضاء وأكثرها تعقيداً في العالم في مدة ستة أشهر. وفي نهاية التكليف سيقدّم ويب صوره الأولى؛ حيث يحمل ويب أربع أدوات علمية على أحدث طراز مع كواشف الأشعة تحت الحمراء شديدة الحساسية وبدقة عالية جداً، وسوف يدرس ويب ضوء الأشعة تحت الحمراء للأجرام السماوية بوضوح أكبر بكثير من أي وقت مضى. إنّ المهمة الأولى له أنه سوف يكون الوريث العلمي لتلسكوبات ناسا الفضائية المبدعة كهابل وسبيتز، وقد بني ليكمّل ويعزّز الاكتشافات العلميّة لهذه البعثات وغيرها.

قال جريجوري إل روبنسون مدير برنامج ويب في مقر ناسا: "إنّ إطلاق تلسكوب جيمس ويب الفضائي لحظة محوريّة، وهي مجرّد بداية لمهمة ويب". وسوف نراقب ويب بحذرٍ شديدٍ للغاية لمدة 29 يوماً من الإطلاق، إذ سوف سيخضع ويب لأصعب وأعقد عمليّة، وهي الفتح المتسلسل لمحاولة وضعه في الفضاء، وذلك عندما تنطلق المركبة الفضائية في الفضاء، وبمجرد اكتمال عملية التشغيل سنرى صوراً مذهلة ستأسر خيالنا.

سوف تكشف التكنولوجيا الثورية للتلسكوب كل مرحلة من مراحل التاريخ الكوني؛ من داخل نظامنا الشمسي إلى أبعد المجرات التي يمكن ملاحظتها في بدايات الكون وإلى كل شيء بينهما، كما سيعيد ويب اكتشافات جديدة وغير متوقّعة وسوف يساعد البشريّة على فهم أصول الكون ومكاننا فيه.

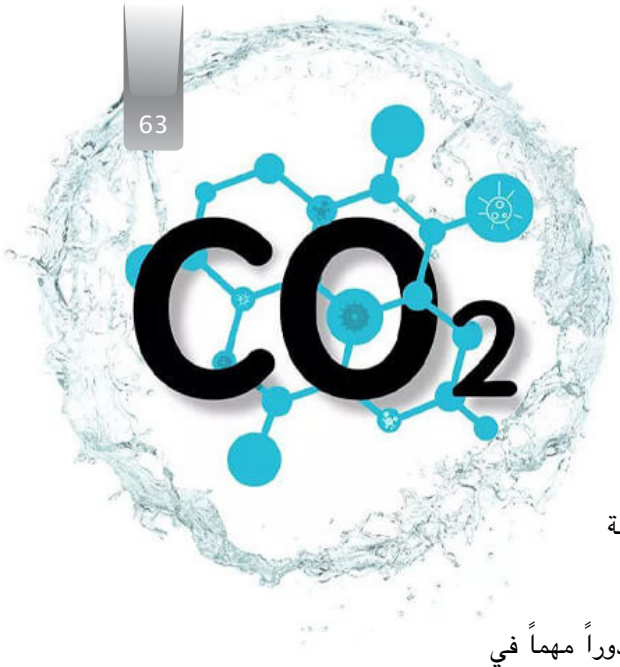
يشرف مقر ناسا على مهمة مديرية المهام العلمية بالوكالة. ويدير مركز جودارد لرحلات الفضاء التابع لناسا في جرينبيلت بولاية ماريلاند webb للوكالة ويشرف على العمل في المهمة التي يؤديها معهد علوم تلسكوب الفضاء ونورثروب جرومان وشركاء البعثة الآخرين. إضافة إلى جودارد ساهم العديد من مراكز ناسا في المشروع بما في ذلك مركز جونسون للفضاء التابع للوكالة في هيوستن ومختبر الدفع النفاث في جنوب كاليفورنيا ومركز مارشال لرحلات الفضاء في هنتسفيل، ألاباما ومركز أبحاث أميس في وادي السليكون بكاليفورنيا وغيرها.

لمزيد من المعلومات حول مهمة Webb، قم بزيارة: https://webb.nasa.gov

ترجمة: د. سامي الشيخ سلو، هيئة الطاقة الذرية السورية.

Science Daily, 25.12.2021

https://www.sciencedaily.com/releases/2021/12/211225074846.htm



التقاط الكربون وتخزينه بشكل أكثر أماناً

لقد زادت مستويات غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بشكل كبير على مدار العقود الخمسة الماضية من الزمن، مما أدى إلى ارتفاع درجات الحرارة المسجلة عالمياً، الأمر الذي قاد إلى تغيرات مفاجئة في مناخ الأرض.

يعدّ احتجاز الكربون وتخزينه أحد التقنيات الجديدة التي يأمل العلماء أن تؤدي دوراً مهماً في معالجة أزمة المناخ العالمية، وتنطوي هذه العملية على امتصاص ثاني أكسيد الكربون من الانبعاثات الناتجة عن العمليات الصناعية أو من حرق الوقود الأحفوري بغية توليد الطاقة، حيث يتم تخزينه بعد ذلك تحت الأرض في تكوينات جيولوجية مستقرة. أضف إلى ذلك أن احتجاز الكربون وتخزينه سيكون عاملاً أساسياً عند إنتاج الهدروجين "النظيف الاحتراق" من المواد الهدروكربونية.

اختارت حكومة المملكة المتحدة مؤخراً أربعة مواقع لتطوير مشاريع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، والتي ستكلف مليارات الجنيهات كجزء من خطتها الاستراتيجية التي تهدف إلى خفض 20-30 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً بحلول عام 2030، كما قدمت دول أخرى التزامات مماثلة لخفض انبعاثات الكربون.

تمتلك خزانات الهدروكربون المستنفد إمكانات تخزين أصغر بمقدار 10% مقارنة بطبقات المياه الجوفية العميقة المالحة، ولكن يُنظر إليها على أنها فرصة مجانية حاسمة في تطوير تقنيات تخزين ثاني أكسيد الكربون بطريقة جيولوجية آمنة. تاريخياً، تم حقن غاز ثاني أكسيد الكربون في العديد من خزانات النفط المستنفدة كوسيلة لاستخلاص النفط المحسن، وتوفر هذه العملية إمكانية تقييم السلوك الجيوكيميائي الحيوي للكربون المحقون على مدار الزمن.

في ورقة بحثية نُشرت في مجلة Nature رفيعة المستوى، قادت الدكتورة ريبيكا تاين والبروفيسور كريس بالنتين من جامعة أكسفورد فريقاً بحثياً دولياً للتحقيق في سلوك غاز ثاني أكسيد الكربون داخل حقل نفط غمره الاستخلاص المعزز للنفط بثاني أكسيد الكربون في لويزيانا بالولايات المتحدة الأمريكية، حيث قارنوا التركيب الجيوكيميائي للحقل المغمور بـغاز ثاني أكسيد الكربون مع حقل مجاور لم يتعرض أبداً للاستخراج المعزز للنفط. دلّت البيانات بشكل غير متوقع على أن ما يصل إلى 74% من ثاني أكسيد الكربون الذي خلفه الاستخلاص المعزز للنفط باستخدام ثاني أكسيد الكربون قد ذاب في المياه الجوفية. أضف إلى ذلك أن توليد غاز الميثان بالميكروبات حوّل ما يصل إلى 13-19% من ثاني أكسيد الكربون المحقون إلى ميثان؛ وهو غاز دفيء أكثر خطورة من غاز ثاني أكسيد الكربون.

هذه الدراسة هي الأولى من نوعها التي تدمج أحدث تقنيات تتبع النظائر كالغازات النبيلة وحركية النظائر المشعة والمستقرة مع البيانات الميكروبيولوجية للتحقق من مصير ثاني أكسيد الكربون المحقون. يقترح المؤلفون أن هذه العملية تحدث في حقول غاز طبيعية أخرى غنية بثاني أكسيد الكربون وحقول النفط التي تعرضت للاستخراج المعزز بـغاز ثاني أكسيد الكربون، وإذا ما تسرب غاز ثاني أكسيد الكربون من أكثر الأنظمة سخونة إلى هياكل جيولوجية ضحلة أقل برودة حيث توجد الميكروبات يمكن أن تحدث عملية التحول هذه. لقد كانت نتائج هذا البحث مهمة جداً لتحديد أهداف احتجاز الكربون وتخزينه المستقبلية وإنشاء شروط تخزين آمنة وبرامج مراقبة طويلة الأجل تعد شروطاً حاسمة لتخزين كربون منخفض المخاطر وطويل الأجل.

ترجمة: د. باسم عصفور، هيئة الطاقة الذرية السورية.

Science daily, 29.12.2021

https://www.sciencedaily.com/releases/2021/12/211229133517.htm

إيلون ماسك يطلق مشروعاً جديداً لتحويل الكربون إلى وقود للصواريخ!

دعا مؤسس Tesla أي شخص لديه أفكار مبتكرة إلى الانضمام إلى البرنامج الجديد

هل يمكن أن يتم تشغيل المركبات الفضائية المستقبلية كلياً بتدوير انبعاثات ثاني أكسيد الكربون؟

أعلن Elon Musk مؤسس Tesla وSpaceX عن برنامج جديد يسعى إلى تطوير تقنية جديدة تُحوّل ثاني أكسيد الكربون الجوي إلى وقود صاروخي.

وكتب على تويتر "سبيس إكس تبدأ برنامجاً لاستخلاص غاز ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي وتحويله إلى وقود للصواريخ".

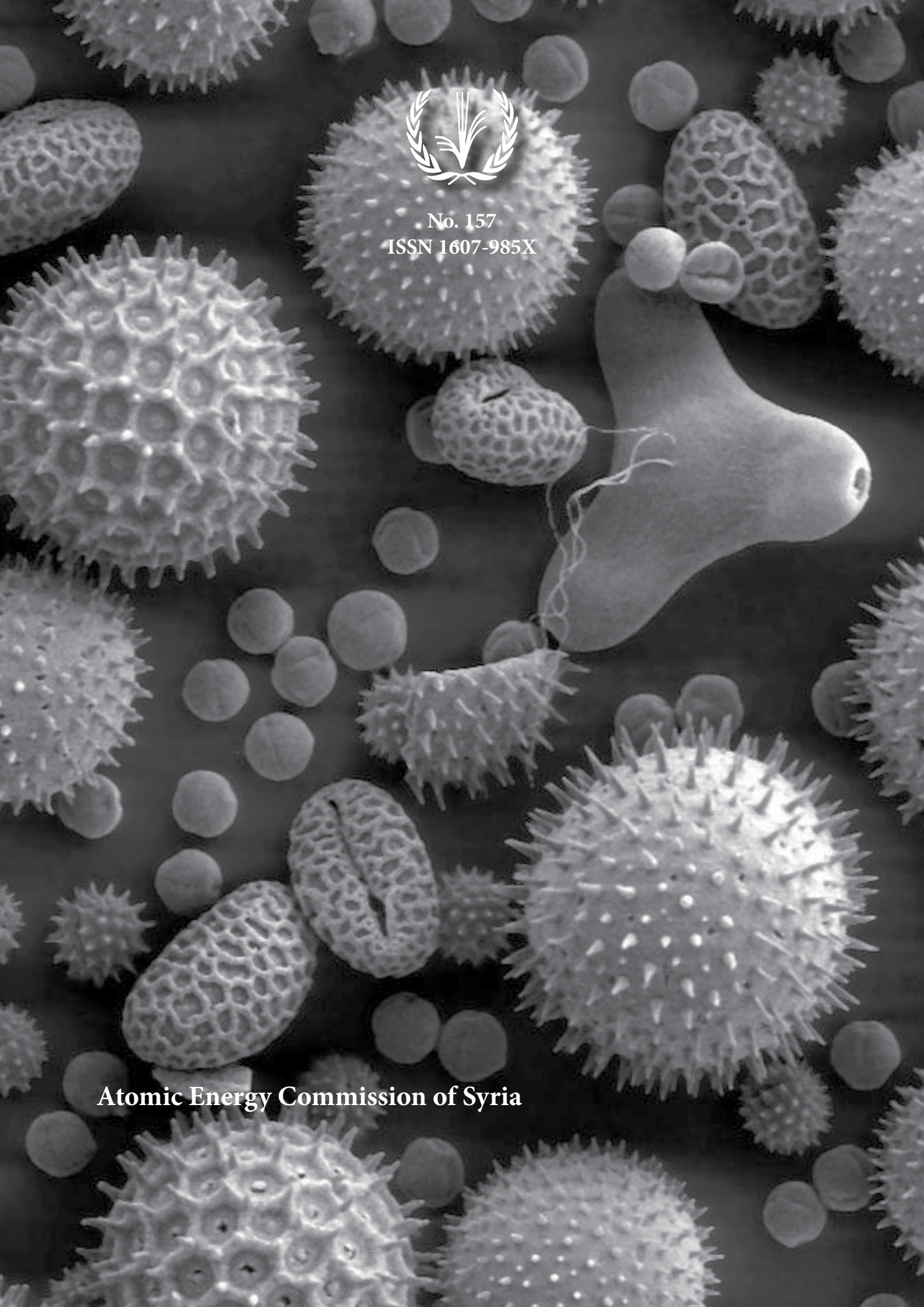
وأضاف رائد الأعمال أيضاً أن على كل شخص مهتم أن ينضم إلى المشروع، كما أشار أيضاً إلى أن ذلك سيكون مهماً لكوكب المريخ.

في وقت سابق من هذا العام أطلقت سبيس إكس مسابقة مدتها أربع سنوات تدعو الناس إلى ابتكار حلول لاحتجاز الكربون بكميات يمكن أن تصل إلى مستوى غيغا طن.

ترجمة: د. محمد بهاء الصوص، هيئة الطاقة الذرية السورية.

Energy Live News, 16.12.2021

https://www.energylivenews.com/2021/12/16/elon-musk-launches-new-project-to-convert-carbon-into-rocket-fuel/



No. 157
ISSN 1607-985X

Atomic Energy Commission of Syria